



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHICULO DE
GUIA AUTOMÁTICA PARA UN SISTEMA
DE MANUFACTURA FLEXIBLE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA ELECTRICA ELECTRONICA
P R E S E N T A N :
FRANCISCO BERNAL URUCHURTU
RAFAEL EDUARDO SOUSA COMBE



DIRECTOR DE TESIS: M. en I. VICTOR J. GONZALEZ VILLELA

MEXICO, D. E.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Capítulo I

Introducción.....	1
--------------------------	----------

Capítulo II

Los AGV y su aplicación en la industria.....	10
---	-----------

<i>Sistemas de manufactura flexible.....</i>	<i>11</i>
<i>Áreas de aplicación de los AGV.....</i>	<i>17</i>
<i>Componentes y funciones principales de los AGV.....</i>	<i>20</i>
<i>Los AGV en comparación con otros sistemas.....</i>	<i>29</i>

Capítulo III

Diseño.....	38
--------------------	-----------

<i>Sistema de control.....</i>	<i>41</i>
<i>Sistema de reconocimiento de pista.....</i>	<i>46</i>
<i>Sistema de corrección de trayectoria.....</i>	<i>54</i>
<i>Sistema de energía.....</i>	<i>66</i>
<i>Motor</i>	<i>75</i>
<i>Sistema de detección de obstáculos.....</i>	<i>77</i>
<i>Sistema de detección de estación</i>	<i>78</i>
<i>Sistemas de monitoreo energético.....</i>	<i>80</i>
<i>Base mecánica.....</i>	<i>82</i>
<i>Sistemas externos.....</i>	<i>87</i>
<i>Programación.....</i>	<i>99</i>
<i>Circuitos impresos.....</i>	<i>106</i>
<i>Carrocería.....</i>	<i>115</i>

Capítulo IV**Construcción, ensamble y pruebas.....117***Elementos mecánicos.....119**Circuitos electrónicos.....133**Carrocería.....138**Modularidad.....144**Elaboración del Software (Programación).....146**Ensamble y pruebas.....154***Capítulo V****Conclusiones.....168****Apéndice I****Características generales.....173****Apéndice II****Diagramas electrónicos.....176****Bibliografía.....184**



Capítulo I

Introducción.

INTRODUCCION

La manufactura de productos ha experimentado cambios considerables en los últimos años . Desde el punto de vista de muchos expertos estos cambios se intensificarán en los próximos años. Nuevas instalaciones para la producción han sido escasamente introducidas por las compañías en estos tiempos debido a que se encuentran obsoletas después de un corto periodo de tiempo.

Todo empresario debe de tomar en cuenta esta continua adaptación. El peligro de que sus productos puedan, en un momento dado, ya no competir con los requerimientos del mercado es un riesgo inaceptable.

Por otro lado, él tampoco puede estar adaptando su producción para seguir las últimas tendencias tecnológicas. Es poco probable que alguien tenga el presupuesto necesario para este propósito. Es aún más importante que la rutina de trabajo no sea alterada debido a la integración de equipos y procesos que respondan a estos constantes cambios dentro del proceso de manufactura. También la presión de la competencia es mayor y esto obliga a todas las compañías a reducir sus costos.

Se debe de tomar ventaja de los últimos desarrollos tecnológicos para coordinar la producción de acuerdo a los requerimientos del mercado. Plantas de manufactura flexibles y universales deben de ser utilizadas para asegurar los siguientes puntos:

- **La producción y ensamblaje de varias piezas de trabajo simultáneamente.**

- **Componentes futuros todavía no conocidos pueden ser producidos y ensamblados con el mismo equipo**

- **Pequeños lotes son fabricados de acuerdo a requerimientos específicos**

- **El cambio de herramientas puede llevarse a cabo rápida y fácilmente**

- **Nuevos métodos de producción pueden ser implantados sin dificultades**

- **A futuro, pueden ser posibles estructuras de producción modificadas.**

- **Los sistemas de producción pueden ser integrados a largo plazo en sistemas más grandes y universales**

También se debe asegurar en todo momento la consistencia del proceso. Una vez que se haya invertido en el equipo, éste debe ser capaz de ser ampliado y adaptado sin necesidad de hacer grandes gastos. Ninguna compañía puede costear cambios extensivos.

La planeación de nuevas estructuras de producción debe ser lo mas clara posible. La condición final óptima debe de ser delineada vagamente y se debe de adaptar a las nuevas tendencias. El camino hacia este sistema universal debe de consistir en pasos claramente perceptibles. Métodos ya probados deben de ser continuamente integrados a las nuevas estructuras.

Los empleados responsables deben de ser incluidos en el esquema de planeación desde el principio, ya que ellos proveerán de una valiosa contribución en vistas a encontrar el concepto óptimo a la medida de la compañía. Es absolutamente esencial identificar al personal involucrado con el nuevo sistema, para que el entrenamiento y la capacitación puede entonces llevarse a cabo dentro de el proyecto que haya de ser implantado.

Generalmente se cree que las operaciones en las plantas de producción son actualmente optimizadas en gran medida. Pero lo que ocurre entre las operaciones usualmente es poco racional, y no presentan ninguna lógica. La utilización de medios de producción con costos elevados es poco adecuada, y los costos por hora son muy elevados.

La reducción de los tiempos de procesamiento dirigida al sector de manufactura es dificilmente mejorada apreciablemente mediante la optimación de la operación individual de las máquinas. Esto requiere un análisis comprensivo de todo el proceso. Las operaciones previas y subsecuentes en cada una de las máquinas, las unidades de manufactura e inclusive los sistemas de producción deben de ser incluidos de manera que se asegure la manufactura, el ensamblaje y el embarque final antes de la fecha límite.

Sistemas de transporte completos deben de ser incluidos de manera que se pueda manejar el flujo de materiales e información. Dispositivos de transporte que únicamente cubren una secuencia del flujo de materiales no son tan eficientes como un sistema integral.

El sistema de transporte ideal, puede moverse libremente, es capaz de relizar aplicaciones universales, puede ser rápida y facilmente adaptado a secuencias extendidas o modificadas, y permite el suficiente espacio libre dentro de las instalaciones de producción flexible, para un fácil acceso.

Adicionalmente, debe de ser susceptible a integrarse dentro de la jerarquía de cómputo existente o modificada. Existe un considerable número de productos comerciales para el transporte integrado de piezas de trabajo, herramientas o charolas.

Entre estos se encuentran:

- Vehículos guiados por rieles
- Vehículos de guía automática (AGV)
- Robots de pórtico o cartesianos
- Bandas transportadoras y cualquier otro sistema fijo de transporte

El más alto grado de libertad en los sistemas de transporte de materiales es proporcionados por los vehículos de guía automática.

En la industria europea, existen dos sistemas de transporte automático mediante el uso de AGV, que podrían ser considerados un estándar. El primero de ellos por la compañía suiza Schindler-Digitron y el segundo, hecho en Alemania, el Wagner-Indumat. Debido a que el sistema Digitron es el más usado de los dos, algunos de los comentarios y apreciaciones se realizarán basándose en un sistema del tipo Digitron.

Las principales ventajas de los sistemas de transporte AGV son las siguientes:

- **Area libre:** otros vehículos o personas pueden moverse también a través de las líneas de viaje del FTS (sistema de transporte flexible).

- **No son necesarias estructuras en los techos:** Los techos se encuentran libres para instalaciones eléctricas y alumbrado.

- **Buena accesibilidad a las instalaciones:** no hay o hay muy pocas instalaciones al frente de las máquinas para el suministro de piezas o el retiro de éstas mismas.

- **La distribución libre de las instalaciones de producción:** las máquinas, robots, estaciones de trabajo, etc. pueden ser colocadas de acuerdo a las circunstancias locales o secuenciales.

- **Una amplia variedad de instalaciones de producción dentro del mismo sistema:** máquinas y equipos manuales o automáticos de distintos fabricantes pueden ser combinados dentro de un mismo sistema.

- **La integración de otros sectores:** la inclusión de operaciones previas o subsiguientes, la integración de espacios de almacenamiento o transición, la conexión de diversos sistemas y celdas, etc.

- **Medios universales de transporte:** una amplia gama de métodos de transporte pueden ser combinados dentro del mismo FTS, por ejemplo, pallets de máquinas o pallets europeos.

- **Instalación rápida y simple:** por lo tanto solo breves interrupciones en la producción.

- **Son simples de modificar y de extender:** los vehículos pueden ser transferidos y extendidos rápida y fácilmente. Esto permite automatización e integración paso a paso.

- **Alta disponibilidad:** en caso de que falle un AGV, automáticamente su lugar será tomado por uno de los restantes.

Las desventajas de los sistemas AGV son las siguientes:

- **Costos de inversión más altos que en los medios tradicionales de transporte:** esta diferencia se ha hecho cada vez mas pequeña por la construcción modular del sistema de AGV Digitrón. Particularmente para instalaciones pequeñas, el usuario debe hacer solamente la inversión de lo que requiere en el momento y el sistema puede ser extendido cuando se requiera posteriormente.

- **Precisión defectuosa de entregas a las instalaciones de producción:** algunos sistemas proveen de dispositivos para la transferencia o aceptación de pallets de todos tipos con la precisión requerida. Por ejemplo, los pallets de máquina pueden ser entregados a los cambiadores en los centros de procesamiento con una precisión de 0.4 mm. dentro de los tres ejes de forma totalmente automática.

Las desventajas pueden ser reducidas o eliminadas para la mayoría de las aplicaciones mediante el uso de sistemas de tipo Digitrón.

Los requerimientos deben ser examinados en cada uno de los casos para determinar la mejor alternativa.

El flujo de materiales e información son virtualmente inseparables dentro de los sistemas CIM. Ellos son los integradores, que permiten las soluciones para la operación integral del sistema.

Las consideraciones básicas en la configuración del flujo de materiales e información son inevitables; y hacia estos deben estar dirigidas las simplificaciones. El transporte de materiales o la transferencia de información no incrementan por sí mismos el costo del sistema. El mejor sistema de transporte es no transportar. Demasiada segregación en las funciones también nos lleva a un incremento tremendo en la transferencia de datos, lo cual finalmente nos lleva a sistemas costosos y complejos.



Capítulo II

**Los AGV y su
aplicación en la
industria.**

SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE

Para poder entender y ubicar la existencia, funcionamiento y aplicaciones de los Vehículos de Guía Automática, como el que en este trabajo se presenta, es necesario primero comprender que estos son subsistemas de un conjunto de equipos que integrados forman lo que se conoce como Sistema de Manufactura Flexible.

Tratar de definir de manera absoluta lo que es un Sistema de Manufactura Flexible (SMF), es un tanto ambicioso, existen una gran cantidad de definiciones, sin mencionar otra cantidad inmensa de interpretaciones, por lo que trataremos de encerrar poco a poco la definición explicando las tareas y los equipos que forman el sistema.

El aspecto en el que todos coinciden, ciertamente es en que el propósito de invertir en un SMF es llevar la economía de la producción en masa a sistemas de producción de pequeños lotes. Sin embargo esta es una transición difícil puesto que tiene que coordinar avances en los campos de tecnología, integración de maquinaria, administración y finanzas.

En forma global podemos afirmar que el objetivo de un Sistema de Manufactura Flexible es la fabricación de Lotes de piezas y/o productos en forma Automática,

con equipos programables, tal que con el mismo equipo, únicamente variando los programas, se puedan elaborar piezas o productos distintos.

Los primeros SMF aparecieron con el deseo de automatizar un sistema de producción de pequeños lotes (Es decir producción de partes en lotes generalmente menores a 50). La importancia de este tipo de producción es sorprendentemente alta. Entre las naciones más industrializadas, el 30% del producto interno bruto está representado por la Manufactura de partes. De este, 40% es producción por lotes, y solo 15% es producción masiva. De la producción por lotes, 75% de estos lotes son de menos de 50 piezas. Por lo tanto, cerca del 10% del PIB de los países más industrializados es debido a la producción de pequeños lotes.

Las tendencias en manufactura durante mucho tiempo se inclinaron a desarrollar sistemas de producción en masa y el uso de sistemas de automatización enfocados a este tipo de producción, dejaron durante un tiempo a la producción de pequeños lotes varios pasos atrás. Sin embargo eventos posteriores ofrecieron a los productores de pequeños lotes alternativas de producción aumentando productividad y flexibilidad, reduciendo costos. La aparición y crecimiento de Maquinaria de Control Numérico (CN) es un buen ejemplo de estas circunstancias. Recientemente se ha desarrollado el Control Numérico Computarizado (CNC), la forma más avanzada de CN en estos días. No obstante es importante hacer notar que la mayor parte de las Maquinas-herramientas en el mundo no son de Control Numérico.

Otro avance preponderante es el crecimiento en poder y accesibilidad de los sistemas de cómputo, y de sus redes de comunicaciones; los avances de la cibernética en los últimos 15 años, son impresionantes, considerando la transformación que la computación ha realizado en todas las áreas. La manufactura no ha estado exenta de este cambio, y la integración de sistemas de cómputo en la manufactura en combinación del uso de maquinaria flexible, dió como origen el nacimiento de los Sistemas de Manufactura Flexible.

Cuando hablamos de "Maquinaria Flexible", nos referimos e equipos industriales como Robots, máquinas de Control Numérico, etc., cuya característica es que son programables, y por tanto capaces de realizar distintos tipos de tareas en forma automática.

Los primeros años de desarrollo de los sistemas de manufactura flexible fueron de euforia para los creadores, pero los distintos sistemas buscaban y encontraban soluciones de maneras distintas. Recientemente los avances han sido más rápidos, con más sentido común en la ingeniería, el diseño, y con tecnología más avanzada. Con estos avances los sistemas de manufactura flexible se perfilan a no solo ser utilizados por sistemas de producción de pequeños lotes, sino también producción en masa.

Un Sistema de Manufactura Flexible, a través de la cuidadosa combinación de control computarizado, comunicaciones, proceso de manufactura, y equipo

relacionado, dispone de aspectos orientados a la producción, para responder rápida y económicamente en una manera integrada a los cambios significativos en el medio. Tales sistemas típicamente comprenden:

- Equipos de Proceso

*** Máquinas Herramientas**

*** Estaciones de Ensamble**

*** Robots**

- Equipos de Manejo de Materiales

*** Robots**

*** Bandas transportadoras**

*** Vehículos de Guía Automática**

- Sistemas de Comunicaciones

- Sistemas de Computo y Control

Los Sistemas de Manufactura Flexible, son una tendencia de reciente aparición, en la UNAM su estudio tiene cerca de cinco años, y con la idea de contar con Sistemas didácticos que reflejen la planeación, tecnología y logística de estos sistemas, el Departamento de Ingeniería Mecánica planea Integrar un SMF a partir de elementos existentes y con equipos diseñados y construidos en la propia Universidad.

El trabajo que aquí se presenta es el diseño y construcción de un Vehículo de Guía Automática, que fue seleccionado como sistema de transporte para este proyecto en particular.

Es importante hacer notar que las diferencias entre una fábrica con un SMF como medio de producción y un SMF de tipo didáctico son enormes, pero la estructura básica y la filosofía de diseño son muy parecidas.

El SMF a construirse en la UNAM, estará dividido en tres "celdas" o estaciones:

- Sistema automático de suministro y almacenamiento de piezas

- Estación de manufactura (Maquinas CNC)

- Estación de ensamble y control de calidad

Entre estas estaciones el transporte de materiales, piezas en elaboración y piezas terminadas, se llevara a cabo por el Vehículo de Guía automática. Antes de considerar los detalles del diseño y construcción de este sistema, examinaremos un panorama de los Vehículos de este tipo y sus aplicaciones actuales.

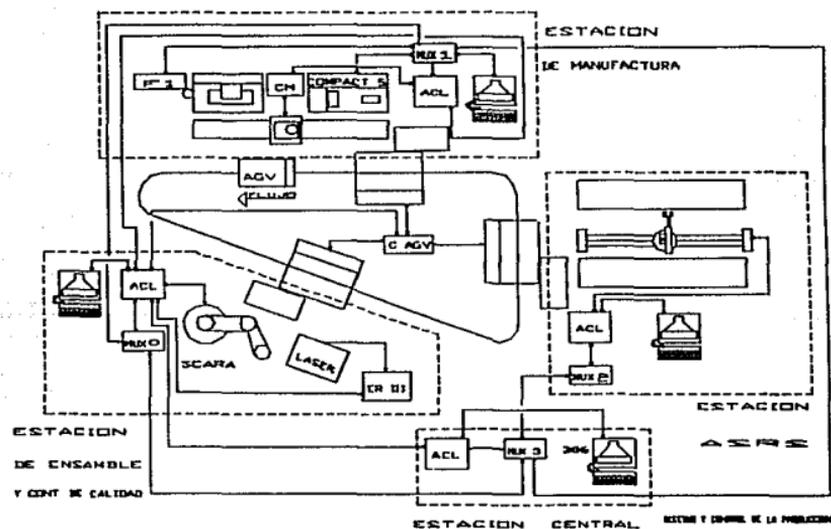


Figura 2.1.-Sistema de Manufactura Flexible CIM.

Áreas de aplicación de los AGV

Las funciones básicas de los sistemas automáticos de manejo de materiales son el transporte y transferencia de carga, así como el almacenaje de piezas. En los sistemas de manufactura flexible las tareas de transporte son llevadas a cabo por sistemas de transporte sin conductor, estos sistemas pueden ser vehículos con rieles o vehículos de guía automática, siendo más utilizados estos últimos, porque permiten interactuar a otros sistemas y personas en la misma área de trabajo.

Los Sistemas de Vehículos de Guía Automática (AGV) están basados en transportar elementos sobre un vehículo autocontrolado. Este vehículo, que en adelante denominaremos AGV, arranca, encuentra la dirección, se detiene y transfiere información, controlado en forma automática.

Los AGV en general son impulsados por motores eléctricos y su energía es suministrada por baterías recargables. Los sistemas de guía son muy variados, y posteriormente se explicarán.

Los AGV siguen una ruta preestablecida, o un grupo de rutas posibles, que enlazan las distintas estaciones de trabajo en un sistema de Manufactura.

Para poder cargar y descargar los elementos transportados, el AGV se detiene en lugares específicos en cada una de las estaciones, para que los dispositivos que colocan o toman piezas lo hagan con precisión. A esta carga y descarga le llamaremos transferencia.

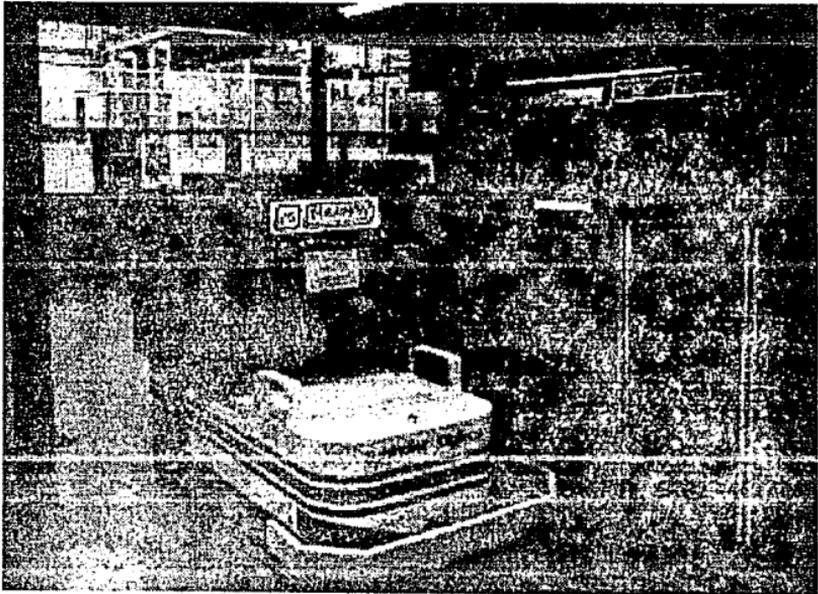


Figura 2.2.-Vehículo AGV.

El AGV es el enlace de transporte entre las distintas celdas de manufactura. Los elementos que se transportan en estos sistemas son:

- Piezas de Trabajo

- Herramientas

- Materiales para procesar

- Dispositivos auxiliares

- Desechos

- Productos terminados

Los materiales para procesar son esencialmente el material en bruto para la manufactura, y las piezas de trabajo son cualquier pieza o producto en fabricación aun sin terminar. Las Herramientas y los dispositivos auxiliares se transportan a través del AGV cuando son solicitadas desde alguna celda o máquina. El AGV en ocasiones llevará materiales de desecho de las estaciones de manufactura a una estación de desembarque.

Los productos terminados son llevados y almacenados en un sistema de almacén automático.

COMPONENTES Y FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS AGV

Los componentes principales de los sistemas con Vehículos de guía automática son:

-El AGV

-La instalación en el suelo

-Control estacionario

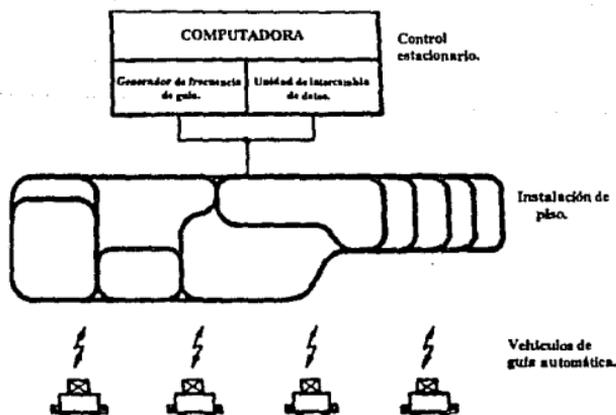


Figura 2.3.- Sistema AGV

Los Vehículos

Una gran variedad de vehículos con diferentes diseños han sido desarrollados para el transporte de materiales. Básicamente podemos clasificarlos dentro de cuatro grupos. (FIG 2.4)

-Vehículos de carga en cubierta

-Vehículos montacargas

-Vehículos montacargas con elevador

-Vehículos Remolcadores

Existen ciertos criterios utilizados para la selección del tipo de vehículo, de acuerdo a las necesidades del sistema de manufactura, las mas importantes son:

-Dimensiones y peso de la carga y del contenedor de carga

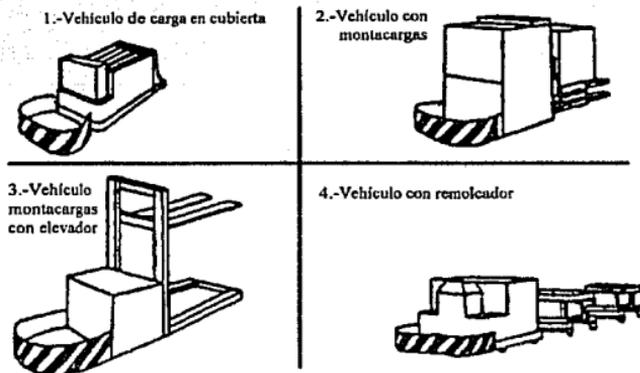


Figura 2.4.-Tipos de AGVs.

Es importante además tomar en cuenta estas magnitudes, considerando que el vehículo en movimiento y dando giros puede perder estabilidad

-Frecuencia de uso de transporte

Esta frecuencia disminuye cuando el número de vehículos es mayor.

-Tipo de transferencia de carga, altura de la transferencia y nivel de automatización.

La transferencia de los elementos transportados en los AGV depende de sistemas incluidos a bordo, o de sistemas externos, que pueden ser desde sencillos sistemas manipuladores, hasta poderosos brazos Robot, se busca que la transferencia sea rápida y libre de errores.

-Espacio disponible para la ruta de transporte y para estaciones de transferencia.

Un AGV de grandes dimensiones no solo exige un área de transporte mayor, También necesitara estaciones de transferencia y espacios para dar vuelta más amplios

-Cantidad de vehículos trabajando simultáneamente

Esta cantidad afecta directamente la carga de trabajo que tendrá cada vehículo y al ser mayor el número complica la planeación de control de tráfico. Sin embargo una cantidad grande de vehículos garantiza disponibilidad para asignación inmediata de tareas.

-Tolerancia en la transferencia

La transferencia no debe permitir errores, estos pueden surgir en el momento de colocar piezas y/o charolas contenedoras. Si el AGV no tiene precisión al posicionarse y detenerse los dispositivos de transferencia pueden equivocarse su parte del proceso. Si el sistema exige mucha precisión se reduce la tolerancia.

-Aplicación (solo transporte o transporte y ensamble)

Existe alguna variedad de vehículos que solo transportan material, y algunos otros que son parte de una línea de ensamble, que llevan un producto durante distintas etapas de su elaboración.

-Instalación en el suelo

La instalación en el suelo básicamente consiste en un patrón de guía trazado en el suelo. Este patrón tiene que ser diseñado para tener acceso ordenado a cada una de las estaciones en las que el AGV se detiene.

El trazo es diseñado de manera que la instalación y la maniobrabilidad del AGV permitan un desempeño flexible de máquinas y otras unidades productivas.

Los componentes de control son partes adicionales a la instalación del suelo y son utilizadas para distintos propósitos, por ejemplo:

- **Determinar la localización (Imanes, bobinas inductivas, sensores de paso)**
- **Intercambio de datos (Bobinas, dispositivos infrarrojos, radio)**
- **Intercambio de señal (Interruptores magnéticos, interruptores infrarrojos)**

Control Estacionario

El control en las estaciones básicamente es una terminal de intercambio de datos y señales donde la computadora comunica al vehículo sus tareas y trayectorias y el vehículo también realiza una transferencia de información. El nivel de información varía en los distintos vehículos dependiendo de su nivel tecnológico. Algunas funciones importantes de control son:

- **Control de tráfico**
- **Control de destino**
- **Localización de tareas y ordenamiento de vehículo**

- **Coordinación con interfases.**

CONTROL

La operación y designación de trabajos para el vehículo de guía automática son las tareas mas evidentes del sistema de control. El usuario es común que desee tener cierta influencia estas funciones.

Sin embargo, esos aspectos de control de tráfico diseñados para evitar colisiones son considerados fijos por el diseñador del sistema. Cuando aparecen situaciones de "cuello de botella" provocadas por subsistemas que retienen el trabajo más de lo conveniente en necesario crear estrategias diversas en cuanto a la logística y camino que seguirá una pieza desde que es materia prima hasta su ensamble final.

El intercambio de señales requerido para la coordinación con los elementos estacionarios en el sistema (en especial aquellos relacionados al enlace entre las máquinas) siempre se diseña con el elemento estacionario que se tiene en mente.

En los grandes sistemas de manufactura flexible los vehículos de guía automática, básicamente se controlan en seis aspectos

1.- Operación del Vehículo

2.- Asignación de tareas

3.- Control de tráfico

4.- Coordinación con elementos estacionarios

5.- Búsqueda de ruta y destino

6.- Organizar el almacenado de piezas (en el caso de vehículos con montacargas)

Otras tareas opcionales y más avanzadas que realiza el sistema de control central están orientadas a optimizar las rutas de transporte, la designación de tareas y las secuencias de la manufactura en general.

Operación del vehículo

Esta operación esta formada por tres acciones básicas que el vehículo realiza; arrancar, virar, y detenerse, y deben realizarse con la mayor precisión posible.

Designación de tareas

Cuando el AGV trabaja en un Sistema de Manufactura Flexible muy Grande, las tareas que realiza pueden variar, por ejemplo el control puede asignar a cierto AGV a llevar material de la Celda 1 a la Celda 2, y después asignarle una tarea completamente distinta. Esto sucede en sistemas muy complejos y de muy alta tecnología.

Control de Tráfico

Cuando varios AGV trabajan simultáneamente, los patrones de guía o rutas a seguir presentan cruces, o rutas coincidentes que provocan la posibilidad de una colisión entre dos AGV, para evitar esto el control central lleva un programa que evita que esto suceda llevando un monitoreo exacto de la ubicación de los vehículos en operación.

Coordinación de los elementos estacionarios

Estos elementos son los de comunicación y los de transferencia y deben trabajar en manera coordinada para que la transferencia sea efectiva y el intercambio de información se realice correctamente

Búsqueda de ruta y destino

El control central encuentra en base a la tarea que se ha asignado al AGV su destino final, y en coordinación con el control de tráfico encuentra la mejor ruta.

Organizar almacenado de piezas

Cuando el vehículo cuenta con su propio montacargas es capaz de depositar contenedores vacíos o con piezas en el almacén de acuerdo a como el control central indique.

LOS AGV EN COMPARACION A OTROS SISTEMAS

Las necesidades de manejo de materiales en los sistemas de Manufactura Flexible, son muy variadas, transporte entre distintos sistemas, entre distintos subsistemas de un mismo sistema, y distintos tipos de transferencias entre distintas estaciones de trabajo, y aunque lo deseable sería incluir todas estas tareas dentro de una misma solución, no siempre es posible con todos los sistemas, por la amplia variedad de maniobras. Por lo tanto la misión de transporte dentro del SMF es llevada a cabo por una combinación de sistemas y métodos, sin embargo siempre existe un sistema predominante entre las distintas celdas.

Los sistemas con los que directamente compiten los AGV son los vehículos que corren sobre rieles, las bandas transportadoras, las grúas, los montacargas e inclusive el manejo manual de los materiales. También considerando transferencias y alimentación de máquinas podemos considerar a los Robots sistemas de transporte. A continuación se presenta una tabla de comparación de estos sistemas de transporte en distintas categorías.

	TIPO DE CARGA	CAPACIDAD DE CARGA	RAPIDEZ	FLEXIBILIDAD DE RUTA	COSTO	VERSATILIDAD EN GENERAL
AGV	DISCRETA	ALTA	MEDIA	ALTA	MUY ALTO	ALTA
RIEL	DISCRETA	ALTA	ALTA	BAJA	ALTO	BAJA
BANDA	CONTINUA	MED-BAJA	VARIABLE	MEDIA	MED-BAJO	MUY ALTA
ROBOT	DISCRETA	MED-BAJA	MEDIA	BAJA	MED-ALTO	MEDIA
GRUA	DISCRETA	MED-BAJA	MEDIA	BAJA	MEDIO	BAJA
MANUAL	DISCRETA	BAJA	BAJA	MUY ALTA	BAJO	MUY ALTA
MONTACARGAS	DISCRETA	MED-BAJA	MEDIA	ALTA	BAJO	ALTA

TABLA COMPARATIVA

Figura 2.5

Los AGV son probablemente el sistema que de transporta mas en boga para sistemas de manufactura flexible en los últimos tiempos. A pesar de que los AGV tienen una gran variedad de estilos y diseños, el principio básico de funcionamiento y operación es muy similar entre un sistema y otro.

Los AGV son bastante grandes de tamaño, 1m x 1.4m y 80 cm de altura aproximadamente en la mayoría de los modelos comerciales. Las baterías a bordo de los Vehículos permiten varias horas (entre 6 y 9) de trabajo continuo, entre una carga total y otra. Frecuentemente esta carga es completamente automática haciendo al vehículo detenerse en una estación nodriza diseñada para ese propósito.

Métodos de Guía de los AGV

Típicamente los AGV se conducen sobre tres ruedas, dos en la parte trasera donde va la tracción y una en la parte delantera donde va la dirección. Algunos de los vehículos son bidireccionales, pero la mayoría de estos solo transitan en reversa distancias muy pequeñas para detenerse con mayor precisión en las estaciones. Virtualmente todos los AGV tienen control por Microprocesador a bordo para tomar decisiones en relación a las operaciones de manejo, carga y descarga. En cuanto al sistema de guía existe una variedad de técnicas utilizadas hoy en día. Las más utilizadas son las siguientes:

- Guía Inductiva

- Guía por radio

- Guía por sensores reflectivos

- Guía por Triangulación

Sin duda la más utilizada es la "guía inductiva". Consiste en instalar un alambre subterráneo a la superficie donde el AGV circulará, con una profundidad aproximada de una pulgada. Este despliegue de alambre, llevará la ruta o rutas que tomará el AGV en su desplazamiento entre las distintas estaciones. El AGV lleva en su parte baja sensores inductivos, que le permiten rastrear la ruta y recibir instrucciones de la computadora central, la cual es capaz de ajustar una frecuencia de oscilación en el alambre subterráneo, para enviar ordenes a un AGV en particular. Otros vehículos utilizan sistemas de radiofrecuencia como medio para recibir y transmitir instrucciones de transporte y datos de su ubicación. Existen otro tipo de sistemas de navegación, basados en la triangulación óptica de un objeto en movimiento utilizando láser y/o cámaras para la medición de posición en rangos de algunos cientos de metros, con una configuración típica como la que se muestra en la fig 2.6.

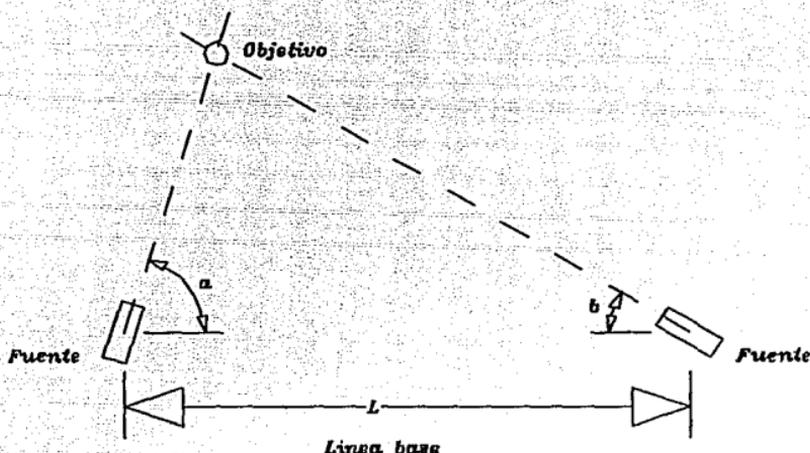


Figura 2.6.-Sistema de triangulación láser.

En el caso de un láser montado en una base fija, la presencia de este en el objeto móvil se detecta ya sea por fotosensores a bordo, o con un prisma retro-reflector en el blanco-objeto. El equivalente de esta configuración utilizando una cámara, funciona con una señal intermitente generada para poderla distinguir de otras fuentes luminosas, también montado en el objeto móvil, el cual es rastreado por las cámaras. Un método alternativo más complejo utiliza láser para rastrear sensores reflectivos colocados alrededor de las paredes de la fábrica. Funciona con un láser rotativo montado en el AGV que constantemente permite por medio de los sensores lograr una triangulación que proporciona una ubicación exacta del Vehículo. Ver FIG 2.7.

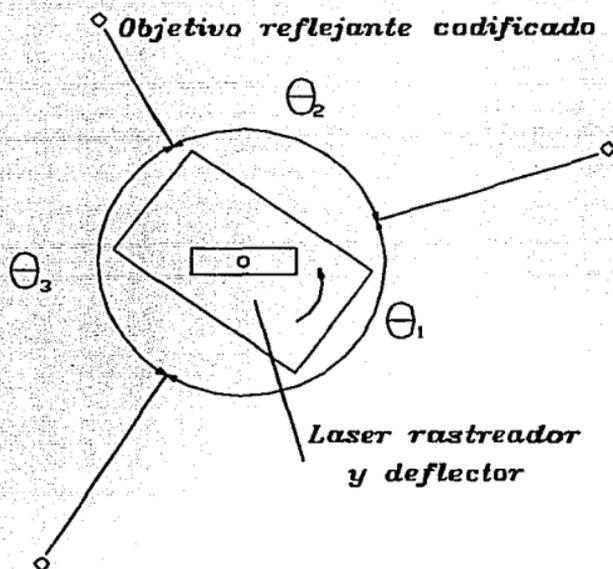


Figura 2.7.-Sistema de triangulación con laser móvil.

A pesar de que los AGV siguen siendo sistemas muy costosos, no dejan de ser muy atractivos para los diseñadores de Sistemas de Manufactura Flexible, gracias a que estos sistemas son extremadamente versátiles, y a que usualmente son controlados por una computadora dedicada exclusivamente a esta tarea y que es fácil de conectar por medio de interfaces a la computadora central del SMF. La gran dificultad que aparece con el uso de estos sistemas es la transferencia de materiales en cargas y descargas de la cubierta el propio AGV, pues son operaciones delicadas que requieren alto grado de precisión.

Otra característica atractiva de los sistemas AGV es que son equipos expandibles. Aún después de que un sistema este instalado y funcionando, es relativamente fácil agregar caminos adicionales, o vehículos adicionales en fechas posteriores cuando sean requeridos. En general podemos predecir considerando el vertiginoso avance de la tecnología, que el desarrollo de los AGV en un futuro, los convertirá en equipos realmente muy poderosos.

Una vez ubicados y actualizados entre las funciones y los sistemas propios de estos vehículos, haremos una breve descripción de los subsistemas con los que contará nuestro AGV, debido a que por ser este un SMF didáctico las necesidades son mucho menores.

- Operación del Vehículo

La operación del Vehículo será controlada por un sistema con microcontrolador, y trabajara con instrucciones básicas como: arrancar, detenerse, virar, sensar ruta, detectar obstáculos, detectar estación, etc.

- Asignación de tareas

La asignación de tareas, no es aplicable a nuestro vehículo por las siguientes razones: solo trabajará un vehículo, solo hay una ruta, solo hay tres estaciones,

y no maneja una variedad de cosas a transportar. Sus tareas estarán definidas tan solo por el transporte de charolas, sin importarle su contenido, y la transferencia dependerá de sistemas externos. El AGV tan solo tiene que detenerse con precisión y el tiempo que le sea indicado en cada estación.

- Control de tráfico

Este subsistema tampoco es aplicable, debido a que la ruta trazada es cerrada, sin cruces, sin desviaciones, y solo será un vehículo el que circulará entre las tres celdas.

- Coordinación con elementos estacionarios

La coordinación con elementos estacionarios será por medios optoelectrónicos. en cada estación hay un circuito "semáforo" que por medio de señal infrarroja modulada indicará al vehículo si es requerido ahí, o si puede seguir circulando para llegar a la siguiente estación. Este mismo control actuará para coordinar transferencias de material.

- Búsqueda de ruta y destino

La búsqueda de ruta solo es necesaria cuando existen muchos caminos, y no es el caso. El destino sera determinado por el sistema de coordinación con elementos estacionarios.

- Organizar el almacenado de piezas

Esta acción sí se llevará a cabo en nuestro SMF, pero será responsabilidad del Control del sistema automático de almacén y suministro.

Método de Guía Seleccionado

El método que utilizaremos para la guía del AGV, es utilizando sensores fotoelécticos. el funcionamiento de la guía depende de dos cosas, de los sensores de ruta, y del sistema de viraje. Estos se explicarán con mayor detenimiento en los capitulos de diseño y pruebas.



Capítulo III

Diseño

Para poder iniciar el proceso de diseño del AGV, es necesario como primer paso delinear las características que se requieren. El AGV es un sistema consistente en un vehículo de carga de materiales que sigue una trayectoria definida y que es capaz de detenerse en "estaciones" definidas con anterioridad. De esta manera las características requeridas son:

-Capacidad de reconocer una pista o trayectoria en el suelo y de corregir su trayectoria de manera que siga dicha pista.

-Capacidad de reconocimiento de los puntos de detención o "estaciones".

-Capacidad de carga dependiente de los requerimientos de operación de su entorno.

-Capacidad de detectar obstáculos en su trayectoria y hacer sonar una alarma en caso de presentarse dicho obstáculo.

-Autonomía energética, es decir, deberá de contar con su propia planta de energía.

Tomando en cuenta las condiciones anteriores, se pueden definir los siguientes subsistemas:

- 1.-Sistema de control.**
- 2.-Sistema de reconocimiento de pista.**
- 3.-Sistema de corrección de trayectoria.**
- 4.-Sistemas de energía.**
- 5.-Motor.**
- 6.-Sistema de detección de obstáculos.**
- 7.-Sistema de reconocimiento de estaciones.**
- 8.-Sistemas de monitoreo energético.**
- 9.-Sistemas externos.**

A continuación, se describirá en detalle cada uno de estos sistemas, las funciones que llevarán a cabo, las alternativas de implantación, la solución final y la interacción entre ellos.

SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control es el sistema encargado de efectuar el control del vehículo, esto es, procesará la información que le sea entregada por los sensores, y otras señales externas, y generará las salidas necesarias en respuesta a estas entradas.

Para el sistema de control se pensó inicialmente en un sistema basado en un microprocesador 68000 de Motorola. La implantación de dicho sistema consideraba además del mpu, de un puerto paralelo para el manejo de señales. El sistema terminado presentaba dos grandes problemas. Primero, su tamaño era muy grande y segundo, sus características eran muy reducidas, en cuanto a su capacidad de comunicación. Asimismo, la necesidad de usar dos memorias para poder integrar los 16 bits, aumentaba el tamaño del sistema.

Por estas razones se decidió cambiar el sistema a uno integrado por un microcontrolador. Los microcontroladores son todo un "sistema mínimo" integrados en un solo dispositivo, lo cual ofrece una gran ventaja en cuanto a compactabilidad se refiere. Estos dispositivos contienen: un CPU (basado principalmente en un microprocesador de 4, 8 o 16 bits), puertos paralelos de entrada y salida, puertos serie, timers, contadores, memorias, y en algunos casos con-

vertidores analógico-digital, todo esto dentro de un solo chip. Los microcontroladores se usan en aplicaciones de control en las cuales las expansiones futuras del sistema serán mínimas, y donde se requiere el menor número de componentes debido a restricciones de espacio. Son mucho más lentos que los microprocesadores en la ejecución de sus instrucciones, lo cual se compensa de alguna manera, al no tener que conectarse con dispositivos periféricos.

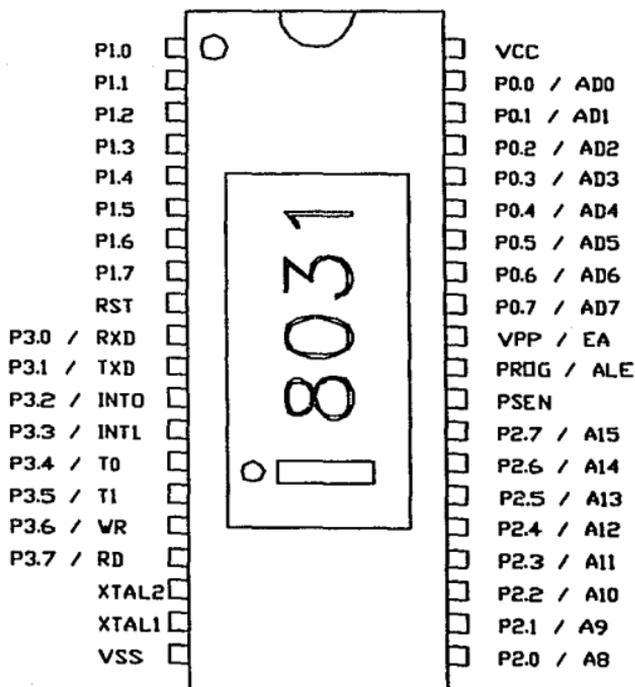
Para nuestro caso era posible usar los microcontroladores 68HC11 de Motorola o el 8051 de Intel. Dados los recursos en software, manuales y dispositivos de desarrollo, decidimos usar el microcontrolador 8031 de Intel, la versión sin memoria ROM del 8051.

El 8031 contiene internamente un CPU de 8 bits, tres puertos de entrada y salida paralelos, un puerto de control que a su vez contiene: un puerto serie, 2 entradas para timer/contador de 16 bits, dos entradas para interrupciones externas, las señales de RD y WR para la toma o almacenamiento de datos externos en RAM, la señal de PSEN para la lectura de instrucciones almacenadas en EPROM externo. Gracias a estas tres señales el 8031 puede direccionar 64K de programa y 64K de datos separadamente, es decir un total de 128Kb. Además cuenta con 128 bytes de memoria RAM interna.

El 8031 es capaz de generar la frecuencia (Baudaje) de recepción/transmisión de datos serie, de manera automática a partir de la frecuencia del oscilador

general, por medio de programación del Timer 1. Dicha frecuencia de transmisión puede ser cambiada en cualquier momento con solo cambiar el valor almacenado en el contador, pudiendo ser también dividida o duplicada con solo escribir directamente sobre el bit 7 (SMOD) del registro de control PCON.

El diagrama de terminales de 8031 se presenta a continuación:



Resumiendo, las características específicas del 8031 son:

- *1 CPU de 8 bits como parte central.**
- *32 líneas bidireccionales de entrada y salida (4 puertos).**
- *128 bytes de memoria RAM.**
- *2 Contadores /Timers de 16 bits.**
- *1 UART completo.**
- *5 estructuras de interrupción con dos niveles de prioridad.**
- *1 circuito de reloj.**
- *64 Kb de espacio de programa.**
- *64 Kb de espacio de datos**

El primer sistema diseñado usando el 8031 contaba además con una memoria de 8Kb ROM para programas y con un PPI 8255, lo cual nos daba cuatro puertos de I/O. El diagrama de dicho sistema es el presentado como Diagrama 1 (Apéndice 2). Finalmente, como se verá al finalizar este capítulo, los requerimientos de entrada salida no justificaban el uso del 8255, por lo tanto el sistema quedó como se muestra en el Diagrama 2 (Apéndice 2).

En este sistema, se conecta un latch 74LS373 para que guarde los datos del puerto de salida, y un buffer 74LS244 para guardar los datos del puerto de entrada, U2 nos sirve para poder guardar la parte baja de las direcciones al acceder la memoria externa, mediante el uso de la señal ALE. Los integrados U4

y U5 se conectan a las señales RD y WR respectivamente, de manera que realicen la función antes descrita. Estos dos circuitos se encuentran conectados a la parte baja del bus de direcciones que funciona también como bus de datos. El sistema cuenta con una memoria de 8Kb, y un circuito muy sencillo de RESET.

El sistema incluye un regulador de 5V (U7), de manera que se pueda conectar a cualquier voltaje.

SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PISTA.

El sistema de reconocimiento de pista o definición de trayectoria constituye el problema medular junto con la corrección de trayectoria en el AGV. Industrialmente ya se vió que esto se hace de tres maneras, el reconocimiento inductivo, el radiocontrol y el reconocimiento óptico.

El reconocimiento inductivo presenta la ventaja de poder mandar información a través del cable de la pista, sin embargo su instalación es bastante complicada, ya que requiere de empotrar la pista en el suelo a una pulgada de profundidad, y de sistemas de modulación, es por esto que el reformar o modificar la trayectoria resulta caro y complicado.

En lo que se refiere al control por medio de señales de radio, tiene la ventaja de no necesitar físicamente de pista, pero se requiere que el AGV triangule su posición en cada momento de acuerdo a dos señales patrón, lo cual complica su funcionamiento.

Finalmente, el reconocimiento óptico presenta la ventaja de ser fácil y barato de instalar y modificar, con la desventaja de no poder recibir información durante su recorrido.

Para nuestros fines, debido a que el sistema SMF donde trabajará el AGV solo cuenta con tres estaciones y no requerimos de que el AGV lleve información, además de prevenir la expansión futura del sistema, se eligió el sistema de reconocimiento óptico.

De entrada, el sistema debe de registrar desviaciones hacia la derecha o hacia la izquierda, por lo que se debe de contar con dos sensores. La localización lógica de estos sensores es sobre la llanta de dirección. Si se les montara directamente sobre la llanta, al girar un cierto ángulo, el sensor se desplazaría una cierta distancia X , por otro lado, si se les monta al frente de la llanta, separado una distancia Z , el desplazamiento sería Y , el cual permite un mejor seguimiento de la pista, como se puede observar en la figura 3.1.

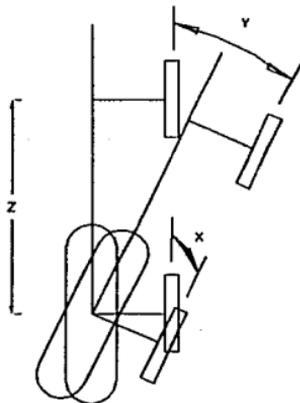


Figura 3.1.-Ángulo de seguimiento.

Los sensores deben de ser reflectivos debido a que la pista estará en el piso. Por esto los sensores serán optoacopladores de reflexión. El modelo de estos optoacopladores se presenta en la figura 3.2, para poder ser montado en el seguidor, se diseñó una placa en la cual pudiera deslizarse cierta distancia para poder ser calibrados. Esta pieza se muestra en la figura 3.3. El diseño del seguidor o tracker es el mostrado en la figura 3.4. La señal emitida por el LED puede o no estar modulada en frecuencia, se decidió modular dicha señal, para evitar el ruido debido a las luces externas y la interferencia entre sensores, de manera que cada sensor estará modulado a distinta frecuencia.

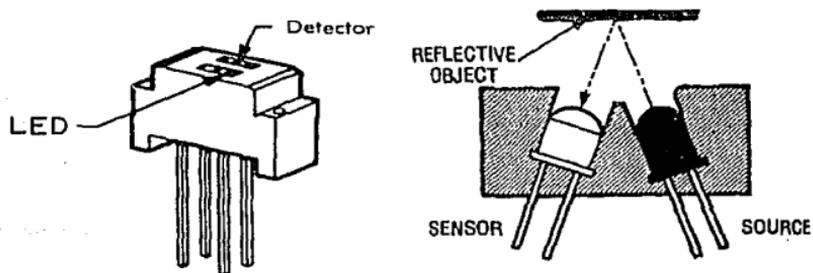
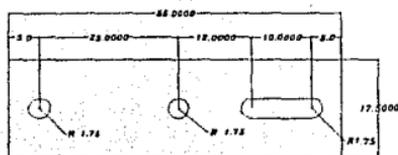


Figura 3.2.-Sensores reflectivos.

Para este propósito se analizaron varias opciones, tanto para el emisor como para el receptor. En el caso del emisor, sabíamos que debía de ser modulado en frecuencia, por lo que el uso de un oscilador era necesario. Los primeros diseños tenían dos osciladores, el primero para generar una portadora, y el segundo

para modular la señal. Un método mas sencillo es el generar pulsos a una frecuencia determinada, para lo cual se requiere usar solo un oscilador. Finalmente, el método empleado fue este último, para lo cual solo había que usar un 555 en modo astable, con un potenciómetro que permitiera el ajuste de la frecuencia.



ACOTACIONES EN mm.

SOPORTE PARA SENSOR

Figura 3.3.-Soporte para sensor.

En el caso del receptor, la situación era similar, en primer instancia, se diseñó un receptor que usa un integrado que amplifica y acondiciona la señal recibida por medio del fototransistor, el integrado de motorola MC3373, proporciona estas funciones, pero el número de elementos externos (capacitores y resistencias) necesarios es muy elevado, por esto, la primera etapa del receptor quedó solo como un amplificador LM741. La segunda etapa, la de decodificación, se implantó por medio del uso de un decodificador de tonos LM567, el cual genera un drenaje de corriente a la salida si la frecuencia de entrada es la preestablecida, esta frecuencia puede ser variada por medio de un potenciómetro. Los circuitos correspondientes a ambos sistemas se puede ver en el Diagrama 3 (Apéndice 2).

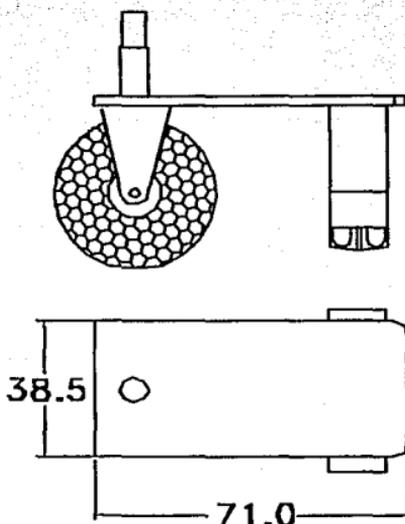


Fig 3.4.-Seguidor

Para el diseño de los receptores y los emisores correspondientes a los sensores de dirección, es necesario determinar las frecuencias sobre las cuales operarán los sistemas.

Para este fin, se decidió fijar la frecuencia en 1KHz, en el receptor esta frecuencia está dada por la resistencia y el capacitor de temporización. La frecuencia estará dada por la fórmula:

$$F = 1/(RC)$$

Si se fija el valor de la resistencia en 10 kilo ohms, se tiene que el valor del capacitor deberá ser: $C = 1/(10000 \cdot 1000) = 0.1 \mu F$

En el caso del transmisor, se deberá de manejar un rango de frecuencia que pase por los 1000Hz. Si se usan los valores mostrados en el diagrama correspondiente, las frecuencias varían dentro del rango que se calcula usando la fórmula:

$$F = 1.44 / ((R1 + 2R2)C1)$$

$$F1 = 1.44 / ((2 \cdot 1.2k)0.33e-6) = 1818.18 \text{ Hz.}$$

$$F2 = 1.44 / ((10K + (2 \cdot 1.2K))0.33e-6) = 351.9 \text{ Hz}$$

De esta manera se vé que el rango de frecuencia del transmisor vá de 351 Hz a 1.8 KHz, lo cual le permite centrarse sobre la frecuencia de interés que es de 1KHz.

En los receptores también se incluirán resistencias variables, las cuales servirán no para sintonizar los sensores, sino para poder variar las frecuencias de trabajo de los receptores, eliminando la posibilidad de que exista interferencia entre los sensores.

Otra parte importante dentro del sistema de detección de trayectoria es la pista que servirá como guía al vehículo, el diseño de esta guía deberá de contemplar que es necesario que los sensores solo generen señal cuando el vehículo se encuentre en ruta, y que si se llegara a desviar, la señal se interrumpa. De esta manera, se pensó en una pista que estuviera formada por una tira reflejante en la parte central, y una parte opaca en los extremos.

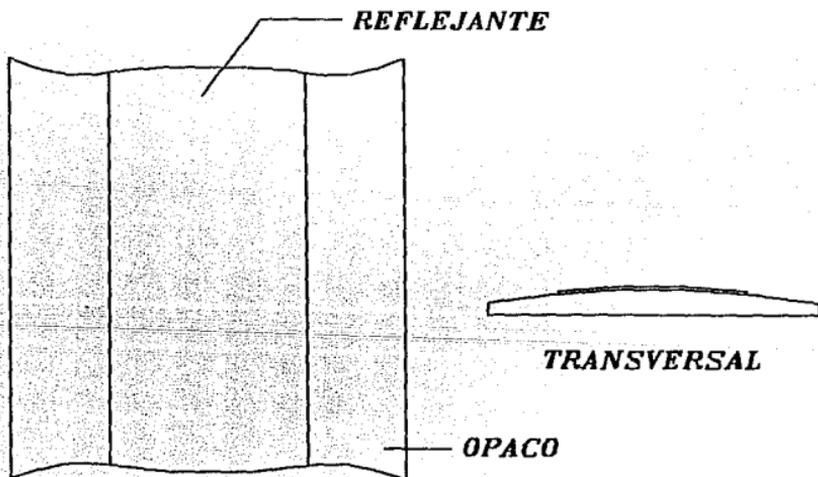


Fig 3.5.- Pista

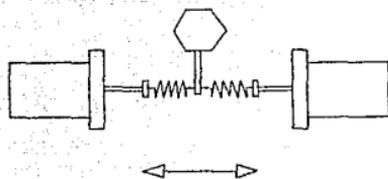
El diseño final de la pista se muestra en la figura 3.5, el problema ahora consiste en elegir el material del cual estará hecho y las dimensiones de la pista. De entrada se puede decir que la pista central deberá de tener el mismo ancho que separa a los sensores de dirección, y las tiras laterales podrían tener la mitad de dicha distancia.

La distancia entre los sensores es de 38.5 mm, por esto, se decidió que la pista tuviera un ancho de 45mm, lo cual le permitiera al seguidor tener un poco de tolerancia.

El material que se utilizará para la construcción de la pista será vinil, el cual es fácil de instalar y de limpiar, sin embargo podría presentar problemas con la durabilidad. Para las pruebas se usará cinta de aislar de vinil color blanco.

SISTEMA DE CORRECCION DE TRAYECTORIA.

El sistema de corrección de trayectoria es el encargado de modificar la trayectoria dependiendo de las señales de los sensores.



Solenoides.

En la versión inicial del AGV se pensó en hacer esta corrección por medio de solenoides, lo cual resultó bastante impráctico, debido a que los solenoides resultaban bastante imprecisos. Por esta razón se pensó en el uso de un motor de pasos para este fin.

Los motores paso a paso se utilizan en aplicaciones que requieren de un posicionamiento seguro y fiable sin tener que recurrir a sistemas más complicados como los servomecanismos. Además soluciona con relativa sencillez otros casos en los que la exigencia en cuanto a velocidad de accionamiento en determinados movimientos discontinuos exigirían complicados montajes a base de motores ordinarios asociados a dispositivos de frenado de gran seguridad y de muy problemática ejecución práctica.

El principio de funcionamiento de dichos motores está basado en un estator constituido por varios arrollamientos independientes devanados sobre un material ferromagnético y un rotor que puede girar libremente en el seno del estator.

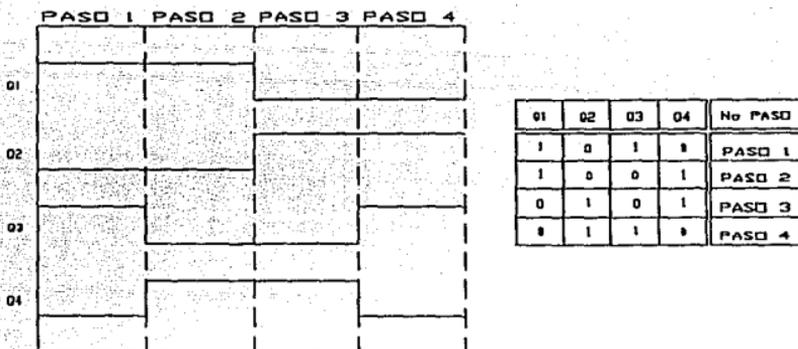


Figura 3.6.-Secuencia de pulsos para sentido horario.

Estos diferentes bobinados son alimentados uno a continuación del otro y causan un determinado desplazamiento angular que se denomina paso angular y que es la principal característica del motor. El sentido de rotación estará definido por la secuencia en la que se han excitado los diferentes arrollamientos.

De acuerdo a la nomenclatura usada en nuestra interfase, la secuencia de pulsos necesaria para el movimiento de los motores se presenta en los diagramas 3.6 y 3.7, para sentido horario y antihorario, respectivamente.

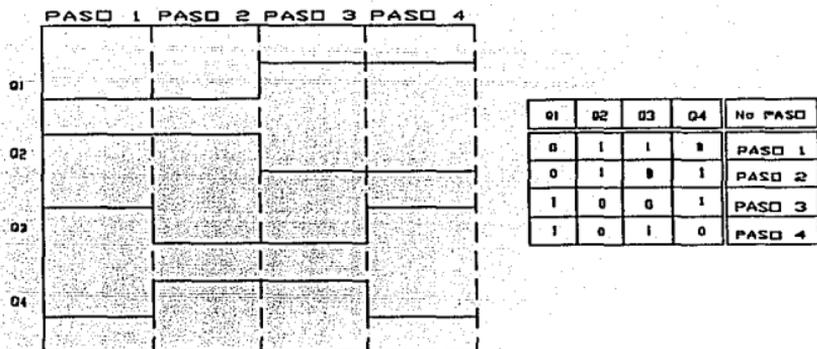


Figura 3.7.-Secuencia de pulsos para sentido antihorario

Existen dos tipos básicos de motores paso a paso. El primero de ellos funciona por el efecto de reacción que se produce entre un campo electromagnético y un imán permanente, por lo que se le conoce como motor paso a paso de imán permanente. El segundo funciona mediante la acción de un campo electromagnético sobre un rotor de hierro dulce, el cual, como es sabido, presenta un magnetismo remanente muy débil. A este último se le conoce como motor paso a paso de reluctancia variable.

En ambos casos se precisa de un circuito o equipo externo que distribuya la alimentación en forma secuencial a todos los arrollamientos del estator, de forma que únicamente se encuentre excitado uno de ellos en cada momento. En consecuencia, el sistema de alimentación no será una corriente continua o alterna, sino que estará formado por impulsos de tensión y corriente. Suponiendo una secuencia constante y uniforme de impulsos de excitación que se envían a los devanados con una frecuencia f , y que el motor contiene un número de bobinas n , se obtendrá una velocidad de giro $V = f/n$ revoluciones por segundo, entendiéndose que cada vuelta recorrida por el rotor se compondrá de tantos saltos como bobinas diferentes existan en el estator, cantidad que en este caso se ha definido como n . El desplazamiento angular obtenido de cada paso se calculará dividiendo los 360 grados correspondientes a una vuelta por el número de arrollamientos n , es decir, que $D = 360/n$.

El motor paso a paso de imán permanente está formado por un estator de forma cilíndrica con un cierto número de bobinados alimentados en secuencia que crean un campo magnético giratorio de manera discontinua. El rotor concéntrico con el estator y situado sobre el eje contiene un imán fuertemente magnetizado que en cada instante tenderá a alinearse con el campo magnético creado por la correspondiente bobina del estator. Como puede observarse, su modo de operación no podría ser más simple, ya que está basado en las fuerzas de atracción desarrolladas entre dos imanes, uno permanente y otro temporal.

Normalmente ya diferencia de los motores síncronos, el imán del rotor es bipolar y los polos norte y sur se encuentran en los extremos opuestos de uno de los diámetros del cilindro del rotor.

El número de bobinados de que dispone el estator de este tipo concreto, suele ser de dos o cuatro, con los que se obtienen cuatro pasos por cada vuelta, y el desplazamiento angular será de 90 grados. Las frecuencias de trabajo empleadas suelen ser bajas y el par motor es elevado debido a la presencia del imán. Sin embargo, es conveniente tener en cuenta algunas consideraciones acerca del máximo par de accionamiento que puede ofrecer este motor.

Supongamos un modelo constituido por dos bobinados a los que se aplican impulsos con doble polaridad, como se puede observar en la ilustración 3.8

Cuando la alimentación alcanza el bobinado 1, el imán permanente se va a alinear con el campo creado, de forma que justo en el momento en que ambos campos se encuentren exactamente en línea, el par motor se anulará. Si el motor esta acoplado a algún mecanismo externo, esta situación no podrá alcanzarse, ya que el par desarrollado deberá ser igual al necesario para mover la carga, por lo tanto se formará un cierto ángulo entre los dos campos.

Este par será máximo cuando el ángulo citado sea de 90 grados, pero al llegar la excitación al segundo bobinado (2) el nuevo ángulo formado será de 180

grados, con lo que el par se anulará. Por lo tanto se deduce que un motor de este tipo nunca deberá de ser cargado con mecanismos que requieran un par cuyo ángulo de mantenimiento supere a los 45 grados, aunque en la práctica se reduce este valor a 30 grados aproximadamente.

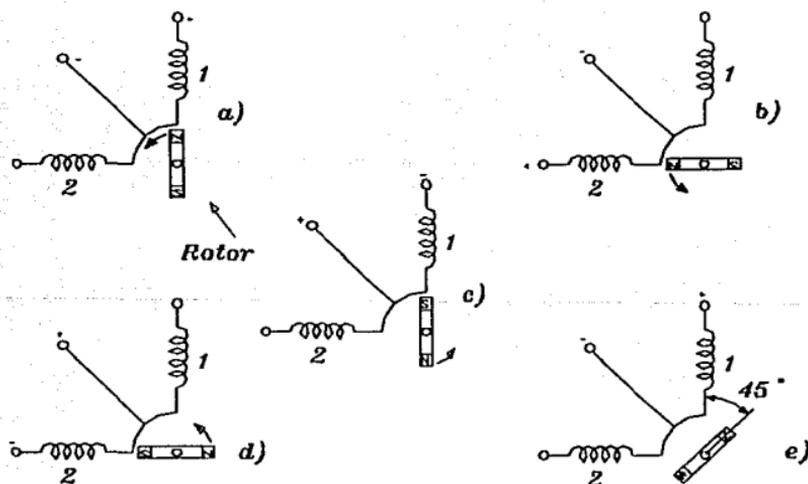


Figura 3.8.-Motor paso a paso de imán permanente.

El motor paso a paso de reluctancia variable se desarrolló con objeto de poder conseguir unos desplazamientos angulares mas reducidos que los de imán permanente, sin que por este motivo haya que aumentar considerablemente el número de bobinados . El estator presentará la forma cilíndrica habitual conteniendo generalmente un total de 2, 3 o 4 devanados distribuidos uniformemente en la periferia del estator. El rotor está formado por un núcleo de hierro dulce de estructura cilíndrica pero con una cierta cantidad de dientes tallados longitudinalmente a lo largo de la superficie lateral.

Para analizar su modo de operación se supondrá un motor constituido por tres devanados, B1, B2 y B3, excitados secuencialmente y un rotor de cuatro dientes, D1, D2, D3 y D4 (Figura 3.9). Cuando el primer arrollamiento (B1) recibe la alimentación, atraerá al rotor hasta que el diente más cercano se alinee con el campo, por ejemplo, D1; al llegar la excitación B2, el diente D2 será el más próximo, con lo que el rotor girará 30 grados, de la misma forma, con el siguiente impulso aplicado a B3 será el diente D3 el alineado, con un segundo paso de 30 grados y al volver la alimentación a B1 sea atraído D4, avanzando un ángulo igual a los interiores.

Como fácilmente puede deducirse, en este caso la polaridad o sentido de circulación de la corriente en cada devanado es indiferente, ya que al no estar imantado el rotor siempre se desplazará hasta la posición en que la reluctancia del circuito magnético sea mínima.

Para obtener desplazamientos angulares de 15 grados será necesario aumentar el número de dientes del rotor hasta ocho y esta cifra se hará tanto mayor cuanto mas reducido sea el avance de cada paso.

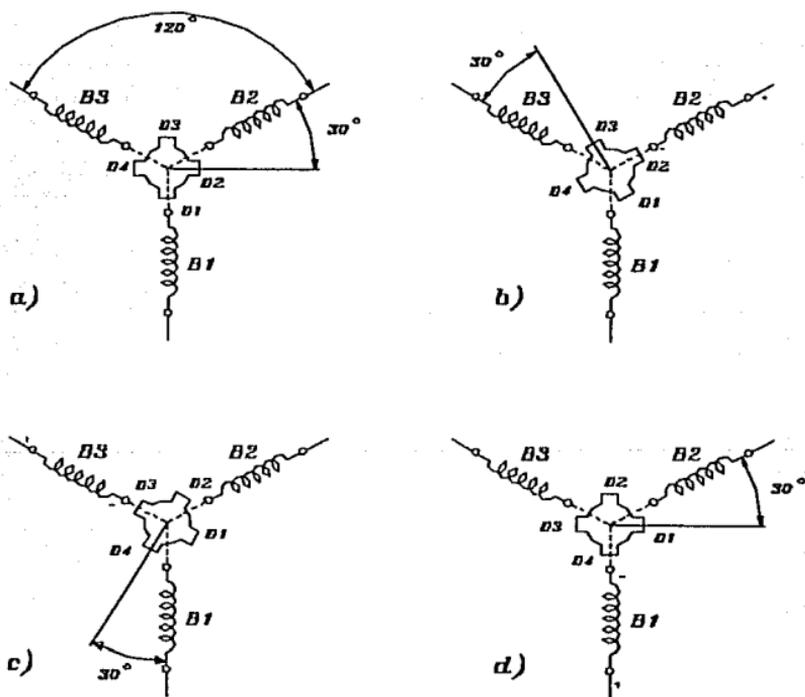


Figura 3.9.-Motor paso a paso de reluctancia variable.

La principal característica de estos motores es la elevada velocidad de accionamiento que permiten, siendo normales cifras de 1200 pasos por segundo.

Con referencia a las características intrínsecas del funcionamiento de los motores paso a paso en general, estos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

-De paso completo (Full step mode)

-De medio paso (Half step mode)

Los motores de paso completo repiten la secuencia cada cuatro pasos. Se llama ángulo de paso al ángulo que gira el eje del motor cada vez que cambia la polaridad de los bobinados, siendo función de los dientes del rotor y de la secuencia aplicada. La velocidad del motor es proporcional a la frecuencia con la que se envían los impulsos de excitación a los devanados.

Si se trabaja en la modalidad de medio paso, se repetirá la secuencia cada ocho pasos, con lo que el rotor gira la mitad del recorrido de un paso normal. Con los motores trabajando a medio paso se obtiene una mayor resolución y velocidad, con una notable reducción de la resonancia. Sin embargo, disminuye el par del motor al aumentar la velocidad.

Los motores que trabajan bajo estos principios son los llamados motores de cuatro fases, que contienen dos bobinas con tap central cada una, lo cual para fines prácticos es como tener cuatro bobinas.

Los sistemas que se usan para la excitación secuencial de las bobinas de dichos motores pueden ir desde un secuenciador implantado con un contador y lógica digital, hasta complejos sistemas de control o una PC.

Para nuestro caso, se decidió que en lugar de utilizar una gran cantidad de circuitos lógicos o un microprocesador dedicado, se diseñará una interfase "tonta" entre nuestro sistema de control y el motor PAP. Esto quiere decir que el microcontrolador generará la secuencia y la tarjeta de interfase energizará cada bobina de acuerdo a dicha secuencia. La tarjeta (Diagrama 4, Apéndice 2), realiza dos funciones. Primero, utiliza transistores de potencia (Q1-Q4) para poder manejar la corriente requerida por el motor usando la baja corriente entregada por el controlador. Segundo, como se utilizan optoacopladores para poder realizar esto último, la salida del controlador se encuentra aislada eléctricamente de la interfase.

Esto significa que cualquier ruido indeseable que sea generado por el motor, no podrá afectar el controlador, y cualquier falla en la interfase no llegará al controlador. Por esto los optoacopladores proporcionan una buena medida de seguridad.

El motor seleccionado inicialmente es un motor que nos proporciona 1.8 grados por paso y que trabaja a 5V a 1.1 amperes nominales. El acoplamiento del motor con la rueda de dirección se hace de manera directa. Como se verá en las pruebas, este motor no nos entregó el par adecuado, por esta razón se le cambio por un motor de 15 grados por paso de 24V, acoplado a una reducción de 100 a 1.

El montaje de dicho motor se realizará por medio de cuatro postes, mediante los cuales se fijará sobre la base. Al motor se le acoplará de manera directa una flecha conectada directamente a la rueda de dirección. La flecha se hará pasar por un rodamiento, de manera que exista la menor fricción en esta pieza. Todo esto, incluyendo el montaje de los sensores de pista se incluye en el diagrama 3.10.

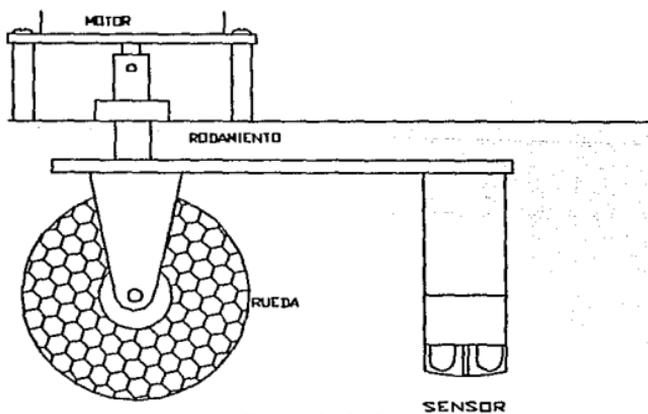


Figura 3.10.-Seguidor.

En lo que respecta a la rueda frontal, se eligió una rueda de 40mm de diámetro. El soporte de dicha rueda deberá de colocarla sobre el eje de movimiento del seguidor. Por esta razón se diseñó la pieza como se muestra en la figura 3.11.

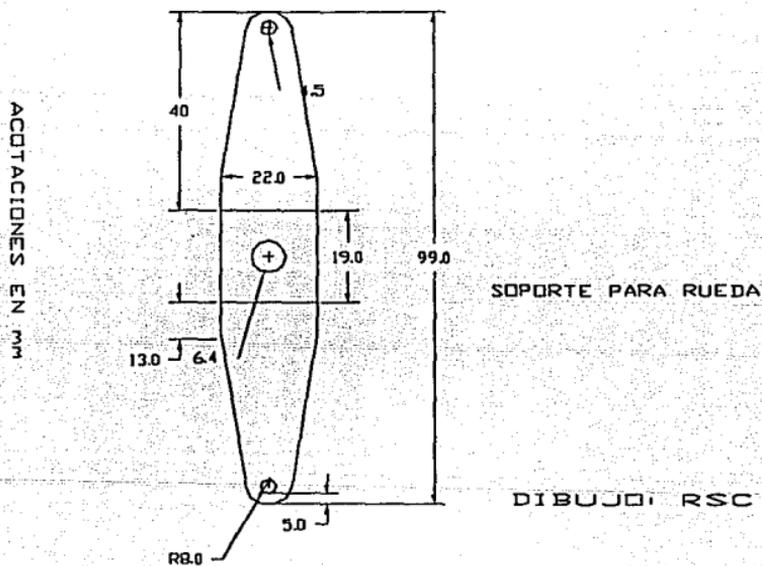


Figura 3.11.-Soporte de rueda.

SISTEMA DE ENERGIA

Para poder asegurar la autonomía energética del sistema, resulta claro que el corazón del sistema de energía del sistema deberá ser algún tipo de sistema de almacenamiento eléctrico. El tamaño de dicho sistema es un factor importante en su elección, por esta razón se pensó en el uso de baterías recargables. Los dos tipos de baterías recargables que resultan adecuadas por costo tamaño y capacidad son las baterías de níquel-cadmio o un acumulador de plomo-ácido.

Baterías de plomo.

Las baterías de plomo están formadas por una serie de células individuales conectadas entre sí y cuyo número depende de la tensión que se desee obtener. La célula elemental se compone de dos electrodos a base de plomo sumergidos en un electrolito formado de una disolución de ácido sulfúrico en agua. El electrodo positivo o ánodo contiene óxido de plomo y el negativo o cátodo plomo en forma esponjosa. Si entre el ánodo y el cátodo se sitúa una carga, se producirá una corriente eléctrica a través de ella, apareciendo unas reacciones químicas

en el interior de la batería que generan un flujo de electrones necesarios para mantener la corriente anterior.

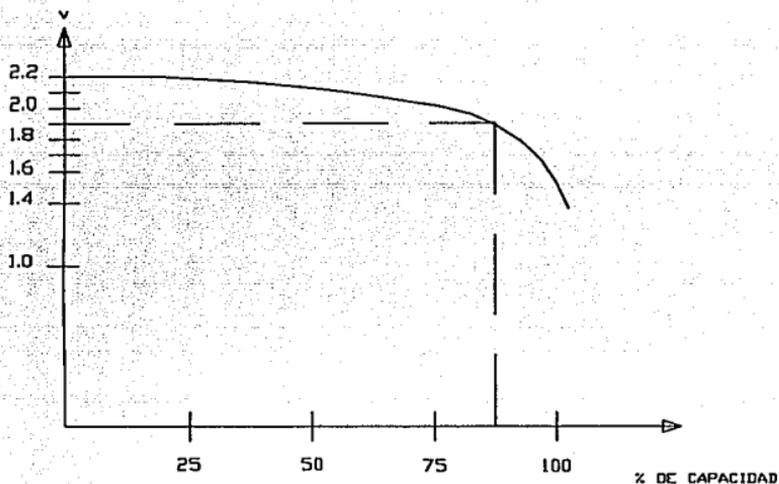


Figura 3.12.-Curva de carga para las baterías de plomo-ácido.

Descarga.

En estas reacciones, como es sabido, tanto el óxido de plomo, como el plomo puro son atacados por el ácido sulfúrico, obteniéndose sulfato de plomo y agua. Cuando la cantidad de ácido sulfúrico es tan baja y la de sulfato es tan elevada que cubre completamente los electrodos, las reacciones internas disminuyen y la tensión de la batería decrece, sucediendo lo mismo con la corriente hasta

llegar a unos niveles tan bajos que no puede seguir alimentando la carga exterior. En este momento se dice que la batería se ha descargado.

Carga.

En el proceso contrario o de carga, la batería recibe una tensión de un generador externo que fuerza el paso de una corriente por el interior. Como consecuencia, el sulfato de plomo se combina con el agua, liberando sobre los electrodos el plomo y el óxido de plomo originales y devolviendo al electrólito el ácido sulfúrico original.

Si la operación de carga se extiende mas tiempo del necesario para eliminar los sulfatos de los electrodos se habrá producido una sobrecarga de la batería, y a partir de este momento la corriente interna se emplea en descomponer el agua en sus componentes (hidrógeno y oxígeno). El oxígeno generado reacciona con el plomo del cátodo, produciendo óxido de plomo el cual es atacado por el ácido sulfúrico, obteniendo sulfato de plomo y agua que vuelve a descomponerse otra vez en plomo, de la misma forma que al principio, repitiéndose este ciclo sucesivamente, mientras no se desconecte la tensión exterior.

Capacidad.

La capacidad en amperios-hora está determinada principalmente por la cantidad de óxido de plomo contenida en el ánodo y que pueda fácilmente combinarse con el ácido sulfúrico para producir sulfato de plomo. En el cátodo existe la misma cantidad aproximadamente de plomo que en el ánodo pero presenta una eficiencia superior durante las reacciones de carga y descarga por lo que las limitaciones están originadas por el electrodo positivo.

Tensión.

La tensión de la célula elemental está establecida en un valor nominal de 2V. Este potencial se mantiene bastante uniformemente durante la descarga hasta que casi todo el material activo en contacto con el electrolito se ha transformado. Entonces la tensión cae rápidamente a niveles por debajo de 1.6V dependiendo de la profundidad de la descarga. Durante la carga aparecen tres ciclos diferentes en el tiempo según va adquiriendo nuevamente la batería sus propiedades. En el primer ciclo la tensión sube rápidamente a su valor nominal, en el que se mantiene durante la mayor parte del período de carga hasta que vuelve a subir de nuevo al alcanzar la sobrecarga. El nivel intermedio de tensión poco antes de la última subida se denomina tensión de flotación y tiene un valor de 2.3 a 2.4 volts.

Vida útil.

Las baterías de plomo representan el modelo más económico dentro del tipo de las recargables, y permite alrededor de 200 ciclos de carga-descarga a fondo, incrementándose a unos 500 o 600 ciclos con descarga del 60%. Si se almacenan descargadas tienden a sulfatarse con lo que su vida útil se acorta sensiblemente. Sin embargo, si el almacenamiento se realiza en estado de flotación pueden durar hasta 6 u 8 años. Se emplean en la doble modalidad de células simples o baterías de varios elementos, destacando como aplicación más importante la del automóvil, en el que se utiliza un modelo de 6 células conectadas en serie con una tensión de 12V nominales.

Baterías de níquel-cadmio.

Este tipo de baterías forman el segundo grupo en importancia dentro del tipo de las recargables. Por lo tanto, en ellas se dan también los procesos de carga y descarga que han sido expuestos para las de plomo, apareciendo algunas diferencias significativas en su forma de trabajo que las hace aparecer como otra alternativa a la hora de decidirse por un modelo concreto de batería. Una batería elemental o célula de níquel-cadmio está formada por dos electrodos en forma de láminas, separadas por un aislante, enrolladas entre sí y sumergidas en un

electrólito. El electrodo positivo o ánodo es de níquel conteniendo en la superficie más externa un compuesto mas activo a base de hidróxido de níquel y el negativo o cátodo está realizado con cadmio, conteniendo hidróxido de cadmio en su capa mas exterior. El electrólito esta formado por una solución de hidróxido potásico en agua. Entre ambos electrodos se produce una diferencia de potencial y al aplicar una resistencia de carga entre ellos, circulará una corriente, iniciándose así el proceso de descarga de la batería, en el que el cadmio reacciona químicamente con el agua, el electrólito y el hidróxido de níquel y se forma hidróxido de cadmio en el cátodo e hidróxido de níquel en el ánodo. Este proceso continua hasta que ambos electrodos se vuelven inactivos por la elevada cantidad de hidróxidos acumulados.

Durante la carga se realiza el proceso inverso al anterior ya que al ser sometida la batería a una tensión exterior, se descomponen los hidróxidos de los electrodos liberándose cadmio, níquel y agua y quedando la batería, al cabo de un cierto período de tiempo, en las mismas condiciones que al principio. Durante la última parte del ciclo de carga y en la sobrecarga se producen una cierta cantidad de gases. En el electrodo positivo se genera oxígeno y en el cátodo se produce hidrógeno que deben de ser evacuados del interior de la batería. Sin embargo, en los modelos de baterías herméticas se recurre a dar al cátodo

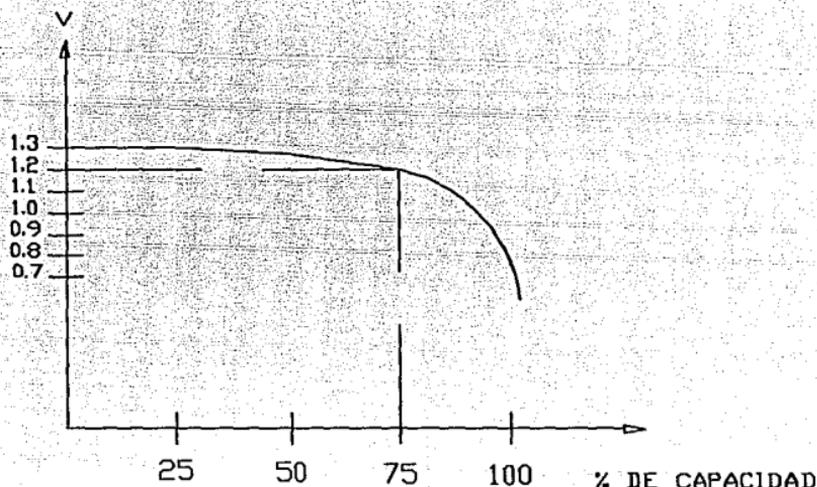


Figura 3.13.-Curva de carga para baterías de níquel-cadmio.

(cadmio) un exceso de capacidad con lo que al realizarse el proceso de carga será el ánodo el primero que alcanzara el estado de sobrecarga y comenzará la generación de oxígeno pero no de hidrógeno. Este oxígeno alcanza al cátodo oxidándolo de inmediato y dejando a la batería en equilibrio ya que el proceso de carga queda detenido al emplear la energía recibida del cargador en mantener la producción de oxígeno y su posterior reacción química, pudiéndose alargar este proceso de forma indefinida, sin que se origine ningún riesgo ni daños a la batería.

La tensión nominal es de 1.25V pudiéndose alcanzar tensiones a plena carga de 1.5V o ligeramente superiores.

Las baterías de níquel-cadmio tienen un coste unas tres veces superior a las de plomo, aunque no presentan las desventajas de éstas, ya que pueden ser almacenadas en cualquier situación de carga o descarga sin que ello afecte a su vida útil y permiten en algunos modelos hasta 30000 ciclos de carga y descarga. Su densidad de energía es superior a las de plomo y no necesitan de complicados sistemas de cargadores.

Las baterías de níquel cadmio presentan un curioso fenómeno debido a las cargas repetitivas. Si la batería de níquel cadmio no se descarga totalmente antes de volverse a cargar, desarrolla lo que se conoce como "memoria", debido a la repetida descarga parcial de las baterías. Cada vez que la batería se descarga parcialmente, previo a un ciclo normal de recarga, las baterías presentan una aparente pérdida de capacidad. De cualquier manera, esta capacidad perdida se puede recuperar mediante algunos ciclos de descarga profunda. La operación de baterías de níquel-cadmio a altas temperaturas pierden una gran parte de su vida útil. La temperatura de operación es de 18 a 30 grados. El aumento de temperatura produce una pérdida de gases, que a largo plazo produce una pérdida de capacidad. Por estas razones, las baterías de níquel-cadmio quedan descalificadas de la elección. Se requiere una recarga constante de las baterías, sin dar lugar a una descarga total, por lo que el acumulador de plomo es el tipo de batería que se empleará como fuente primaria de energía.

La batería elegida es una batería de plomo-ácido de 12V con una capacidad de 7Amperes-hora, marca YUASA, la cual acepta una corriente de carga de 1.75 A a uso continuo.

Para poder alimentar los componentes del sistema que trabajan a 5V, se utilizará un circuito con un regulador 7805, montado en la parte posterior del vehículo. El montaje mecánico de la batería se realizará mediante cuatro postes fijados a la base por medio de tornillos, sobre los cuales se colocaran dos placas perforadas de manera que detengan a la batería en su lugar, y que se encontraran fijas a los postes por medio de tuercas de mariposa, facilitando así el acceso a la batería, en caso de reemplazo.

MOTOR

El motor elegido por su sencillez de operación es un motor de corriente continua de imán permanente, el voltaje de operación del motor es de 12V. Para que el motor pudiera mover a todo el AGV, se pensó en un motor con una reducción, el motor elegido fue un motor Pittman con una reducción de 126.5 a 1, el acoplamiento del motor al eje trasero se realizó mediante una transmisión del tipo banda polea. Las poleas tienen las dimensiones que se muestran en la figura 3.14.

El sistema de banda polea presenta una relación de 2.22 a 1, de ésta manera, las características del motor quedan como sigue. El par presentado a la salida de la reducción es de 16.74 kg m, y la velocidad a la salida de la reducción es de 23.5 RPM, dado que el motor gira a 3000 RPM. Aplicando las formulas necesarias tenemos que:

$$W_m = 23.5 \text{ RPM y } T_m = 16.74 \text{ kg m}$$

$$W_o = nW_m = (2.22)(23.5 \text{ RPM}) = 52.24 \text{ RPM}$$

$$T_o = T_m/n = 16,74/2,22 = 7,533 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Parámetros que se consideran suficientes para la operación del vehículo.

El motor se fijará a la base por medio de una pieza en L, descrita con detalle en la parte correspondiente a la placa base.

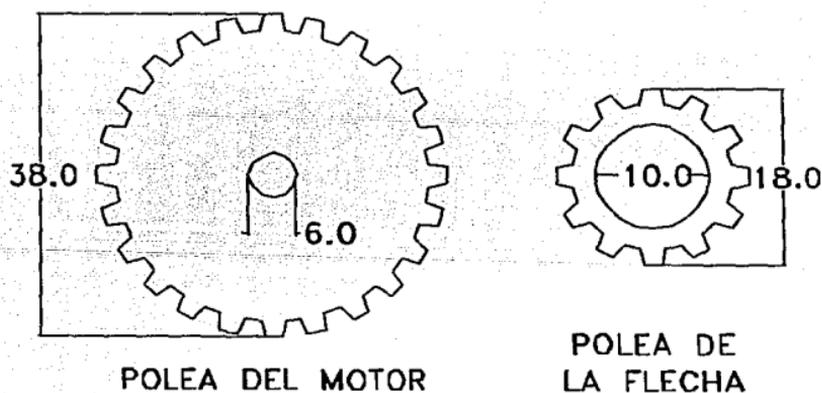


Figura 3.14.-Poleas de transmisión.

SISTEMA DE DETECCION DE OBSTACULOS.

Para poder realizar la detección de los obstáculos que se pudieran presentar frente al vehículo se pensó inicialmente en utilizar un sensor fotoeléctrico encapsulado, esto es, con su propia circuitería de control, montado en la parte frontal del vehículo.

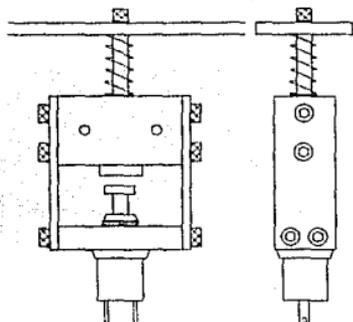


Figura 3.15.-Sensores de impacto frontal.

Al hacer un análisis de las soluciones que se utilizan en los AGVs comerciales, se cambió la decisión a un sensor de impacto frontal montado en la defensa. Este sensor requiere de montajes especiales (Fig.3.15) para la defensa, de manera que, cuando el vehículo impacte con un obstáculo, un émbolo accione un microswitch. Electrónicamente, el interruptor está conectado por medio de una resistencia de pull-down a tierra, y la terminal normalmente desconectada a voltaje positivo. De esta manera, el impacto provoca un pulso positivo a una de las entradas del controlador. Este pulso positivo disparará una señal auditiva.

SISTEMA DE DETECCION DE ESTACIONES.

Para el sistema de detección de estaciones, se pensó en varias soluciones, desde el uso de interruptores, hasta el uso de sensores de presencia.

Finalmente, se decidió en usar un circuito de tipo "semáforo". El emisor estando en las estaciones, y el receptor montado sobre la carrocería del automóvil. El receptor está basado en un módulo de detección de infrarrojos GP1U25X de Sharp, este módulo contiene una etapa de amplificación, un circuito limitador, un filtro paso banda con una frecuencia central de 40 KHz, un demodulador, un integrador y un comparador. De manera que la salida es la señal sin la portadora. Este módulo es muy usado en sistemas de control remoto de televisión.

En el circuito, la salida del módulo se conecta a un interruptor formado por un solo transistor. Este transistor se acopla capacitivamente por el emisor a la entrada de un decodificador de tonos LM567. Cada vez que el LM567 detecta una frecuencia dentro de su banda , genera un drenaje de corriente a la salida. El emisor se describirá en la parte de los sistemas externos. (Ver Diagrama 3, Apéndice 2).

Para definir las frecuencias que pueden ser detectadas por el LM567 se utiliza la misma fórmula que se usó para los sensores de dirección :

$$F = 1/(RC)$$

$$F1 = 1/(5.6K * 0.1e-6) = 1785.71 \text{ Hz}$$

$$F2 = 1/((100K + 5.6K) * 0.1e-6) = 94.69 \text{ Hz}$$

La frecuencia del emisor que trabajara con este último circuito será analizada y calculada en la parte correspondiente a los sistemas externos.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

SISTEMAS DE MONITOREO ENERGETICO.

Para poder monitorear el estado de la batería, se diseñaron dos circuitos, el primero para generar una señal de alarma en caso de presentarse una subtensión en la batería, y el segundo para poder dar una gráfica visual del nivel del voltaje de la batería.

El primer circuito, se conecta directamente a la batería en la terminal Vin, y mientras que el voltaje sobre el zener sea mayor a 11 V, lo cual consideraremos como voltaje de operación, el zener no conducirá, con lo cual Q1 se encontrará en corte y Q2 en saturación, prendiéndose el led, lo cual provocará que el ISO1 nos entregue una señal de 0V. Si el voltaje de la batería bajara de 11V, el zener conducirá, haciendo que Q1 entre en saturación, cortando Q2, de ésta manera, el led se apagará y la salida de ISO1 (Vout) será de 5V. (Diagrama 3, Ap.2).

En lo que se refiere al segundo circuito, es evidente que se debe de implementar de alguna manera con comparadores. Afortunadamente, dentro de los circuitos analógicos de National Semiconductores existe un circuito integrado que se presta a la función necesaria, sin necesidad de muchos componentes externos. Este circuito es el LM3914, manejador de deplegado de barra. El LM3914 es capaz de manejar 10 leds. El rango de voltaje que es importante manejar

comprende el voltaje mínimo de operación, de 10 volts y el voltaje máximo de la batería, el cual es de 12.5 volts.

Dentro de las hojas de especificación del integrado, se encuentra una aplicación conocida como medidor de escala expandida, este medidor tiene un rango que vá de 4.46 volts a 5.54 volts. Si dividimos la entrada entre un factor de 2.25, obtendremos que el medidor seá capaz de medir desde 10.035 volts hasta 12.465 volts, lo cual corresponde a la escala deseada. Adicionalmente al circuito se le incluyó un regulador de voltaje de 8 volts, de manera que la variación de voltaje de la batería no le afecte al circuito. (Diagrama 5, Apéndice 2).

BASE MECANICA

Para poder integrar todos los sistemas antes mencionados, es necesario el diseñar una base sobre la cual serán montados todos los sistemas. El diseño inicial de la base consiste en la elección de su geometría. Inicialmente se puede pensar simplemente en un rectángulo, con las dimensiones necesarias para transportar un cierto número de charolas, si consideramos que el número de charolas a transportar es de dos, y cada charola tiene una dimensión de 127.0 X 178.0 mm, suena pertinente que la base tenga unas dimensiones de 300.0 X 450.00 mm. Para poder hacer que el vehículo tenga dimensiones de un rectángulo, resulta necesario hacer espacio para que las ruedas queden al ras de la carrocería. Las dimensiones finales quedan como en el diagrama 3.16.

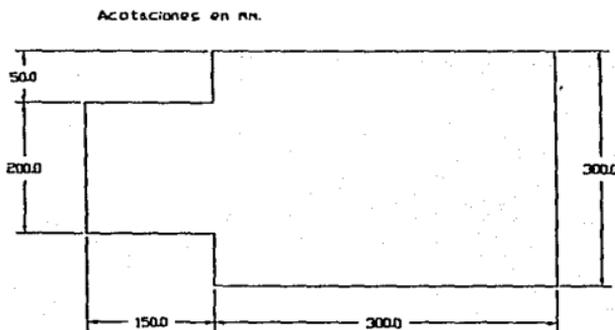


Figura 3.16.-Dimensiones de la placa base.

El eje principal será montado por debajo de la base, con dos piezas en las cuales se montarán rodamientos. Las ruedas elegidas tienen las dimensiones mostradas en el diagrama 3.17.

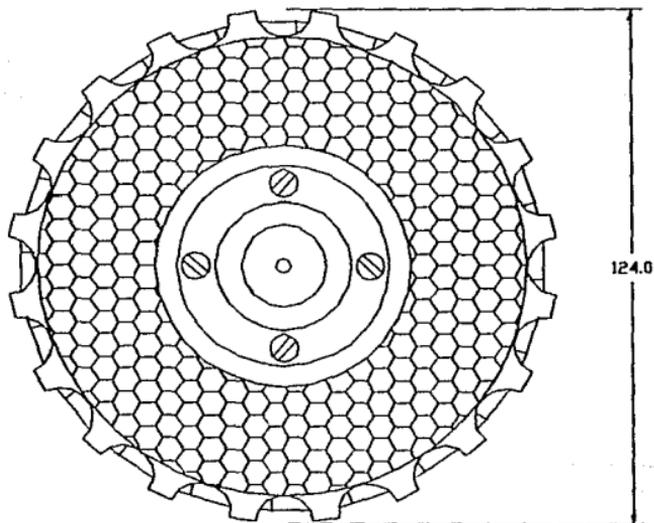


Figura 3.17.- Rueda de tracción.

Para poder hacer pasar la banda del motor hacia el eje principal, se le practicó una ranura a la base. El montaje del motor se realizará mediante una pieza en forma de L (Fig. 3.18), con las perforaciones necesarias para el montaje del motor y del montaje de la placa misma a la base.

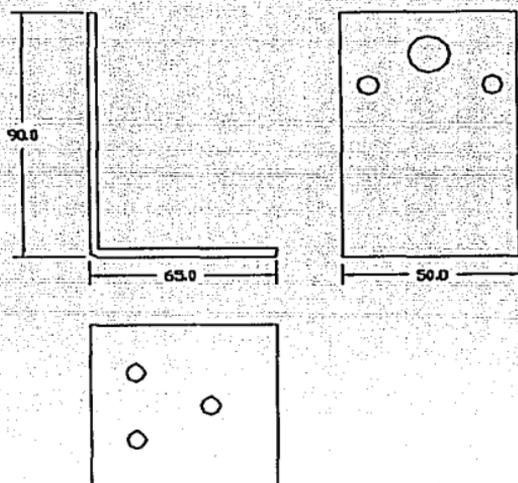


Figura 3.18.-Placa de montaje del motor principal.

Finalmente, la distribución de todos los sistemas sobre la placa base se presenta en el diagrama 3.19.

Las consideraciones necesarias para esta distribución se llevaron a cabo mediante el análisis de la zona estable del vehículo (Fig.3.20), en cuanto a la localización del centro de gravedad, considerando el diagrama del vehículo triciclo, la estabilidad del sistema se presenta cuando dicho centro de gravedad se localiza lo más cercano posible a la base, por esta razón, se procuró que los componentes de mayor peso se localizaran lo mas cercano a la base. El com-

ponente de mayor peso resulta ser la batería, por lo que se le colocó junto con el motor en la parte trasera del vehículo.

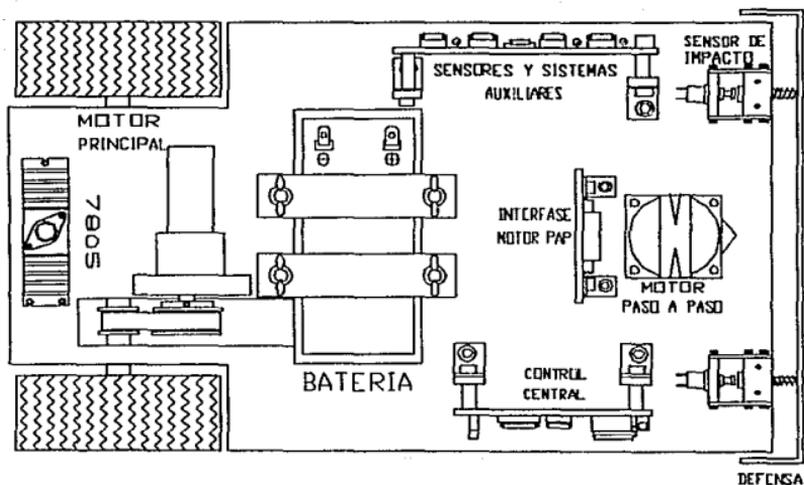


Figura 3.19.-Distribución de componentes.

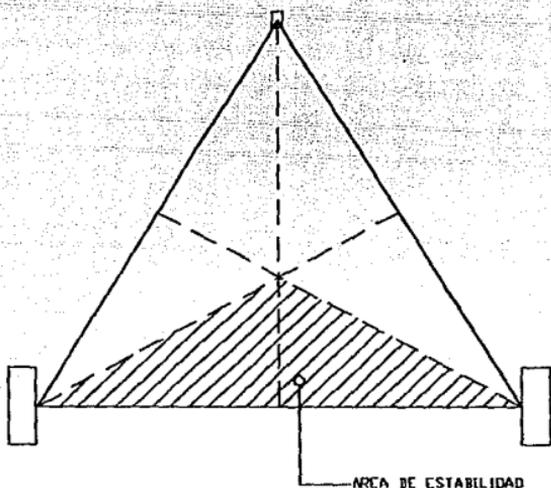


Figura 3.20.-Área de estabilidad en un vehículo triciclo.

SISTEMAS EXTERNOS

Dentro de los sistemas externos se debe de considerar el recargador de la batería, el sistema mediante el cual se conectará dicho recargador al vehículo, el sistema de transferencia de charolas y el sistema de reconocimiento de estaciones, en la parte del emisor de señal.

CARGADOR DE BATERIA

La carga de baterías de plomo ácido se hace a través del paso de corriente en sentido contrario a la provisión normal durante cierto tiempo. La intensidad de esta corriente determina la velocidad de carga y normalmente está limitada a valores que el fabricante establece como seguros para la integridad de la batería.

El circuito utilizado, usa básicamente un transformador con rectificadores en la provisión de la corriente de la carga. El cargador incluye además un sensor de batería, que sube a medida que la misma se carga, hasta el instante en que,

llegando al máximo previsto, el mismo interrumpe la carga y activa un aviso luminoso (Led) indicando el fin de ésta. (Diagrama 6, Apéndice 2).

El transformador es de 30 V, divididos en dos devanados con tap central, este brinda tensión alterna, la cual es rectificadora en onda completa por dos diodos. La batería es conectada en serie con esta fuente y, además de eso tenemos un SCR para control. La compuerta del SCR es polarizada por R3 y D3, en el sentido de conducir la corriente siempre que la tensión en cada hemiciclo alcanza aproximadamente 1 V.

En la compuerta de este SCR 1 tenemos el circuito sensor de carga, formado básicamente por un divisor de tensión, un diodo zener (D4) y un segundo SCR (el SCR2). Ajustamos el potenciómetro P1 para obtener la tensión de disparo en el SCR2 que en este caso corresponde a la tensión zener de D4 cuando la batería este completamente cargada. Cuando la batería presenta entre sus terminales la tensión que corresponde a la carga completa, el diodo D4 conduce y el SCR2 es disparado. En estas condiciones, el mismo prácticamente pone a tierra la compuerta de SCR1, impidiendo el disparo de este componente, y por lo tanto interrumpiendo la carga. Al mismo tiempo, la conducción plena del SCR hace que el LED 2 encienda, avisando el fin de carga. Con el fin de limitar la corriente de carga se agregó en serie una resistencia de 4.7 ohms con disipación de 10 W

SISTEMA DE CONEXION AUTOMATICO

Para poder conectar de forma automática el cargador de baterías al vehículo, se analizaron varias alternativas. La primera de ellas consistía en que el vehículo llevara un conector en la base que bajaría a conectarse al cargador accionado por medio de un motor, para no exigirle mas corriente a la batería, esta alternativa se deshechó.

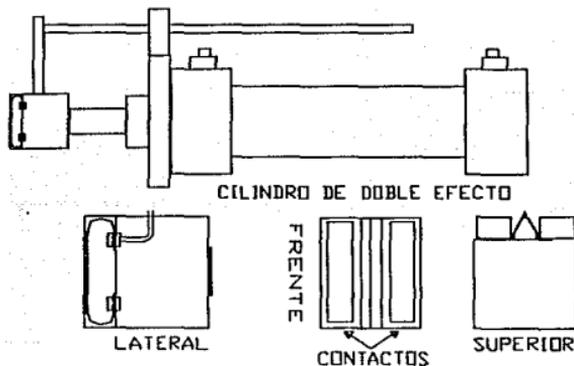


Fig 3.21.- Sistema de conexión "macho"

La segunda alternativa es la de conectar el cargador a la batería por medio de un cilindro neumático de doble efecto, para lo cual se debe de diseñar el conector. El "macho" del conector esta formado por un bloque sobre el cual se monta un par de terminales en forma de muelle, las cuales estarán divididas por medio de una cuña, que le dará tambien un cierto grado de autocorrección de posición. Figura 3.21.

La "hembra", se compone de dos placas, que tienen entre ellas una ranura que permite a la cuña empalmar con el "macho".

Este sistema se muestra en la figura 3.22.

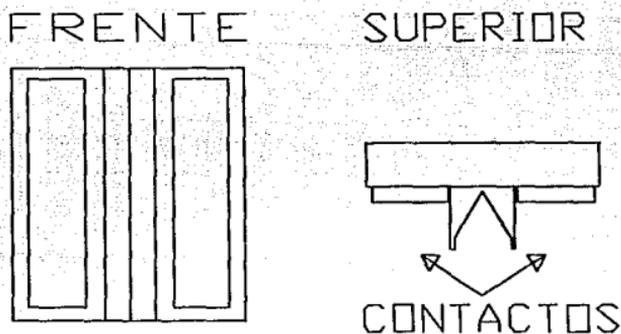


Fig 3.22.-Sistema de conexión. "Hembra".

El control de este sistema se lleva a cabo mediante una válvula 4/2, esto es de cuatro vías dos posiciones. El accionamiento de ésta debe de ser por medio de un solenoide, el cual deberá de funcionar a un voltaje nominal de 12 volts.

El circuito neumático de este sistema se muestra en la figura 3.23.

Este circuito contempla el uso del cilindro de doble efecto y de la válvula antes mencionada, la cual se conecta directamente a las salidas del control estacionario, el cual tiene como salida nominal 12 volts.

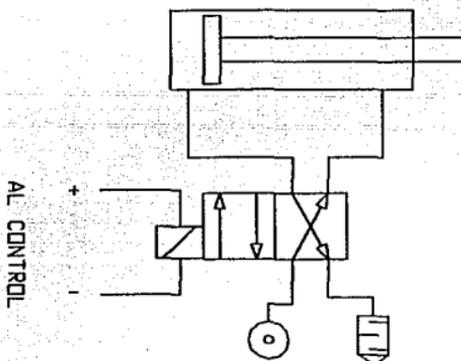


Fig 3.23.-Circuito neumático del conector automático de carga.

SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL.

En lo que respecta al sistema de transferencia de material, es necesario que el material sea elevado de la superficie del vehículo, de manera que los manipuladores de las estaciones sean capaces de tomar las charolas de material.

Este sistema se compone de dos partes, el sistema de transferencia en sí y la charola que irá montada sobre el vehículo.

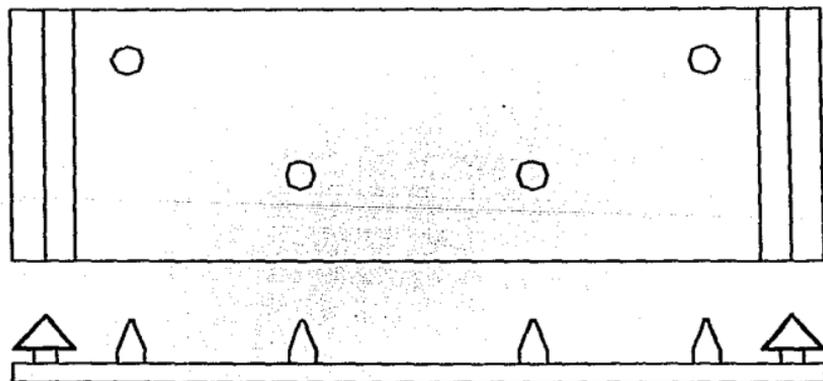


Fig 3.24.- Charola.

Las charolas que contienen el material contienen unos orificios en la base, que les permiten acoplarse a la charola del vehículo, por esto deberán de tener soportes cónicos para dichas charolas. En los lados de la charola, se colocan dos

perfiles triangulares que le permiten al sistema de transferencia tomar a la charola y siempre se centrará debido a dichos perfiles.. Así mismo, el vehículo tendrá soportes cónicos que acoplarán con la charola en cuatro orificios practicados para este fin. Esto permitirá que pueda haber una pequeña desviación de la posición de la charola. La charola se muestra en la figura 3.24.

En lo que respecta al sistema de transferencia, este tipo de sistemas se implantan tradicionalmente mediante el uso de equipo neumático, de esta manera, el sistema se formara con dos cilindros de doble efecto, el primero tomará la charola del vehículo insertando dos varillas en los perfiles triangulares, el segundo cilindro elevará las charolas. Este arreglo se muestra en la figura 3.25.

Los dos cilindros deben de tener guías antigiro con rodamientos, de manera que no sea posible que los vástagos giren.

El circuito neumático para el control de éste sistemase muestra en la figura 3.26. Este circuito está compuesto de dos cilindros de doble efecto y dos electroválvulas 4/2. En este caso se debe de nombrar a cada uno de los dos cilindros, de esta manera, el cilindro que toma la charola será el cilindro 1 y el cilindro que eleva la charola será denominado cilindro 2.

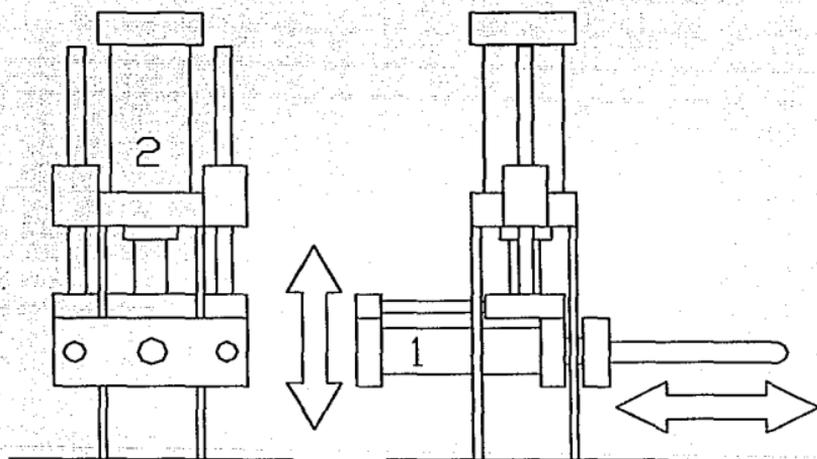


Fig. 3.25.-Sistema de transferencia de material.

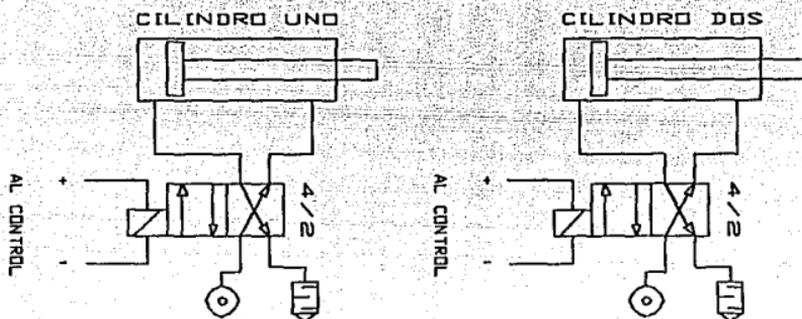


Fig 3.26.- Circuito neumático para el sistema de transferencia

También es importante delinear la secuencia de movimientos que deberá efectuar el sistema de transferencia y delinearlo con un diagrama de fase. Este diagrama es el presentado en la figura 3.27.

El diagrama de fase representa la secuencia de movimiento de los cilindros en el tiempo, cada estado distinto será marcado en la parte superior del diagrama empezando con el número 1 y llegará al número en el cual se repitan las condiciones iniciales. En el lado izquierdo del diagrama se nombra a cada cilindro y se tiene, para cada uno de ellos, los dos estados posibles del vástago, un 0 para el vástago contraído y un 1 para denotar que el vástago salió.

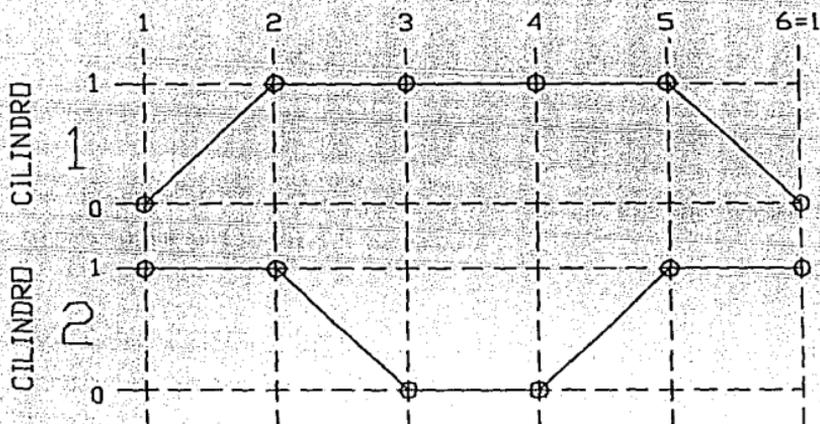


Fig 3.27.- Diagrama de fase del sistema de transferencia de material.

En este diagrama se puede ver la secuencia de movimiento de los cilindros del sistema. Entre los tiempos 1 y 2 el sistema toma la charola, con la salida del cilindro 1. Este cilindro se mantiene fuera durante la elevación que ocurre entre los tiempos 2 y 3. Entre los tiempos 3 y 4 los cilindros se mantienen igual, lo que permite que la estación tome el material. Entre los tiempos 4 y 5 la charola baja y es colocada sobre el vehículo. Finalmente, entre los tiempos 5 y 6 el cilindro 1 mete su vástago, liberando la charola sobre el vehículo.

SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE ESTACIONES.

Para completar el sistema de reconocimiento de estaciones hace falta diseñar el transmisor que hará las veces de "semáforo".

De acuerdo a la construcción del módulo receptor, se deberá de formar una señal que tenga dos osciladores, el primero generará la señal que se quiere mandar al receptor, y el segundo una oscilación de 40KHz. (Diagrama 7, Apéndice 2).

De acuerdo a estas especificaciones se puede ver que en el primer oscilador del circuito se tiene una frecuencia variable, que varía de:

$$F1 = 1.44 / ((1K + 2(5.6K))0.069e-6) = 1710.62 \text{ Hz}$$

$$F2 = 1.44 / ((1k + 2(5.6k + 100k))0.069e-6) = 98.34 \text{ Hz}$$

Este rango de frecuencias es similar al que se obtiene en el receptor, que vá de 1710.62 Hz a 94.69Hz, de manera que ambos sistemas son compatibles y sintonizables en todo el rango. Para poder lograr el valor del capacitor deseado se

deben de poner en paralelo dos capacitores, uno de 0.047uF y otro de 0.022uF, de manera que se obtenga una capacitancia de 0.069uF.

El segundo oscilador debe de tener una frecuencia centrada en 40KHZ, y puede caer dentro de un ancho de banda de 10KHZ, esto es mas o menos 5KHZ de la frecuencia central, la frecuencia obtenida, de acuerdo al circuito es:

$$F = 1.44 / ((1K + 2(33k))470e-12) = 45728.8 \text{ Hz.}$$

Esta frecuencia se desvía ligeramente de los parámetros establecidos, pero se debe de tomar en cuenta que esta fórmula es una aproximación, y que esta desviación es despreciable al tomar en cuenta este factor.

Al circuito se le añadió un regulador de 9V, 7809, de manera que pueda ser activado por señales de 12V o de 24V. Asimismo, se le agregó un LED que permite saber si la señal se encuentra activa.

PROGRAMACION

Finalmente, dentro de la parte correspondiente al diseño, se debe de delinear el diagrama de flujo que corresponda al programa que deberá de ejecutar el sistema de control.

En primer lugar se debe de decidir las funciones que debe de desempeñar el programa.

- 1.-Encender el motor cada vez que uno o ambos sensores se encuentren activados.
- 2.-Checar si uno de los dos sensores se apaga y corregir la dirección de acuerdo al lado del sensor.
- 3.-Si ambos sensores se apagan, apagar el motor y mandar la señal de alarma visual correspondiente, al tiempo de que espera, en caso de tratarse de una estación, de la señal del semáforo para continuar.
- 4.-Checar si existe la señal de impacto frontal, de ser así, apagar el motor, y generar las señales de alarma visual y auditiva correspondientes.
- 5.-Checar el estado de la batería, en caso de que la señal de batería baja se encuentre activa, apagar el motor y generar las alarmas visible y auditiva correspondientes.

De acuerdo a estas condiciones, resulta conveniente el hacer que la rutina principal del programa consista en checar el estado de los sensores de dirección, y que existan subrutinas para checar el semáforo, el impacto y la batería.

El cuerpo principal del programa se muestra en la figura 3.28. Al iniciar se llama a la subrutina CI y CB, después se checa si ambos sensores están encendidos, en caso de que uno o los dos estén apagados se llama a la subrutina CAS. En caso de que ambos sensores estén apagados se quedará en la rutina CAS, de lo contrario regresará a checar si es el sensor izquierdo es el que está apagado, de ser así, corregirá la dirección hacia la derecha. Si no es el izquierdo, checará si es el derecho, de ser el derecho corregirá hacia la izquierda.

Al llamar a las subrutinas, se les dá las siguientes prioridades, El impacto frontal es la alarma con mayor prioridad, luego será la subtensión de la batería y finalmente los dos sensores apagados le seguirán en prioridad, decreciendo en prioridad respectivamente.

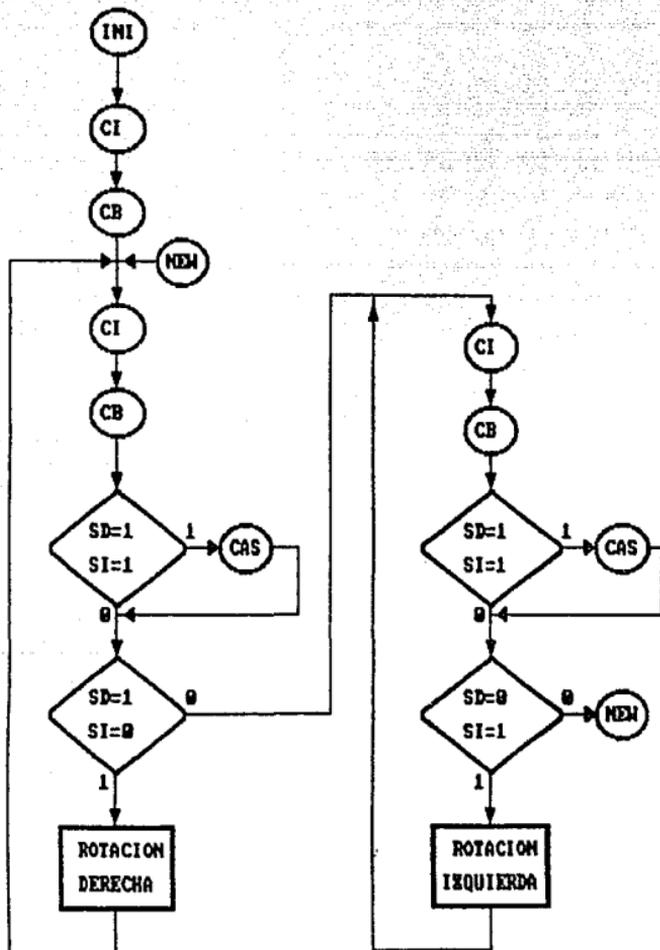


Fig 3.28.-Diagrama de flujo del bloque principal del programa.

Ahora, veamos cada una de las tres subrutinas.

La primera subrutina, Fig 3.29, corresponde a la rutina CAS. En esta rutina se chequea si ambos sensores se encuentran apagados, en caso de ser así se apagará el motor y se mandará la alarma visual 01. Después de generar las señales chequeará si el semáforo se encuentra encendido (señal E). En caso de confirmarse esta condición llamará a la subrutina NXT y regresará a la rutina principal.

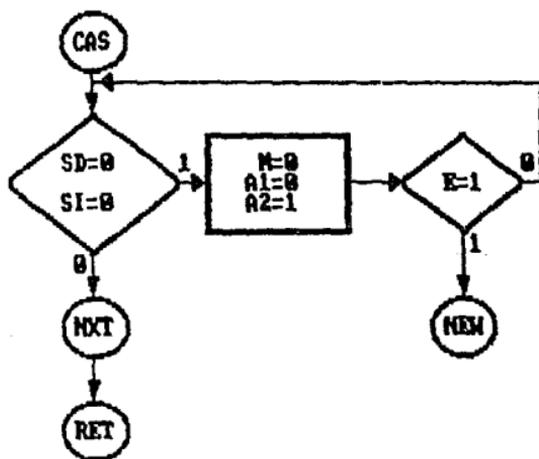


Fig 3.29.-Rutina CAS.

La subrutina CI es la encargada de activar las alarmas si el sensor de impacto se activa . Apagará el motor y generará la alarma visual 10, al tiempo que enciende la alarma auditiva. En caso de que el sensor de impacto se apague o no esté encendido llamará a la rutina NXT y regresará al programa. Fig 3.30.

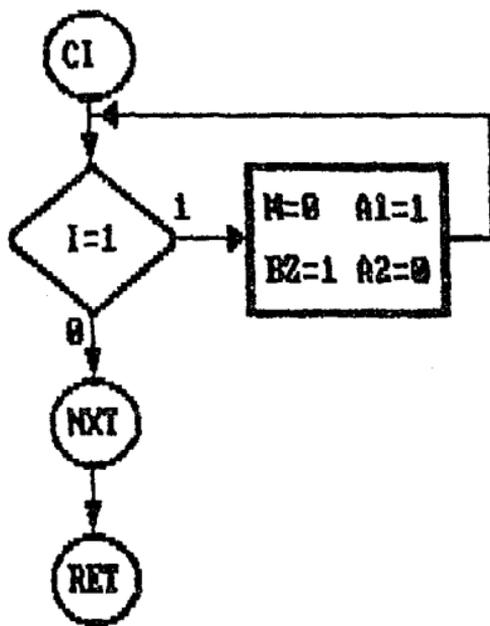


Fig 3.30.-Subrutina CI

La subrutina CB (Fig 3.31) se encarga de supervisar el estado de la batería. En caso de que la señal de subtensión de la batería se encuentre activa, se apagarán los motores, se encenderá la alarma auditiva, y la alarma visual se colocará en 11. Una vez desactivada la señal de subtensión, se llama a la rutina NXT y se regresa al programa.

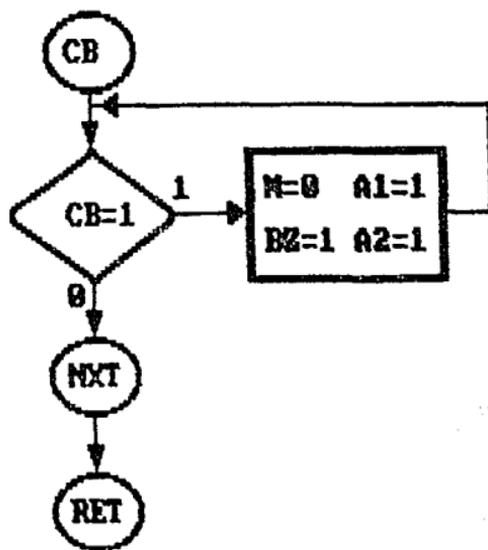


Fig 3.31.- Rutina CB.

La última rutina es la rutina NXT.(Fig 3.32). Esta rutina regresa al motor y a las alarmas a condiciones iniciales, esto es, motor prendido y, alarma auditiva apagada, y alarma visual en 00.



Fig 3.32.- Rutina NXT

Esto concluye la parte correspondiente al diagrama de flujo del programa del AGV. El programa en lenguaje de ensamblador se verá en el siguiente capítulo.

CIRCUITOS IMPRESOS.

El diseño de los circuitos impresos es una parte importante dentro del desarrollo del AGV. Las tres tarjetas principales se diseñarán haciendo uso de un paquete de diseño asistido por computadora (CAD), el cual permite modificar de una manera muy sencilla el diseño. El resultado de este proceso se llevó entonces a un fabricante especializado que fabricó las tarjetas. Por esta razón, no se utilizó para las tarjetas pequeñas, las cuales se diseñaron a mano.

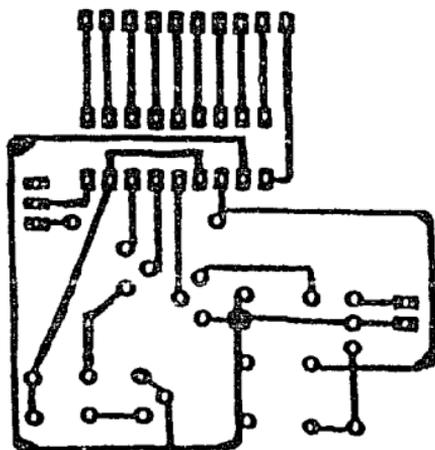


Fig 3.33.-Lado de soldadura del voltímetro de barra.

Para el diseño de la tarjeta de control central se diseñó en el paquete Smart-Works, y las tarjetas de interfase y sensores se diseñaron usando Tango. El

Tango permite importar la información de los circuitos de los diagramas que fueron diseñados en OrCAD. Esto hace muy sencillo el proceso de conexión de los componentes. El uso del SmartWorks es mucho menos intuitivo, y fué usado debido a que todavía no se contaba con el Tango.

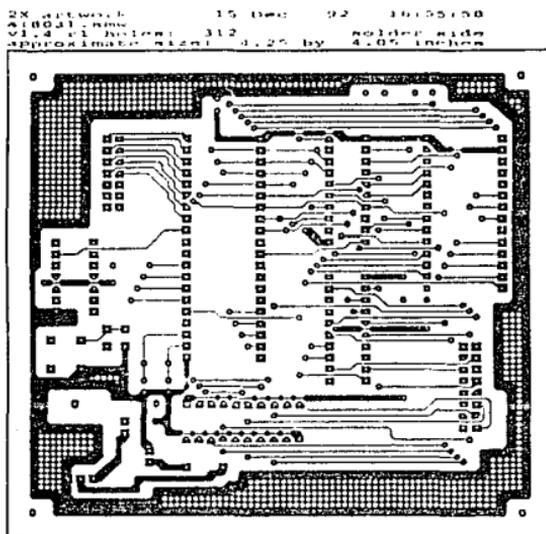


Fig 3.34.-Tarjeta del control central (lado de soldadura)

2X artwork 15 Dec 92 16:55:59
#0031.ssm
1.4 pl holes: 312 component side
approximate size: 4.25 by 4.05 inches

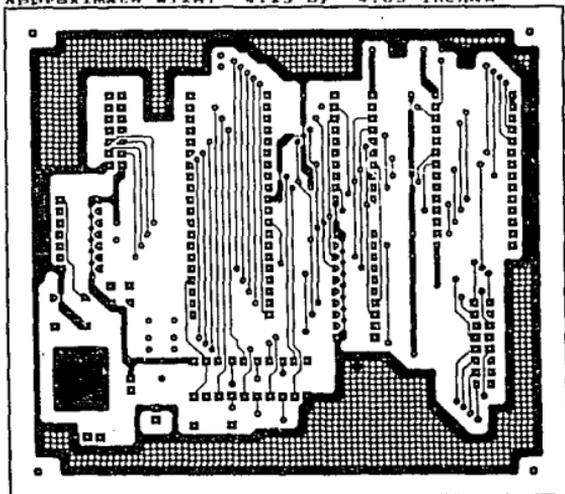


Figura 3.35.-Trayeta del control central (lado de los componentes).

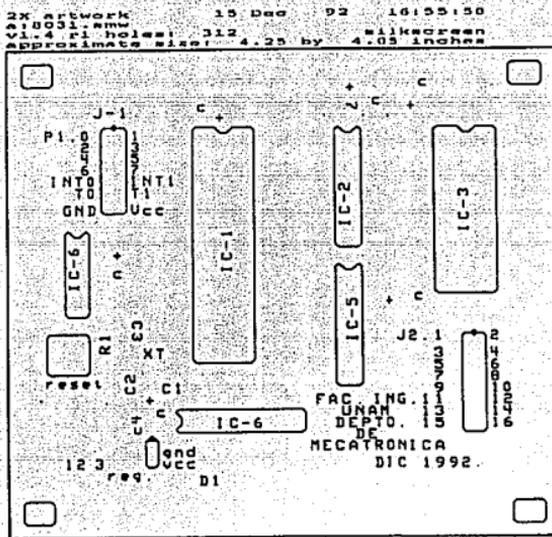


Fig 3.36.-Tarjeta de control central (serigrafía).

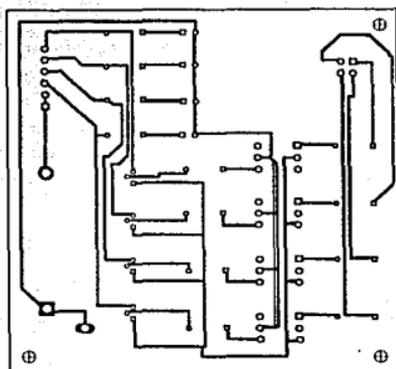


Fig 3.36.-Interfase (soldadura).

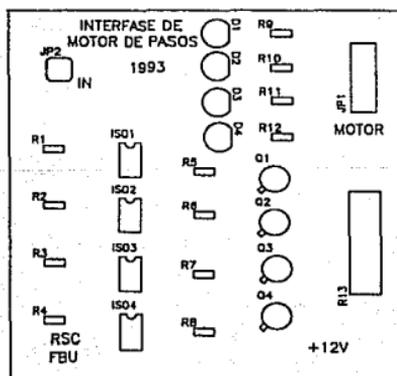


Fig 3.38.-Interfase (serigrafía).

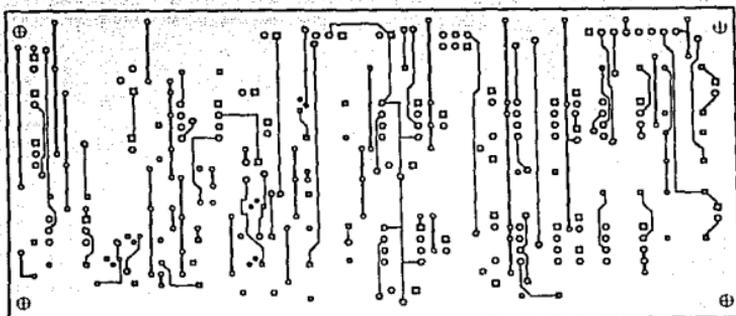


Fig 3.39 Sensores y sistemas auxiliares (soldadura)

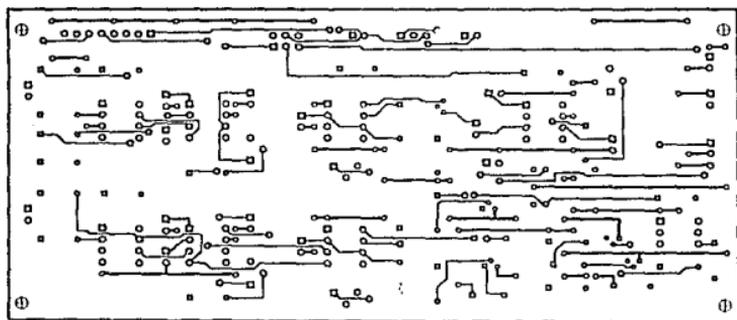


Fig 3.40.-Sensores y sistemas auxiliares (componentes)

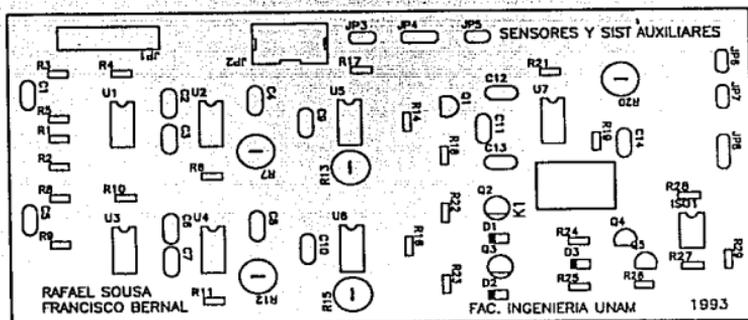


Fig 3.41.-Sensores y sistemas auxiliares (serigrafía)

En la figura 3.42 se presenta el circuito del cargador de baterías. Como se puede observar, este circuito se diseñó a mano., debido a su baja complejidad.

En la figura 3.43 se presenta el circuito usado para la implantación del semáforo que provee de la señal de continuar a l vehículo.

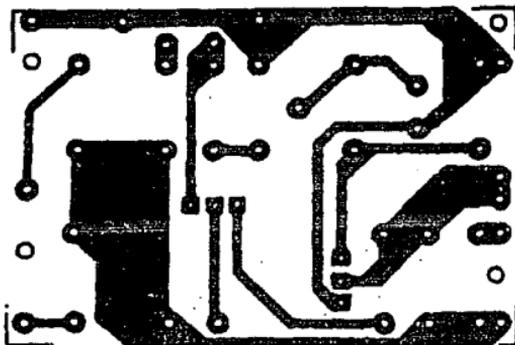


Fig 3.42.-Cargador de baterías.

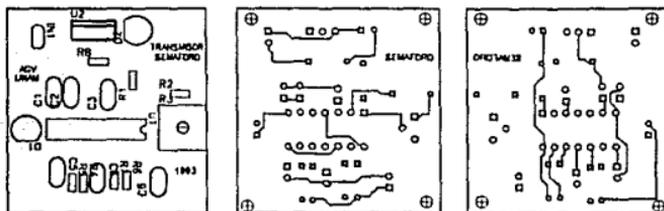


Figura 3.43.-Transmisor de señal "semaforo" (serigrafía, componentes y soldadura).

Finalmente, era necesario tener un juego de terminales de distribución de voltaje, esto es, una serie de puntos donde se pudieran conectarlos distintos circuitos. En la figura 3.44 se presenta dicho circuito, que nos provee de tres barras de distribución, una para 12 volts, otra para 5 y una para la tierra.

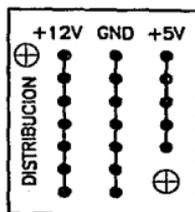


Fig 3.44.-Tarjeta de distribución de voltaje.

CARROCERIA

La parte final del diseño consistió en el diseño de la carrocería. La carrocería debe de tener una superficie plana, de manera que pueda transportar la charola de material. Después de varios diseños, se llegó al diseño que se presenta en la figura 3.45.

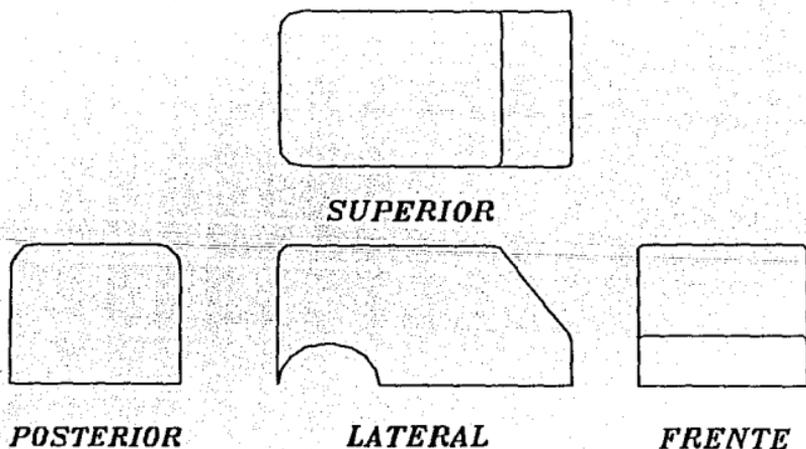


Fig 4.45.-Carrocería.

En la parte trasera del vehículo se montarán los controles y sistemas de monitoreo (alarmas y voltmetro), la distribución del panel se presenta en la figura 4.46.

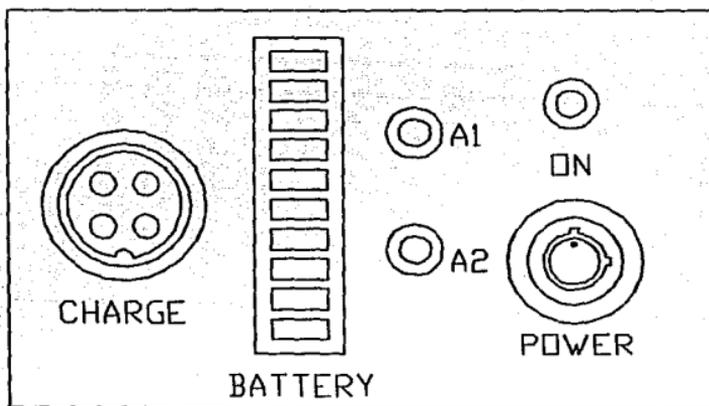


Fig 4.46.- Panel de control.



Capítulo IV

**Construcción,
ensamble y
pruebas**

La construcción del AGV la podemos dividir en tres importantes áreas. Estas deben ser consistentes a la hora de integrar todo el sistema, considerando la distribución de los sistemas en el interior del vehículo, de manera que puedan actuar todos de manera correcta, teniendo acceso a cualquiera de estos en caso de tener que ser reparado.

Estas áreas son:

- Fabricación y ensamble de partes Mecánicas**
- Construcción y pruebas de circuitos electrónicos**
- Construcción de la Carrocería**

Por ser nuestra Tesis la integración de un sistema Mecatrónico, y nuestra área de especialización la electrónica, decidimos comenzar elaborando las partes mecánicas del vehículo, por dos razones: de esta manera tuvimos una plataforma inicial donde poder agregar los sistemas uno a uno conforme se iban terminando, y por ser el área que mas desconocemos, era la que mas problemas nos podía dar, de este modo una vez que todo lo mecánico funcionó, nos avocamos a desarrollar los circuitos de control.

ELEMENTOS MECANICOS**Placa Base**

Considerando los diseños preliminares, se tomaron en cuenta dos factores principalmente para determinar el tamaño del vehículo. Este tamaño evidentemente se refleja en la carrocería y en la plataforma base. En el capítulo III, en la parte "Base Mecánica" se explican estos factores que son la capacidad de carga y la distribución de los sistemas en el interior del vehículo.

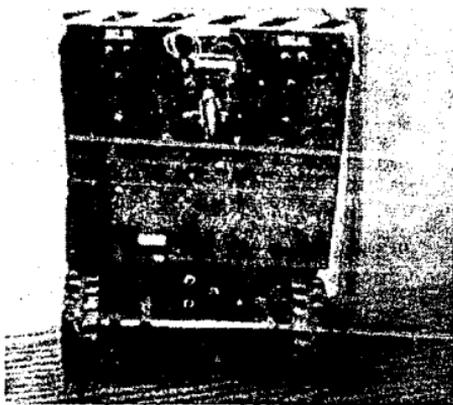


Fig 4.1.- Placa base.

La placa base cuyas dimensiones ideales calculamos 300 x 450mm, se decidió que fuera de aluminio. Este material nos brinda la resistencia mecánica necesaria, es ligero, económico y fácil de trabajar. Los primeros cortes a la placa fueron para tener el rectángulo de las dimensiones descritas. Posteriormente se realizaron los cortes en las partes laterales traseras, que son los huecos donde las ruedas de tracción van girando, de manera que no sobresalieran del borde del vehículo. Después se procedió a lijar perfectamente las dos superficies y todas las aristas para poder maniobrar la placa con seguridad y para tener un acabado estético desde un principio en todas las piezas.

Eje Trasero

Los primeros montajes en la placa Base fueron los rodamientos del eje trasero. Estos rodamientos los fijamos en dos bloques de aluminio rectangulares de 40 x 45 mm, que fabricamos en el torno, perforándolos para insertar los rodamientos a presión. Estos rodamientos los fijamos en la placa con tornillos Allen de acero inoxidable 6x32, por lo que la placa fue perforada y los bloques donde van fijos fueron barrenados y roscados para que el tornillo los uniera fuertemente.

La gran mayoría de los montajes de los sistemas que se hicieron sobre la placa base y se describen en este capítulo se hicieron de la misma manera:

Primero ubicando el lugar de montaje, luego perforando la placa, y luego sujetando la pieza o circuito con tornillos allen 6x32 y rondanas.

El eje trasero esta constituido de los dos rodamientos, el eje de tracción, y las ruedas. El eje de tracción es una barra de aluminio de 250 mm de largo y de 10 mm de diámetro, lleva montado en sus extremos las ruedas de tracción y a tres cuartos de su trayecto lleva montado el engrane que transmite la tracción del motor a las ruedas por medio de una banda dentada. Los cálculos de los engranes y las relaciones de par, vueltas etc, están descritos en el capítulo de Diseño. El engrane se fija al eje a través de una perforación con un pasador.

Las ruedas traseras, son las que llevan la tracción, y se pensó que el mejor material sería la goma, después de analizar varios tipos se adquirieron ruedas de carretilla por su resistencia al desgaste, su facilidad de montar al eje de tracción, y por ser de un material adecuado para tener agarre en el suelo. Las ruedas llevan en su interior un disco y sostén para el eje y entre los dos forman una sola pieza. La rueda se sujeta al sostén por medio de un prisionero que se aprieta y se suelta con un desarmador.

El eje es montado en los rodamientos, y por entrar a presión quedan fijos, cuando están bien alineados son montados a la placa con los tornillos antes mencionados.

Motor

El motor principal se pensó montar en la parte superior de la placa, y el eje montado en la parte inferior de la misma, por lo que fue necesario hacer una ranura por la cual pasara la banda dentada. Inicialmente se montó el motor al centro de la placa, por esa razón la ranura se hizo de una longitud considerable, pero después se decidió el montaje del motor más atrás de lo que estaba, quedando esta ranura un poco sobrada, sin que esto afectara a ningún sistema.

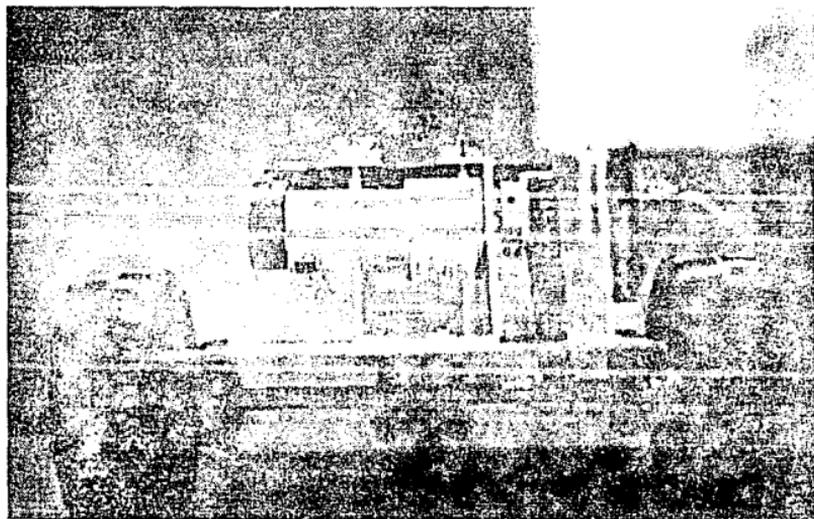


Fig 4.2.-Motor principal y eje trasero.

El motor de corriente directa fue montado sobre una placa de aluminio en forma de L como la que se describe en el capítulo III (fig 3.18). Las perforaciones de la placa en la parte inferior, lo fijan a la placa base, y las laterales fijan al motor y permiten el paso del eje de tracción del motor al engrane grande de la transmisión, dichas perforaciones se hicieron acorde a los montajes existentes en el motor. Con el objetivo de poder fijar el motor de manera que la banda de transmisión quede bien tensa, en la parte de la placa base en lugar de perforar hoyos para fijar el soporte del motor, optamos por perforar unas ranuras de manera que sea posible ajustar la tensión de la banda colocando el motor mas adelante o más atrás. Estas variaciones son evidentemente pequeñas, del orden de milímetros.

Sistema de Dirección

La rueda delantera, va montada sobre un eje vertical, y sobre un rodamiento paralelo a la placa base. Este eje vertical es de barra de aluminio, que fue rebajada en el torno de manera que se formara un escalón que permitiera que el rodamiento correspondiente descansara sobre la rueda. En el extremo superior este eje se acopla al eje del motor de pasos haciendo pasar este último por un barreno que le fue practicado al eje del seguidor y se fijó por medio de dos prisioneros para lo cual se barrenaron y roscaron dos perforaciones. El motor de pasos fue sujetado con cuatro postes de aluminio roscados en ambos extremos para sujetarse a la placa base, y para fijar la coraza del motor. En la placa base se hizo una perforación en la parte central delantera, donde atraviesa el eje de

la dirección, empalmado ahí mismo va el rodamiento de este eje, que al igual que en el eje trasero, fue insertado en un bloque cuadrado de aluminio, firmemente fijado por cuatro tornillos que lo sostienen a la placa. En el extremo inferior del eje un tornillo sujeta al soporte de la rueda delantera. Este soporte (FIG 3.11) lo fabricamos de acero inoxidable y fue cortado con equipo de corte Láser CNC en el Laboratorio de Manufactura Flexible, y posteriormente doblado en forma de U de manera que las partes laterales fijen el eje de la rueda, y la parte horizontal lleva una perforación en el centro, por donde pasa el tornillo que fija este soporte al eje vertical.

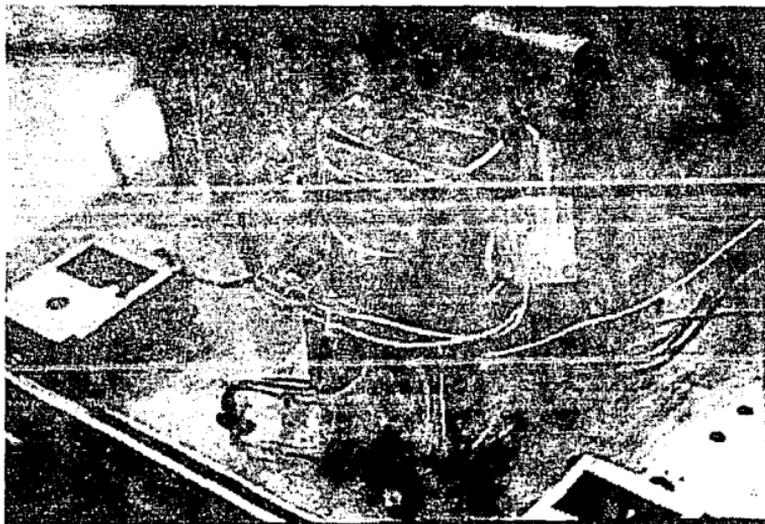


Fig 4.3.- Sistema de corrección de dirección

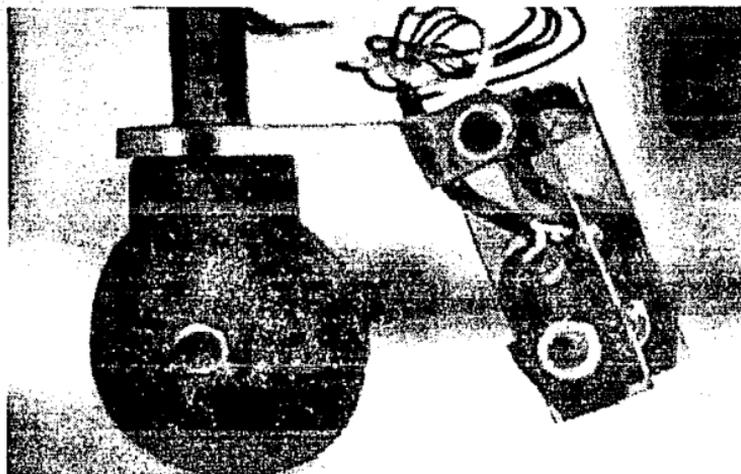


Fig 4.4.-Rueda delantera y sensores.

La rueda delantera, que fue elegida de 40 mm de diámetro la conseguimos en un mercado de partes de segundo uso y cumple perfectamente las características que necesitábamos, le fabricamos un eje de aluminio el cual va sostenido del soporte de acero inoxidable con un par de tornillos.

Sensores de Impacto

Estos sensores fueron diseñados para prevenir al control central de que el AGV sufrió un impacto frontal con algún objeto de manera que el vehículo se detenga, por lo cual se requirió que estas piezas fueran resistentes para que en un evento de este tipo el sensor siga intacto. El diseño descrito en el capítulo anterior lo llevamos a cabo con piezas de aluminio. Cada sensor consta de seis elementos; Un interruptor push button, un cilindro con tope, una placa que sostiene al boton, un bloque por donde corre el cilindro, y dos placas laterales que sostienen unidos estos elementos.

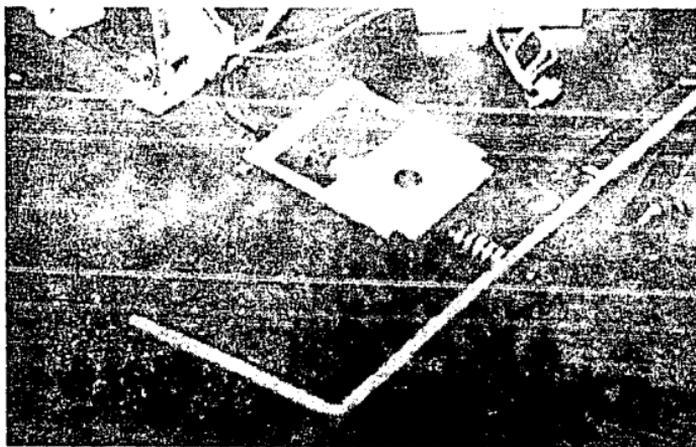


Fig 4.5.- Sensor de impacto.

Las piezas fueron fresadas, torneadas, barrenadas, roscadas y posteriormente ensambladas. Usamos tornillos allen para este ensamble. El cilindro en su extremo exterior fue roscado para poder atornillarle la defensa. La defensa se hizo con una solera de aluminio, y únicamente la doblamos al tamaño adecuado, y perforamos donde se sostiene de los dos sensores, con un poco de juego, de manera que no formara una estructura rígida, de tal forma que un impacto a cualquier altura de la defensa, inclusive uno lateral activaría alguno de los sensores. El cilindro de cada sensor lleva un resorte que hace retractil la defensa, para que después de un impacto el sensor no se quede permanentemente activado. Los interruptores push button fueron probados antes de ser instalados definitivamente en el sensor. De acuerdo al diseño compramos varios botones que pudieran funcionar efectivamente, y que tuvieran la rosca adecuada a la placa de aluminio. Por ser un sensor de impacto, los botones los sometimos a pruebas de impacto y los únicos que sobrevivieron la prueba sin fracturas fueron los botones con estructura totalmente metálica, que a la postre fueron los que se seleccionaron. El montaje sobre la placa se hizo perforando, y atornillando desde abajo, de manera que los cilindros sobresalieran de la parte de adelante de la base para poner la defensa.

Soportes para los sensores Ópticos.

Los sensores ópticos como ya se explicó anteriormente, fueron diseñados para ir montados sobre el eje de la dirección, quedando adelante de la rueda de dirección, y rotando en el mismo eje. Para que el momento de inercia de estos soportes sea despreciable, se tuvo que pensar en un material muy ligero, con la resistencia mecánica adecuada, y relativamente fácil de trabajar. Por lo que nuestra mejor alternativa fue el acrílico.

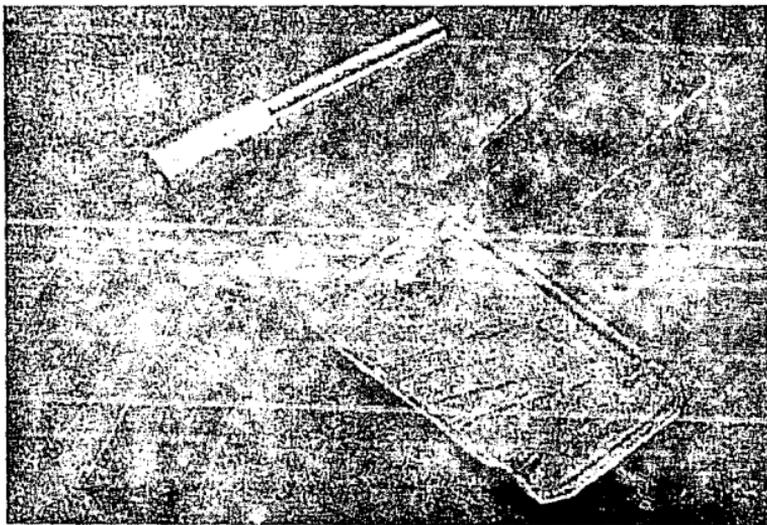


Fig 4.6.-Piezas del sistema seguidor. Eje de la dirección, soporte de rueda,placade montaje y soporte de los sensores. (en sentido horario).

Las piezas fueron cortadas en un Cortador Láser con un programa de Control Numérico en el laboratorio de Manufactura Avanzada. La ventaja de que estas piezas fueron programadas, nos permitió fabricar algunas de repuesto para cualquier eventualidad, además de que el corte con láser nos brindó piezas con acabado muy fino.

La base horizontal de esta parte, se hizo en acrílico transparente de 4.5 mm de espesor, y colocado entre el eje de la dirección, y el soporte de la rueda, sostenido por el mismo tornillo de este último. Los soportes de los sensores se hicieron en acrílico transparente aluminado de 3.3. mm de espesor. Cada uno va colocado en cada lado sostenidos arriba por la base de acrílico transparente y en medio separados por un cilindro de aluminio. Y en su parte baja llevan atornillados los sensores en una ranura que permite ajustar la separación de estos del suelo.

Soportes de Circuitos Electrónicos.

Los circuitos de sensores, sistemas auxiliares y de control, que van en el interior del vehículo, con el propósito de aprovechar el espacio al máximo, manteniendo la filosofía de modularidad con que se construyó el vehículo, fueron colocados en forma vertical, por lo cual su soporte debió ser firme, para evitar vibración, o un posible corto circuito.

Estos soportes los hicimos con tres elementos: Dos ángulos en forma de L, cuatro tubos separadores y dos placas de aluminio. En cada esquina de los circuitos, se fijaron con tornillo y tuerca las placas, separadas por los tubos de 14 mm de largo, y en la parte de abajo además va fijado todo al ángulo en forma de L el cual va atornillado a la placa base. Este sistema se utilizó para sostener los circuitos principales, que son la tarjeta de control, y la de sensores y sistemas auxiliares. Las tarjetas con circuitos más ligeros, como son la interfase del motor, fueron sujetadas únicamente con una L de la placa base.

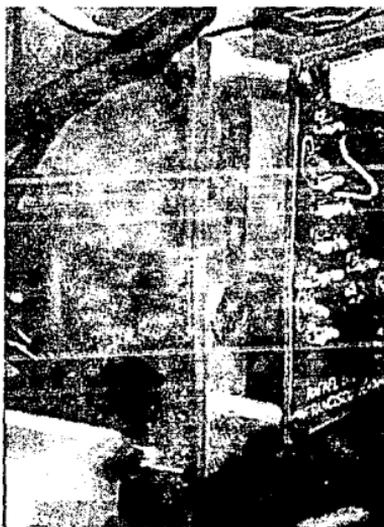


Fig 4.7.-Soportes de circuitos electrónicos.

Soportes de la Batería



Fig 4.8.- Soportes de la batería.

La batería es el elemento más pesado a bordo del vehículo, y como ya se explicó anteriormente, se ubicó en la parte media trasera, para evitar inestabilidad. Por lo mismo concluimos que debía de ir bien fija, de manera que la vibración o la inercia no la cambiaran de posición. Pero al mismo tiempo, el método de soporte que debe permitir cambiar la batería sin necesidad de herramientas, para que esta maniobra sea sencilla y rápida. La solución fueron cuatro postes verticales montados sobre la placa base, dos de cada lado de la batería, con rosca en su parte superior para fijar dos placas de aluminio que sujetan a la batería desde arriba. Para hacer más fácil colocar y quitar la batería, utilizamos tuercas de mariposa, que se atornillan y desatornillan fácil y rápidamente.

Los postes fueron hechos a partir de barras de aluminio cortadas todas de la misma longitud. En su parte inferior fueron roscadas para los tornillos que las fijan a la base y en la parte superior fueron roscadas para las mariposas, justamente a la altura de la batería. Las placas fueron cortadas y perforadas con un diámetro suficiente para que los postes las atraviesen.

CIRCUITOS ELECTRONICOS

Las tarjetas Electrónicas del vehículo fueron todas armadas sobre circuitos impresos. Además de hacer el diseño de distribución y pistas, estos circuitos impresos los fabricamos. En el caso de la tarjeta del sistema de control, y la tarjeta de sensores y sistemas auxiliares, fueron diseñadas con pistas en dos caras, y por carecer de la tecnología necesaria para hacer el grabado de estos circuitos impresos, se optó por mandarlas a hacer con un especialista en fotograbado. Los circuitos con pistas en una sola cara fueron fabricados dentro por nosotros, trazando las pistas en placas de resina con un laminado de cobre. El trazo se hace con líneas de calcomanía transferibles. Cuando el trazo esta terminado se sumerge la placa en una solución de cloruro férrico para el proceso de grabado. Una vez terminado el grabado, el circuito se lava con algún solvente, puede ser alcohol, thinner o acetona para remover las calcomanías. Después con un punzón, se marcan los lugares donde van las perforaciones para los componentes, con el propósito de que la broca del taladro, no patine en las pistas de cobre y las dañe. Estas perforaciones se hacen con broca de 1/64 de pulgada, o bien con fresa de dentista de 1/32, dependiendo que componente es el que se inserta dado que el diámetro de una base de circuito integrado, es distinto, al de un poste de conector por ejemplo. Los circuitos que hicimos con este método fueron la interfase del motor, el medidor de voltaje, la interfase sensores-sistema de control, la tarjeta de distribución de potencia, el cargador de baterías, y el control remoto infrarrojo.

Los circuitos electrónicos del vehículo, fueron armados uno por uno, en distintas etapas del proyecto, haciendo una limpieza preliminar al circuito impreso, para que la superficie de cobre, quede libre de grasas que pueden provocar un mal contacto en la soldadura. Después se procede al montaje de los componentes, las bases de circuitos integrados, y los conectores de cada tarjeta con el exterior. Como la soldadura se realiza utilizando pasta, ya sea externa o interna, algunas manchas de esta pasta quemada quedan alrededor de los puntos de soldadura, misma que a ciertas temperaturas puede provocar falsos contactos, Estas manchas son removidas utilizando un cepillo y thinner.

Los circuitos emisores y receptores de los sensores optoelectrónicos fueron sintonizados, utilizando osciloscopio, de la siguiente manera; primero variando el potenciómetro del emisor, hasta lograr una frecuencia de pulsos cercana a 1 kHz, y el receptor es sintonizado, colocando el sensor apuntando a una superficie reflectiva, y variando el potenciómetro que regula la frecuencia de amarre del detector de tono. En el osciloscopio es posible ver estos pulsos y analizarlos en frecuencia y en amplitud, para en caso de alguna falla de la emisión o recepción de la señal, poder localizar el desperfecto rápidamente. La interfase Sensores-Sist. de Control, lleva además de resistencias de pull-up, tres leds que permiten visualizar los estados lógicos de los sensores de guía, y del módulo receptor del control remoto.

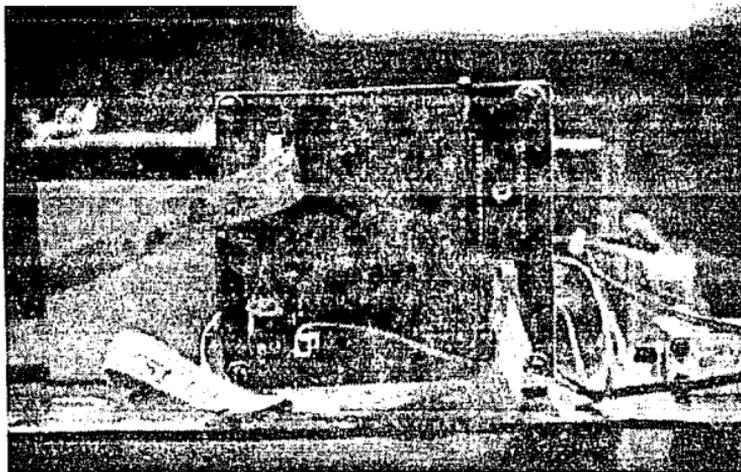


Fig 4.9.- Sistema de control.

El sistema de control, una vez, que se decidió utilizar el Microcontrolador Intel 8031, se analizaron las arquitecturas de varios sistemas descritos por el fabricante, y tomando en cuenta el número de entradas y salidas que el vehículo utilizaría, se comenzó a construir un sistema básico de 8 entradas y 8 salidas. El primer sistema para hacer pruebas se armó con sockets y alambrado wire-wrap, que consiste en enredar un cable alrededor de un poste conectado a cada terminal del circuito integrado. Este enredado (que sustituye al proceso de soldadura), se logra con una herramienta especial. Este sistema inicial, sirvió para hacer las primeras pruebas y para familiarizarse con esta arquitectura. Este mismo sistema, con algunas variaciones, ha sido desarrollado en el depart-

tamento de Ingeniería Mecatrónica, por lo cual se compró una tarjeta para armar el sistema del vehículo.

El sistema de control, que es un circuito implantado con un microcontrolador, lleva su programa en una memoria EPROM, y como fueron necesarias muchas pruebas con el programa, cambiando subrutinas y variando las variables de estas, la memoria debió montarse y desmontarse decenas de veces, por lo tanto en la base de la memoria instalamos un Socket ZIF (Zero Insertion Force), es decir socket sin fuerza de inserción, el cual permite insertar y retirar la memoria sin dañar sus terminales. Este dispositivo por medio de una palanca abre y cierra las tenazas que fijan la memoria.

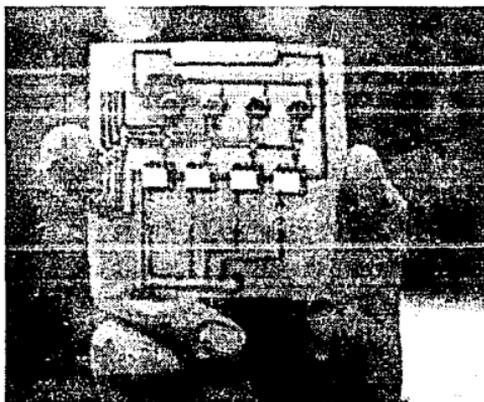


Fig 4.10.- Interfase del motor de pasos.

Para que los circuitos cumplieran con un nivel alto de calidad, establecimos ciertos estándares de calidad en cuanto a la manufactura de estos, y a los componentes utilizados:

- Todos los resistores utilizados, son de de 1/4 Watt, y con una tolerancia de 5%

- Siempre que sea posible, se utilizaron capacitores de Tantalio, o cerámicos, cuando el circuito trabaja alta frecuencia o con circuitos lógicos.

- Las salidas y entradas de los circuitos, que se van a los demás módulos del vehículo, así como las terminales de polarización, se realizaron utilizando conectores de poste en línea.

- Las tarjetas de control y de sensores, fueron polarizadas por un voltaje regulado, para evitar disparos indebidos de circuitos.

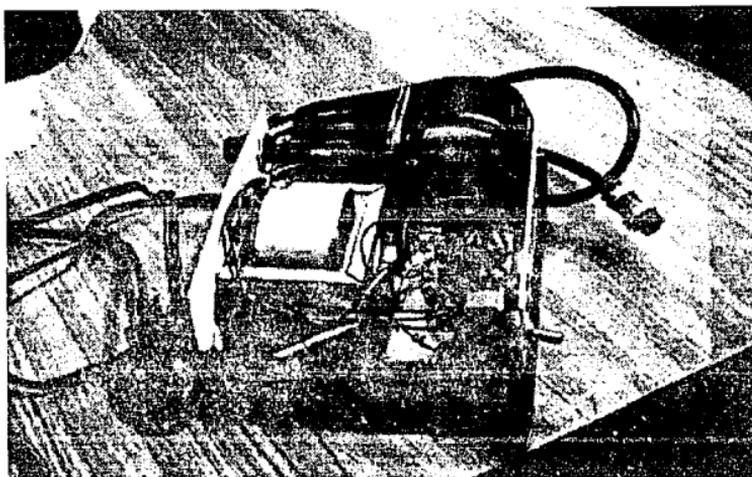


Fig 4.11.- Cargador de baterías.

CARROCERIA

La carrocería tiene que cumplir con tres aspectos importantes, que sea funcional, resistente y estética. El área de transporte en su parte superior debe ser capaz de transportar al menos dos charolas de 125 x 175 mm. y soportar al menos 5 Kg. Aunque su carga nominal sea de un 1.5 kg.

La manufactura de la carrocería se propuso en dos materiales: Lámina de acero, o fibra de vidrio. A continuación se describen los métodos de fabricación, y se explica por que optamos por la fibra de vidrio.

Las ventajas que ofrece la lámina de acero son principalmente su resistencia, y su relativa facilidad de trabajar con ella. El método con la lámina de acero, comienza haciéndose un desarrollo geométrico de los lados, y dejando pestañas en los vértices, las piezas que constituyen los distintos lados son ensamblados con soldadura de puntos. Las aristas se redondean con pasta de hojalatero y después se le dan varias capas de pintura.

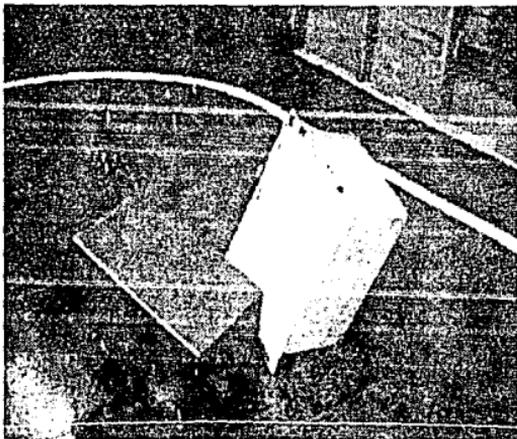


Fig 4.12.- Modelo positivo, molde y pieza terminada.
(en sentido antihorario).

El método con la fibra de vidrio es más complicado: Primero hay que hacer un modelo en tamaño real de la carrocería, para utilizarlo como molde positivo. Este modelo se arma con madera y pegamento. Las aristas se detallan rellenando con pasta de hojalatero y después se lija dejando el contorno redondo. Por ser la madera un material muy poroso, se cubre todo el modelo con plaster de nitrocelulosa. Esta capa nos permite lijar el modelo y darle un acabado muy fino.

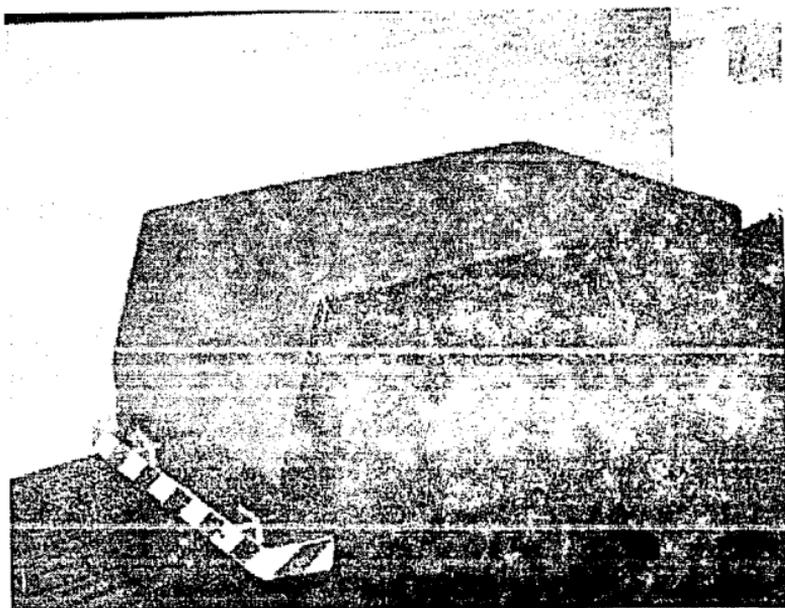


Fig 4.13.-Carrocería terminada.

En el armado de este modelo se debe considerar que si dejamos las paredes de los lados completamente verticales, el molde se puede atorar al momento de separar la pieza, por lo tanto es necesario hacer las paredes con una pequeña inclinación de modo que la boca del molde sea de área mayor que cualquier sección de la pieza, de este modo no se atorará la pieza. A esta inclinación se le denomina ángulo de salida.

Después se procede a pintar, pulir y encerar el modelo dando un acabado espejo. Una vez que se tiene el molde positivo, el molde negativo y la pieza se elaboran con el mismo método. El negativo a partir del positivo, y la pieza a partir del molde negativo. El método consiste en crear la estructura con resina de poliéster y con fibra de vidrio: Primero se pone en el molde un agente desmoldante, este evita que la pieza se quede pegada al molde, la siguiente capa que se aplica es el "Gel-Coat", la cual da el acabado brillante y si es mezclado con algún tinte determina el color de la pieza. En el siguiente paso se coloca una colchoneta de fibra de vidrio cubriendo todo el molde y con una brocha se aplican capas de resina de poliéster. Este proceso se repite las veces que sea necesario, dependiendo el espesor deseado de la pieza. La resina va mezclada con un catalizador y un acelerador que provocan el endurecimiento de esta. Antes de que esta endurezca, se hace un proceso llamado rolado, que consiste en compactar con un rodillo la resina aplicada. Posteriormente se deja secar y que endurezca. Cuando esto sucede, se separa la pieza del molde. Una vez separada la pieza, se limpia, se lijan las imperfecciones, y se cortan las "barbas" sobrantes de fibra.

La carrocería del vehículo la hicimos con el segundo método, y optamos por la fibra de vidrio, por varias razones, por principio, la estructura de fibra de vidrio, es más ligera, una vez terminada es más fácil cortar y perforar que la lámina de acero, ofrece la oportunidad de hacer formas más elaboradas, y no es necesario pintar. Aunque el método utilizando lámina de acero es más sencillo, corregir errores es mucho más complicado que con la fibra de vidrio; por ejemplo las correcciones en la fibra de vidrio, se realizan desde la etapa del modelo en positivo, y con el uso del plaster de nitrocelulosa y las lijas esta labor es relativamente sencilla.

El modelo positivo lo hicimos en aproximadamente dos semanas de trabajo, porque constantemente teníamos que corregir formas, ángulos, y sobre todo el trabajo para darle un acabado espejo es de mucha paciencia. Una vez terminado el modelo, el molde y la pieza se elaboraron en un taller especializado en fibra de vidrio, donde se terminó la fabricación de la carrocería.

Soporte para las Charolas

El soporte donde el vehículo lleva las dos charolas, fue ensamblado con perfiles de aluminio, pegamento epóxico y uniones reforzadas con remaches. Tres perfiles fueron colocados como bases, y perforados en su parte central, estas perforaciones, se insertan exactamente en tres conos colocados en la parte superior de la cubierta del vehículo. Estos conos los fabricamos en el torno a

partir de cilindros de aluminio, y van sostenidos desde abajo de la carrocería con tornillos. La razón por la cual son cónicos, es para permitir cierta libertad de transferencia, es decir el vehículo tiene cierto margen de error en su posición al detenerse. Esta charola es la pieza que los sistemas externos de transferencia toman para realizar las maniobras de carga y descarga.

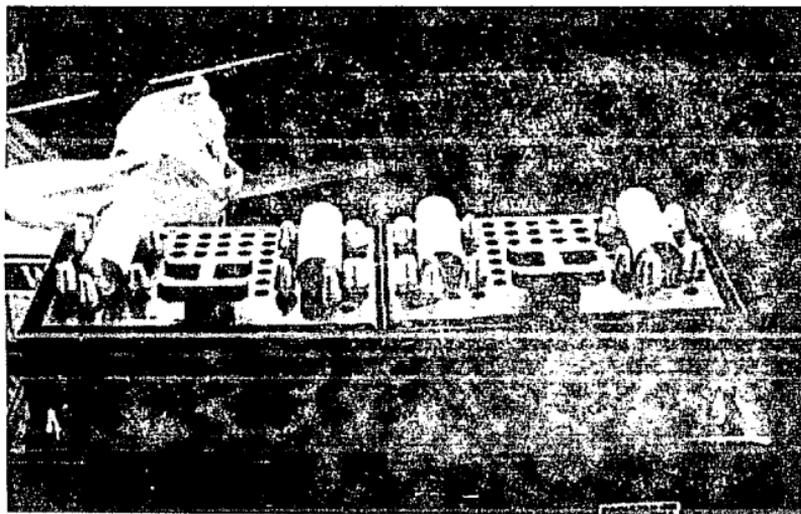


Fig 4.14.-Soporte para charolas.

MODULARIDAD

La modularidad es una característica básica a considerar hoy día en el diseño y construcción de sistemas electrónicos. Está basada en dividir un sistema en varios subsistemas más pequeños de tal forma que cada uno de ellos tenga sus tareas bien definidas, considerando a estos módulos trabajando en un contexto interactivo. En el caso de los módulos del vehículo, son interactivos, porque ninguno es independiente en su desempeño, todos tienen entradas que determinan su funcionamiento, y todos generan salidas, que disponen condiciones para los demás subsistemas.

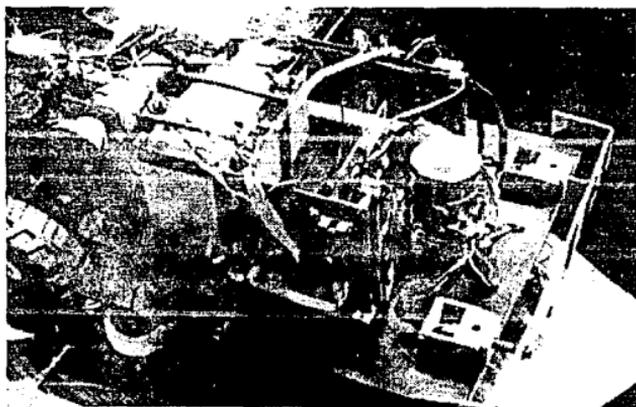


Fig 4.15.- Interior del vehículo con los sistemas interconectados.

Esta Modularidad, ofrece enormes ventajas a un Sistema Mecatrónico, como las que a continuación se explican:

- Un sistema con módulos, tiene mayor flexibilidad de crecimiento, y tiene mayores posibilidades de mejorar su diseño, sin tener la necesidad de cambiar todos los elementos. Por ejemplo, si el vehículo en un momento dado, es insuficiente en su capacidad desde el punto de vista de control, es posible cambiar este sistema, sin tener que alterar interfase del motor, sensores y sistemas auxiliares, etc. Esto también ofrece ventajas en caso de una descompostura por dos razones; Por ser tareas bien definidas las de cada subsistema, es más fácil localizar el desperfecto, y en caso de necesitar ser reparado sustituyendo el circuito, solamente se sustituye el subsistema que falla, y no todo el sistema.

La modularidad, fue lograda separando perfectamente los subsistemas, y haciendo todas las conexiones a través de conectores que se insertan y separan fácilmente.

ELABORACION DEL SOFTWARE (PROGRAMACION)

El programa final del sistema de control sufrió un gran numero de modificaciones, las cuales fueron eliminando algunos problemas, o añadiendo nuevas funciones, o en su caso cambiando secuencias de operación de manera que el vehículo fuera capaz de interactuar con su entorno llevando a cabo las funciones preestablecidas inicialmente.

El programa se transcribe a continuación:

The Cybernetic Micro Systems 8051 Family Assembler, Version 3.02

```
*****  
***   PROGRAMA DE CONTROL DEL VEHICULO   ***  
***   DE GUIA AUTOMATICA (AGV)         ***  
***   1993. RAFAEL SOUSA Y PCD. BERNAL   ***  
*****
```

```
0000          ORG 0000H  
0000 803E          SJMP 0040H  
0040          ORG 0040H  
0040 78A5          MOV R0, #0A5H
```

+ BLOQUE PRINCIPAL +

RUTINA DE INICIO

```
0042 1200B8  INI:  LCALL CI  
0045 1200A7          LCALL CB
```

SENSOR DESVIACION HACIA LA DERECHA

0048 1200B8 SDD: LCALL CI
004B 1200A7 LCALL CB
004E E0 MOVX A,@DPTR
004F 5403 ANL A,#03H
0051 B40302 CJNE A,#03H,L1
0054 8036 SJMP CAS
0056 B4020E L1: CJNE A,#02H,SIGA5
0059 E8 MOV A,R0
005A 03 RRA

005B 03 RRA
005C F8 MOV R0,A
005D 540F ANL A,#0FH
005F 2420 ADD A,#20H
0061 F0 MOVX @DPTR,A
0062 1200DD LCALL RETARDO
0065 80E1 SJMP SDD
0067 1200D6 SIGA5: LCALL SIGA

SENSOR DESVIACION HACIA LA IZQUIERDA

006A 1200B8 SDI: LCALL CI
006D 1200A7 LCALL CB
0070 E0 MOVX A,@DPTR
0071 5403 ANL A,#03H
0073 B40302 CJNE A,#03H,L2
0076 8014 SJMP CAS
0078 B4010E L2: CJNE A,#01H,SIGA6
007B E8 MOV A,R0
007C 23 RLA
007D 23 RLA
007E F8 MOV R0,A
007F 540F ANL A,#0FH
0081 2420 ADD A,#20H

```

0083 F0          MOVX @DPTR, A
0084 1200DD      LCALL RETARDO
0087 80E1        SJMP SDI
0089 1200D6      SIGA6: LCALL SIGA

```

SENSAR AMBOS SENSORES (PERDIDA DE PISTA O ESTACION).

```

008C 7903      CAS:  MOVX R1, #03H
008E E0        NAS:  MOVX A, @DPTR
008F 5403      ANL A, #03H
0091 B4030D    CJNE A, #03H, SIGA7
0094 D9F8      DJNZ R1, NAS
0096 E8        MOV A, R0
0097 540F      ANL A, #0FH
0099 2480      ADD A, #80H
009B F0        MOVX @DPTR, A
009C 1200C7    LCALL CE
009F 80EB      SJMP CAS
00A1 1200D6    SIGA7: LCALL SIGA
00A4 020042    LMP INI

```

SUBRRUTINAS**CONFIRMAR SEÑAL DE SUBTENSION**

```

00A7 E0      CB:  MOVX A, @DPTR
00A8 5410      ANL A, #10H
00AA B40002    CJNE A, #00H, L5
00AD 8001      SJMP RUT1
00AF 22      L5:  RET
00B0 E8      RUT1: MOV A, R0
00B1 540F      ANL A, #0FH
00B3 24D0      ADD A, #0D0H
00B5 F0        MOVX @DPTR, A
00B6 80EF      SJMP CB

```

CONFIRMAR SENSOR DE IMPACTO

```
00B8 E0    CI:  MOVX A, @DPTR
00B9 5408    ANL A, #08H
00BB B40001  CJNE A, #00H, RUT2
00BE 22      RET
00BF E8    RUT2: MOV A, R0
00C0 540F    ANL A, #0FH
00C2 2450    ADD A, #50H
00C4 F0      MOVX @DPTR, A
00C5 80F1    SJMP CI
```

CONFIRMAR ESTACION

```
00C7 E0    CE:  MOVX A, @DPTR
00C8 5404    ANL A, #04H
00CA B40401  CJNE A, #04H, RUT3
00CD 22      RET
00CE E8    RUT3: MOV A, R0
00CF 540F    ANL A, #0FH
00D1 2420    ADD A, #20H
00D3 F0      MOVX @DPTR, A
00D4 80F1    SJMP CE
```

SUBROUTINA PARA CONTINUAR EL PROGRAMA

```
00D6 E8    SIGA: MOV A, R0
00D7 540F    ANL A, #0FH
00D9 2420    ADD A, #20H
00DB F0      MOVX @DPTR, A
00DC 22      RET
```

RUTINA DE RETARDO

```
00DD 7901    RETARDO: MOV R1, #01H
00DF 7A0D    MOV R2, #0DH
00E1 7BDF    MOV R3, #0DFH
00E3 DBFE    RETAR: DJNZ R3, RETAR
```

00E5 DAFC	DJNZ R2, RETAR
00E7 D9FA	DJNZ R1, RETAR
00E9 22	RET
0000	END

Si se analiza la secuencia que debe de ser mandada a la interfase del motor de pasos para que este efectue una rotación en sentido horario, (Fig. 3.6), que está formada por los números 1010, 1001, 0101 y 0110, se verá que los últimos dos dígitos de cada número coinciden con los dos primeros dígitos del número siguiente, de esta manera si empalmamos estos números se obtiene el número 10100101, correspondiente al A5 hexadecimal. Si mandamos a la interface del motor de pasos los cuatro últimos dígitos de dicho número se podrá ver que rotando dos veces hacia la izquierda el número, obtendremos el siguiente paso en la secuencia necesaria para el movimiento en sentido horario. De la misma manera si rotamos dos veces hacia la derecha el número, obtendremos el siguiente paso necesario para la rotación en el sentido antihorario. De esa manera la primera acción tomada en el programa es cargar el registro cero con el número A5 hexadecimal.

El programa se encuentra dividido en dos partes principales, el bloque principal y una serie de subrutinas que serán invocadas por dicho bloque. Las subrutinas que serán descritas después de analizar el bloque principal, son las siguientes:

Comprobar señal de subtensión, comprobar sensor de impacto, sensar estación, subrutina para continuar el programa, y una rutina de retardo. El primer paso dentro del bloque principal, consiste en comprobar si existe la señal de impacto y verificar el estado de la batería, llamando a la subrutina CB. A continuación se prueba si el vehículo se ha desviado hacia la derecha, lo cual se hace cargando las entradas, aplicandoles una mascarilla AND de manera que se "filtre" las entradas correspondientes a los dos sensores, se les compara con el número 03H de manera que si es igual, significa que ambos sensores se encuentran apagados, debido a que estos trabajan bajo lógica negativa, en cuyo caso saltarán al la etiqueta CAS en donde se verifica si ambos sensores se encuentran apagados, en caso contrario, es decir si alguno de los dos o ambos se encuentran prendidos, se comparará la entrada con el número 02H, el cual denota que el sensor izquierdo se encuentra prendido, y el derecho apagado, condición que en caso de verificarse efectuará dos rotaciones hacia la derecha sobre el registro R0, al cual se le aplicará una mascarilla AND con 0FH, y se le sumará el número 20H, este número denotando las alarmas apagadas y el motor principal prendido, el estado en el que queda dicho número después de la rotación se vuelve a guardar en el registro R0, después de que las salidas se mandan a los sistemas correspondientes (MOVX @DPTR, A), se llama al retardo, el cual permite que los pulsos sean mandados a una frecuencia con el cual pueda trabajar y se regresa a la etiqueta SDD. Si la comparación con el número 02H realizada en la etiqueta L1 no se verifique, se llamará a la subrutina SIGA.

El siguiente paso dentro del programa consiste en verificar la desviación hacia la izquierda, proceso idéntico al anterior, con excepción del número de

comparación que es el 01H en lugar del 02h, el cual denota sensor derecho prendido, e izquierdo apagado, y la rotaciones que ahora serán hacia la izquierda. La última parte del bloque principal consiste en verificar si ambos sensores se encuentran apagados. Dentro de esta secuencia lo primero que se hace es cambiar el registro 1 con el número 03H, se cargan las entradas aplicandoles una mascarilla AND con el número 03H, quedando únicamente las entradas correspondientes a los sensores, y comparandolas con el número 03H, lo cual denotaría que ambas entradas se encuentran apagadas, lo cual en caso de verificarse decrementa el registro R1 y salta a la etiqueta NAS, lo cual hace que se verifique otra vez si los dos sensores se encuentran apagados. Después de realizar esta verificación tres veces, lo cual nos permite eliminar en cierta medida los errores, se mandarían las señales de alarma correspondientes, esto después de cargar el registro R0 y tomar los cuatro últimos dígitos de este a los cuales se los suma el número 80H, lo cual denota el motor principal apagado, la alarma auditiva apagada, la señal A1 apagada, y la señal A2 prendida. Una vez que se han mandado las salidas se llama a la subrutina CE. En caso de que alguno de los dos sensores se vuelva a prender, se llamará a la rutina SIGA.

La primera subrutina es la rutina CB, la cual verifica si se encuentra prendida la señal de subtensión, en cuyo caso generará las siguientes salidas: Motor principal apagado, y todas las alarmas prendidas (el número D0H).

La segunda subrutina se denomina CI, la cual verifica si la señal de impacto está encendida, lo cual en caso de verificarse genera las siguientes salidas: El motor principal apagado, la alarma auditiva prendida, A1 prendida y A2 apagada.

La rutina CE, verifica si se encuentra prendida la entrada correspondiente al semáforo, lo cual en caso de verificarse provoca que el motor se encienda sin importarle el estado de los sensores de dirección.

La rutina SIGA para continuar el programa. lo que hace es restaurar el estado de los cuatro últimos de la palabra de salida, al sumarle a las salidas el número 20H, lo cual apaga las alarmas y enciende el motor.

Finalmente la subrutina de retardo, provocará un retardo en la ejecución del programa, el cual tiene una duración controlada por el valor de los registros R1, R2, y R3 siendo el más significativo R1 y el menos significativo R3, de esta manera, experimentalmente se vió que los valores presentados en le listado del programa son los adecuados para el funcionamiento del motor de pasos.

ENSAMBLE Y PRUEBAS

Como se ha descrito, el vehículo fue armado progresivamente, según se iban terminando de construir cada sistema interno. Desde un principio, se tenía el esqueleto básico que consistía en la placa base, el eje trasero y la rueda del eje delantero. Todavía sin ningún circuito electrónico. En esta etapa montamos el motor que impulsa al vehículo, e hicimos las primeras pruebas del vehículo en movimiento utilizando una fuente de poder y dos cables largos que conectaban la fuente al motor. En estas pruebas determinamos que la relación de engranes era correcta, tomando en cuenta el par y la velocidad. El motor de pasos, fue el siguiente elemento a instalar, pero las pruebas de este fueron posteriores, hasta tener trabajando el sistema de control.



Fig 4.16.-Montaje inicial.

El siguiente montaje que se realizó, fueron los sensores de impacto frontal, así como la defensa.

A continuación, se montó el sistema de control, y las pruebas que se realizaron al principio con él fueron simulando las entradas y las salidas visualizándolas con leds, y utilizando programas muy sencillos.

El siguiente sistema terminado fue la interfase del motor de pasos. Está se conectó al motor utilizando un conector de Nylon de seis terminales. Las pruebas de este se hicieron en conjunto con el sistema de control. Se realizó un programa que mandaba al motor, una secuencia de palabras de control para girar la rueda a la derecha. El sistema funcionaba bien, y la interfase al parecer recibía bien las señales, pero el motor no giraba. Descubrimos que las resistencias de los transistores eran tal vez demasiado grandes y las cambiamos por resistencia de 100 ohms. La prueba se realizó de nuevo, y el motor giró como se esperaba, pero al apoyar el vehículo en el suelo, el motor no tenía la fuerza suficiente para girar la rueda, solamente lo hacía en vacío, sin la resistencia provocada por la fricción del suelo. Se concluyó entonces que el motor de pasos era insuficiente, y se buscaron otras alternativas. Los motores de pasos, a pesar de encontrarse hoy en día en casi todos los sistemas mecatrónicos, no son un producto comercial que sea fácil de conseguir. La manera más fácil de conseguirlos, es en un deshuesadero de partes electrónicas. De esta manera se encontró otro motor de pasos, con una reducción mecánica, por lo tanto tiene más par, aunque tiene menor velocidad. Este nuevo motor fue montado, para lo cual primero fue

necesario reconocer la polaridad de los cables del motor, y conectarlos a la interfase. Las nuevas pruebas se realizaron utilizando el mismo programa, sucedió lo que se esperaba; El motor giraba muy bien, pero de manera muy lenta. Esto no presentó mayor problema, porque la velocidad se pudo variar a través del programa. Esta variación de velocidad se fue aumentando gradualmente hasta encontrar una respuesta adecuada, pues a velocidades muy grandes, el motor no alcanza a responder correctamente.

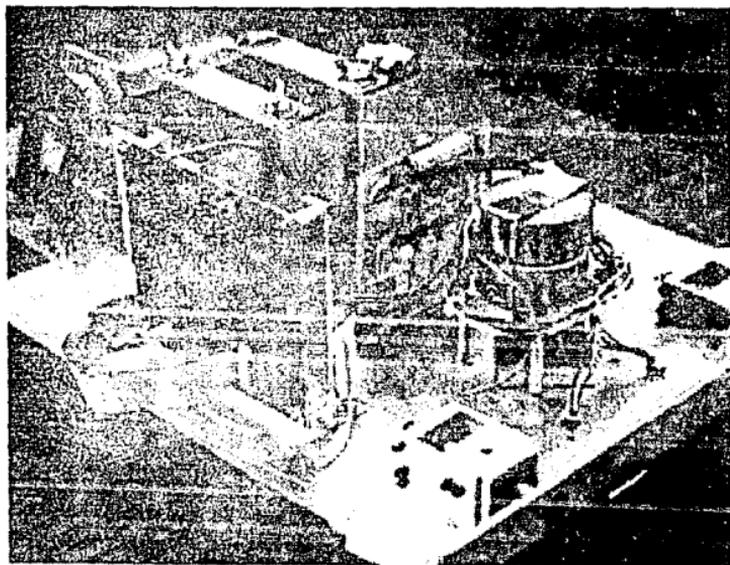


Fig 4.17.-Sistema con la tarjeta de control y el motor de pasos con reducción montados.

La siguiente prueba que se realizó fue un programa, que verificaba la señal de dos entradas, simulando la señal de los sensores de gafa izquierdo y derecho. Si la entrada del sensor izquierdo se encendía, el microcontrolador enviaba la secuencia para girar a la derecha, y cuando la entrada del sensor derecho se encendía, el control hacía lo propio para girar a la izquierda. La prueba dio buenos resultados, y la mitad del sistema de control en malla cerrada estaba terminado.

El primer programa general del AGV, se hizo basándonos en el diagrama de flujo descrito el capítulo anterior, y realizaba básicamente las siguientes funciones: Sensor pista, sensar estación, sensar impacto, corregir dirección, encender y apagar motor, y activar alarmas.

El programa fue primero simulado en Computadora, con un Software especial para este propósito, y después de pasar satisfactoriamente esta prueba, se probó en el sistema simulando las entradas con micro-interruptores, y las salidas se podían ver con leds, a excepción del motor de pasos, el cual ya operaba correctamente.

Cuando se recibió el circuito impreso de la tarjeta que faltaba, se armó con todos sus componentes, y se probaron uno por uno los sistemas. El sistema de encendido y apagado del motor funcionó satisfactoriamente, así como el encendido de la alarma sonora. El sistema medidor de subtensión mostró problemas en sus

primeras pruebas y fue necesario revisarlo minuciosamente, a la postre resulto que el problema lo causó un diodo zener cuya soldadura no hacía contacto adecuado.

El circuito receptor del control remoto no se pudo revisar adecuadamente, pues el módulo externo a la tarjeta se quemó en pruebas anteriores. Los sensores de guía del sistema, cuentan cada uno con un circuito emisor, con un oscilador, y un circuito receptor, con un detector de tono. Los emisores fueron probados con una laminilla detectora de luz infrarroja, y verificando su señal en el osciloscopio, y mostraron funcionar correctamente. Sin embargo los circuitos que realmente dieron problemas, y que tomaron varias semanas solucionar, fueron los receptores de los sensores. Estos circuitos fueron revisados una y otra vez, checando continuidad de pistas, verificando que las conexiones fueran correctas, revisando los valores de los componentes participantes, y cambiando los circuitos integrados que son un amplificador operacional, y el detector de tono. Se procedió a revisar el funcionamiento de estos circuitos con el osciloscopio, y todas las terminales mostraron funcionar como se esperaba a excepción de la salida del detector de tono. Esta salida es la que el controlador recibe como uno o cero de cada sensor. El problema, estaba en que cada salida necesitaba además una resistencia de Pull-Up por tratarse de una salida tipo Sink. Esto se encontró revisando las hojas de especificaciones del detector de tonos.

Con este problema resuelto, se instaló la tarjeta en el vehículo, y fue conectada a los distintos sistemas, al motor, a la bocina, a los sensores, y por medio de una

interfase con las resistencias de pull-up al control central y fue conectada a la polarización de 12 y 5 V.

El programa básico se probó por primera vez sin simular entradas y salidas, sino con los sistemas que realmente iba a controlar. Las primeras pruebas así fueron realmente desastrosas, porque no se llevaba un estricto control de las entradas y salidas, y todos los sistemas se conectaron al mismo tiempo, pero a partir de aquí empezaron a funcionar los sistemas como se esperaba desde su diseño.

Después de establecer los cableados de sensores y de entradas y salidas, se observó que la mayoría de los sistemas interactuaban correctamente y el vehículo estaba listo para hacer pruebas con alguna pista.

La primera pista de pruebas era de un metro de largo, y fue trazada en el suelo (negro) con cinta de aislar plástica de color blanco, con un vuelta algo pronunciada, el vehículo parecía seguir la recta bien, pero al llegar a la vuelta hacía una pequeña corrección en la dirección, pero sin poder corregir totalmente, y se salía de la pista. Por esta razón se trazo una segunda pista con una curva muy abierta. Después de algunos intentos, por primera vez el vehículo siguió exitosamente el trazo en el suelo, pero en esta etapa otros problemas surgieron. Después de que el vehículo seguía correctamente el trazo especificado, alguno de los dos sensores o ambos, se desintonizaban, y dejaban de funcionar, y la tarea de sintonización,

era muy difícil. Cuando uno ya funcionaba correctamente, al ajustar el otro el primero dejaba de funcionar. Después de analizar estos circuitos con el osciloscopio, se concluyó que la señal era muy ruidosa, y que el VCO de un detector de tono, generaba ruido para el otro receptor. Este problema se solucionó conectando en cada detector de tono un capacitor de 0.1 μ F entre sus terminales de tierra y Vcc. De esta manera cada circuito LM557, queda aislado uno del otro. Con esta solución, las señales de estos circuitos quedaron libres de ruido e interferencias.

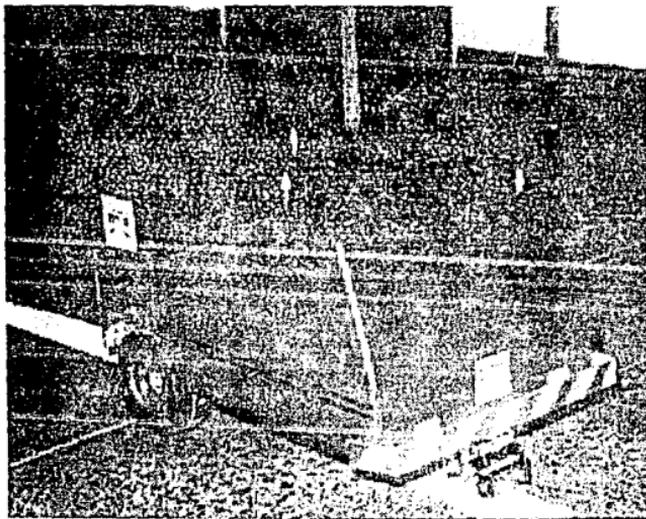


Fig 4.18.-Pruebas del AGV en la pista.

La solución de este problema, fue fundamental para seguir avanzando con las pruebas del AGV, pues esta parte estancó un tiempo el avance del proyecto.

La siguiente prueba, con los sensores funcionando correctamente, se puede decir que fue la más importante, porque fue la primera que cumplió con las expectativas del sistema de guía del vehículo. Se hizo en un trazo en forma de U, y el vehículo recorrió el camino perfectamente, y se detuvo al final de este como estaba programado. Con esta prueba se comprobó que el sistema de control de malla cerrada formado por los sensores, el microcontrolador, la interfase y el motor de pasos funcionaba como se esperaba desde su diseño.

La siguiente etapa, de pruebas para el vehículo, fue en un circuito cerrado, y en estas el vehículo expuso sus características de operación en una manera mas real. Por ejemplo, el Vehículo reveló su capacidad de carga, el tiempo de duración de la batería, su certidumbre siguiendo su ruta en esta etapa. Primero, se puso el vehículo sobre la pista, y se encontró el ángulo idoneo para que los sensores brinden una respuesta adecuada entre la pista y el suelo, a continuación se probó el sistema de guía, con el motor principal apagado, para confirmar que el sistema de reconocimiento de guía, y el de corrección de trayectoria, ya teniendo estos dos sistemas funcionando, y con el vehículo sobre la pista, se conecta el motor, y se ponía en operación.

En estas pruebas se detectó que la sensibilidad de los sensores, podía ser regulada variando el ángulo de inclinación de los soportes del seguidor, y antes de encontrar la óptima, el vehículo se salía de curso. Se realizó una prueba de trabajo continuo en la que el AGV se quedó dando vueltas en un circuito por el transcurso de una hora, sin salirse de la ruta, únicamente presentaba titubeos cuando la batería empezaba a dar signos de carga baja.

Las pruebas de carga, se realizaron, colgando de la parte trasera del AGV un banco, el cual iba arrastrando. Cada vuelta se le aumento el peso de la carga, encimando cosas en el banco, y el vehículo mostró una potencia de arrastre mayor a la que se esperaba, pero hacía falta la carrocería, para conocer su capacidad de carga en cubierta.

Ya con la carrocería terminada, hicimos el montaje sobre el vehículo. Para poder dar servicio a los sistemas internos, la carrocería debe colocarse y desmontarse fácilmente, además hay que considerar que el peso de la carga lo soporta completamente la carrocería. La solución que encontramos para el montaje fue inspirada en los "funny cars" que corren arrancones, la carrocería va detenida en la parte de atrás con bisagras de modo que se levante sin necesidad de desmontar. En la parte delantera, dos cortes permiten que la carrocería, se inserte en los sensores frontales de impacto.

Las bisagras fueron montadas con tornillos a la placa base y con remache a la carrocería. La carrocería fue cortada en la parte que van las ruedas del eje trasero utilizando sierra caladora, y lima para delinear el arco de la rueda. En la parte trasera, se colocaron los dispositivos del panel de control, que son: El interruptor general con chapa bancaria, el interruptor de encendido, el display del voltmetro, los leds de las alarmas y el de encendido, y el conector para la recarga de la batería. El medidor de voltaje, sostenido por una L, y el display de barra, fueron pegados a la carrocería con pegamento caliente, del mismo modo el módulo GPUX receptor del control remoto, fue pegado a la parte lateral del vehículo, en donde una perforación permite que la señal del emisor externo entre. Para el display del voltmetro, y para el receptor de control remoto, se colocaron ventanas de acrílico, estas fueron cortadas con el cortador Láser CNC del laboratorio de manufactura avanzada, y pegadas a la parte externa de la carrocería. Todos los componentes y dispositivos montados en la carrocería, llevan conexiones a los demás circuitos. Estas terminales fueron adaptadas utilizando un conector de Nylon, de manera que al quitar completamente la carrocería, solo sea necesario separar este conector.

Ya con el vehículo terminado, fueron instalados los conos que fijan el soporte de las charolas. Estas charolas, como se ha mencionado, son las que en su parte superior llevan las piezas que se transportan. Este soporte lleva empaques de goma, en la superficie que hace contacto con la carrocería del AGV.

Una vez que el AGV quedó completo, comenzó la etapas de pruebas en condiciones reales de trabajo. Instalamos en la parte externa del circuito, un robot Scorbot-ER V plus con una pinza para tomar piezas cilíndricas como punta efectora, y un soporte que lleva montados un sensor fotoreflexivo y el control remoto del AGV. El sensor fotoreflexivo tiene el propósito de detectar la presencia del vehículo en la estación de transferencia, y su señal va conectada a una entrada del controlador del robot. El control remoto va conectado a una fuente de 12 VCD, también del controlador del ROBOT, y su encendido y apagado es conmutado por un relevador interno controlado por el programa del robot.

Con este equipo instalado, se realizó la última etapas de pruebas interactivas con el robot que realiza las maniobras de transferencia, es decir la carga y descarga de materiales. Para esta prueba, se define el area de transferencia, tomando en cuenta la posición en la que el AGV se detiene cuando la pista tiene una ranura que indica el paro. Con esta posición del Vehículo, se fijó el robot en la parte lateral, y se definieron posiciones del robot para la carga y descarga de piezas en la parte superior de las charolas. Cada charola fue acondicionada para transportar dos barras de aluminio. La programación del robot consistió primero en determinar una serie de posiciones de trabajo, las cuales son memorizadas por el controlador. El robot es programado desde una computadora en lenguaje ACL (Advanced Control Language).

El robot toma la pieza de un alimentador de barras, y lo sostiene en una posición que no interfiere en la ruta del vehículo. El programa espera la señal del sensor, lo cual significa que el vehículo está ya en la estación. si esta condición se verifica el robot comienza las maniobras de carga en la superficie de transporte del AGV, si no se verifica, el robot espera hasta que este llegue. Una vez que las maniobras de carga de todas las piezas el robot se coloca en un lugar seguro, y el controlador enciende el control remoto. De esta forma el vehículo avanza lleva el material hasta la siguiente estación, que en este caso es la misma. Ahora el robot espera que llegue el vehículo, con el sensor fotoreflexivo, y realiza la operación de descarga de las piezas.

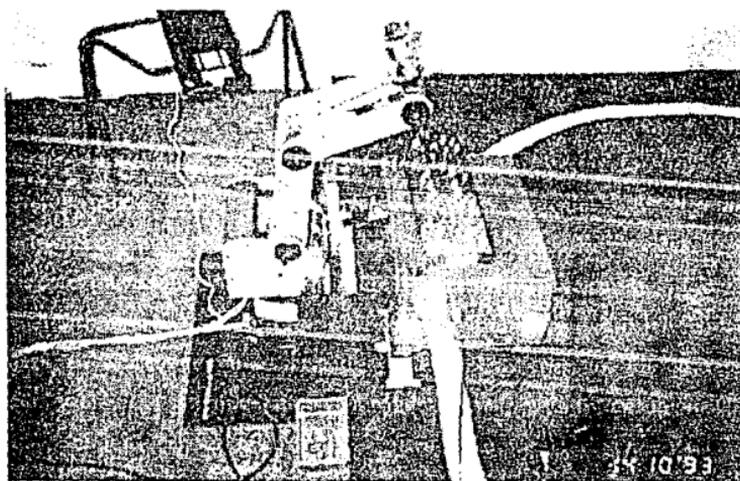


Fig 4.19.-AGV trabajando con el robot y el alimentador.

El problema que surgió en esta etapa, fue que el AGV se detenía en la estación de transferencia con un error mayor al tolerable por los dispositivos de transferencia, por lo tanto el robot colocaba la pieza en forma incorrecta. La solución que superó esta dificultad, consistió en colocar una zapata con dos rampas, la cual sostiene en una posición fija la rueda trasera del AGV cuando este llega a una estación, y por lo tanto el vehículo siempre queda detenido en el mismo lugar.

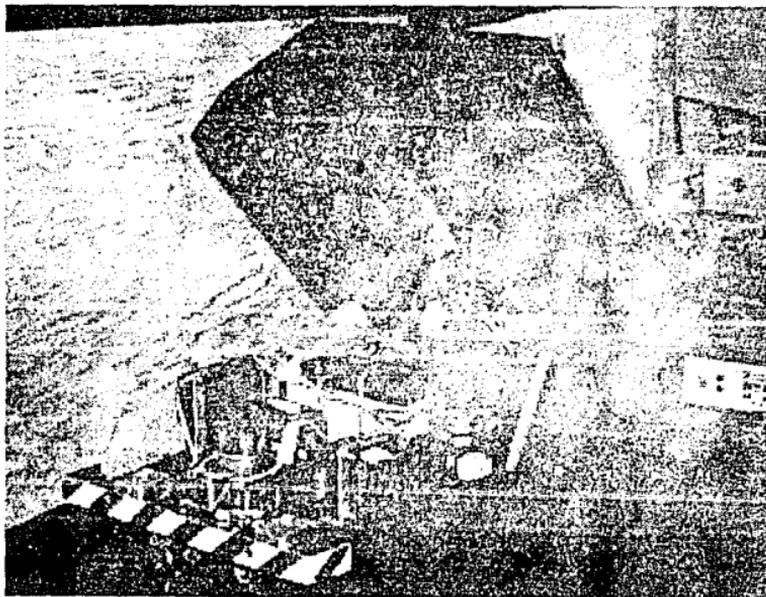


Fig 4.20.-AGV terminado.

Con este dispositivo, esta etapa final de pruebas resultó completamente exitosa porque las condiciones finales de trabajo utilizando sensores, robots y control remoto, nos permitieron simular situaciones reales y se superaron problemas que se presentan en un sistema de transporte flexible como este.



Capítulo V

Conclusiones

Resulta interesante comparar el diseño obtenido con los diseños comerciales de vehículos AGV. El diseño realizado en esta tesis uso como lineamientos el concepto que nosotros entendíamos de lo que era un AGV, y los sistemas que deberían de integrarlo. Esto se hizo sin tomar en cuenta los sistemas establecidos y sin ni siquiera ver otro AGV.

Esto nos llevó a obtener un resultado muy interesante, ya que si por un lado, algunos de los sistemas se diseñaron de una manera muy ingenua, es decir, sin saber si funcionarían adecuadamente para la tarea a la que serían asignados, algunos otros resultaron muy adecuados y robustos.

Por ejemplo, el sistema de tracción resultó muy eficiente en el aspecto de la capacidad de carga del vehículo, pues el AGV superó en mucho el peso de la carga útil que era requerido para su operación dentro del sistema FMS, pero por otro lado cuando efectuaba una vuelta, la falta de algún sistema de diferencial en el eje trasero provocó que el radio mínimo de la curva no sea tan pequeño como los vehículos comerciales, esta sería una de las modificaciones indispensables para poder asegurar la operación del AGV dentro de un contexto industrial.

El sistema de reconocimiento de trayectoria resultó adecuado para la operación del vehículo dentro del sistema didáctico, sin embargo, si se quisiera aplicar el vehículo a un sistema industrial se tendría que rediseñar totalmente el sistema de sensores, debido a la propensión que tienen a fallar y a descalibrarse durante

la operación del vehículo, asimismo son muy vulnerables a los cambios de luz ambiente, todo esto a pesar de que estos inconvenientes se previeron mediante el uso de señales pulsantes y luz infrarroja.

Por otro lado, el sistema de corrección de trayectoria es bastante eficiente, debido a que el radio mínimo de operación esperado para su operación dentro del área designada para la instalación de la pista era de 1 m, y el vehículo mostró funcionar perfectamente con un radio de 80 cm, es por esto que se considera que el lazo de control establecido realiza la corrección de una forma bastante adecuada a la aplicación. La velocidad con la que el sistema corrige la trayectoria es ideal para la velocidad con la que se desplaza el vehículo, la cual también resulta adecuada para cumplir con los tiempos previstos para la transferencia del material dentro del sistema FMS. Esto se comprobó durante el período de pruebas debido a que no hubo errores provocados por este sistema.

En el aspecto de los sistemas de energía, el vehículo mostró un rendimiento de la batería menor al previsto, se esperaba un trabajo sin recarga de más de cuatro horas, sin embargo el tiempo de operación continua máxima resultó ser de poco más de una hora, esto provocado por que el consumo de energía de todos los sistemas excedió los pronósticos, y la batería no cumplió con las especificaciones correspondientes a la carga de 7 amperes-hora proporcionada por la batería, dado que con esta especificación, y el consumo promedio del sistema que es de 1 ampere, el sistema debería haber trabajado durante 7 horas continuas.

En resumen, el resultado obtenido fue muy bueno, no comparable con un sistema comercial, por haber sido construido con fines didácticos, sin embargo los costos que manejamos para su fabricación y el tiempo (Hora-hombre) empleado en el desarrollo fueron significativamente menores que los que se requieren usualmente para sistemas similares. Los conocimientos que se adquirieron durante la elaboración de esta tesis permitirán el mejoramiento sustancial del AGV a futuro.

Otro aspecto que resultó importante fue la interacción existente entre diversas disciplinas que fueron necesarias para el diseño y la construcción. La frontera existente entre los sistemas mecánicos y electrónicos dentro de un dispositivo como el AGV, se vuelve cada vez más difusa, y la interacción entre ellas es cada vez mayor. Es por esto que resulta indispensable el contar con conocimientos de ambas ramas. En nuestro caso la asesoría con la que contamos por parte de Ingenieros Mecánicos, y gente de diseño industrial resultó indispensable para poder obtener resultados satisfactorios.

Como se ha mencionado, las tareas de este vehículo son cumpliendo como sistema de transporte flexible en un sistema automatizado, nosotros fuimos capaces de evaluarlo a partir de su diseño y su funcionamiento, sabiendo de antemano que los vehículos de este tipo son capaces de abatir costos de transporte, y relizar sus tareas con total precisión. Sin embargo la evaluación del AGV trabajando incorporado a un sistema de manufatura flexible tendra que hacerse después cuando sea terminada la integración de este sistema.

También hay que destacar dentro de este proyecto, el hecho de que involucra el desarrollo de tecnología propia, que es tan necesaria para un país como México. En el área de robótica y automatización, a pesar de tener un auge notable en los últimos años desde el punto de vista de aplicación industrial, en el desarrollo de equipos seguimos varios años atrás de los países industrializados líderes en este ramo, por razones de infraestructura tecnológica, necesidades mismas del país y recursos económicos que se disponen para la investigación y desarrollo. Este proyecto, sin superar en desempeño vehículos comerciales, además de brindar al departamento de mecatrónica de la UNAM de un equipo didáctico económico, sencillo y funcional, demostró que un proyecto de innovación es realizable dando validez una vez más a la formación académica de esta Facultad. Este esfuerzo debe seguir creciendo entre Maestros y Alumnos de esta Facultad.



Apéndice I

Características generales

CARACTERISTICAS GENERALES**Dimensiones :****Ancho** 290 mm**Largo** 470 mm**Altura** 300 mm**Capacidad de Carga** 2000 g**Velocidad Nominal** 50 cm/s**Peso** 9.2 Kg**Batería** 12 V 7 A/h**Duración de la Batería (promedio):****Operación continua sin recarga** 1 Hora**Operación continua con recarga** 12 Horas**Motor Principal****Motor de corriente continua 12 VDC
con reducción de 125.6 a 1**

**Motor de dirección
(seguidor)**

**Motor Paso a Paso con
reducción 100 a 1**

Tipo de transmisión

Banda-Polea

Microprocesador

Intel 8031 a 12 MHz

Tipo de guía

Optica con sensores infrarrojos

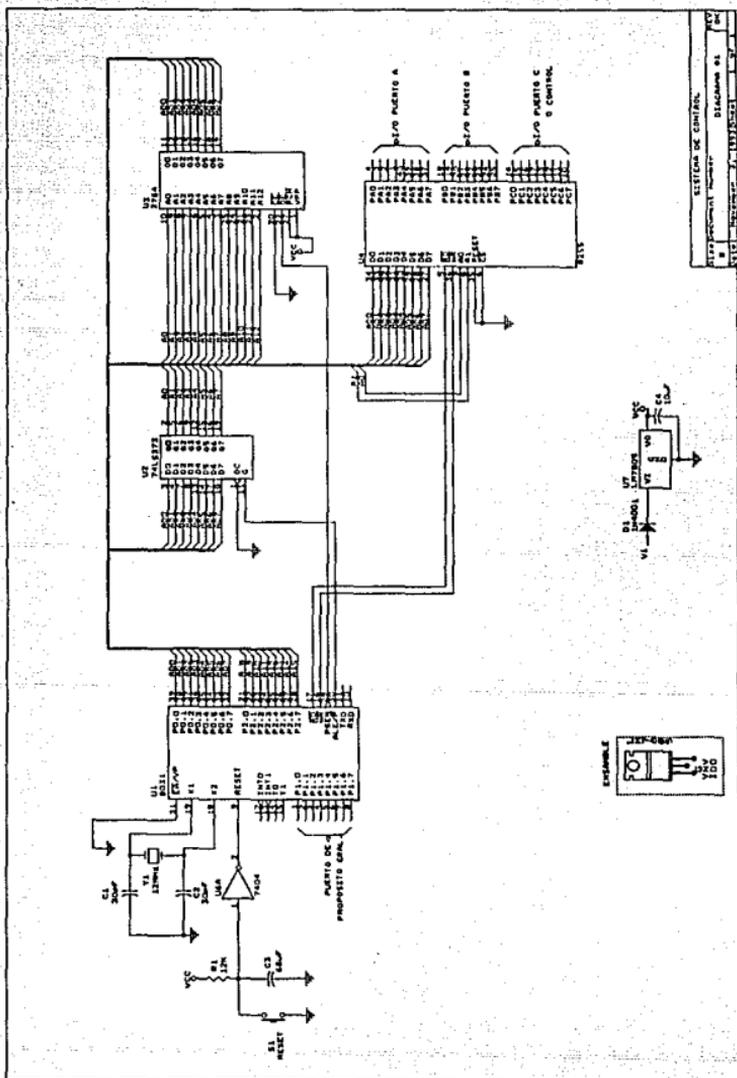
Radio mínimo de curva

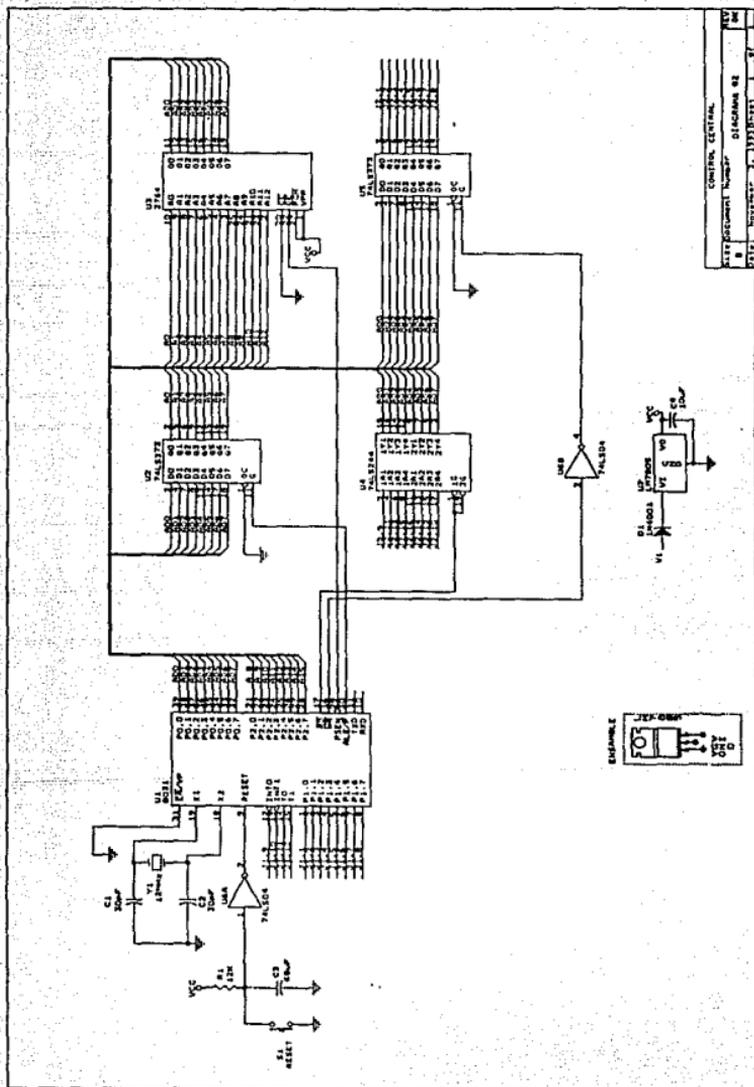
80 cm.

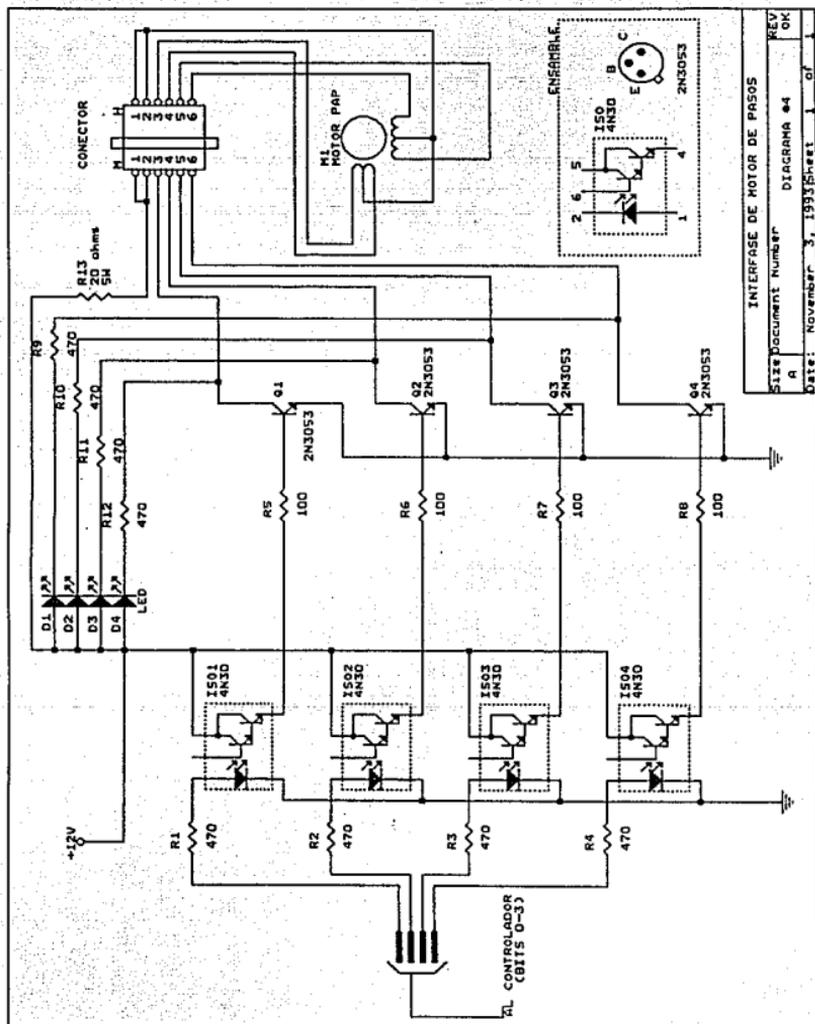


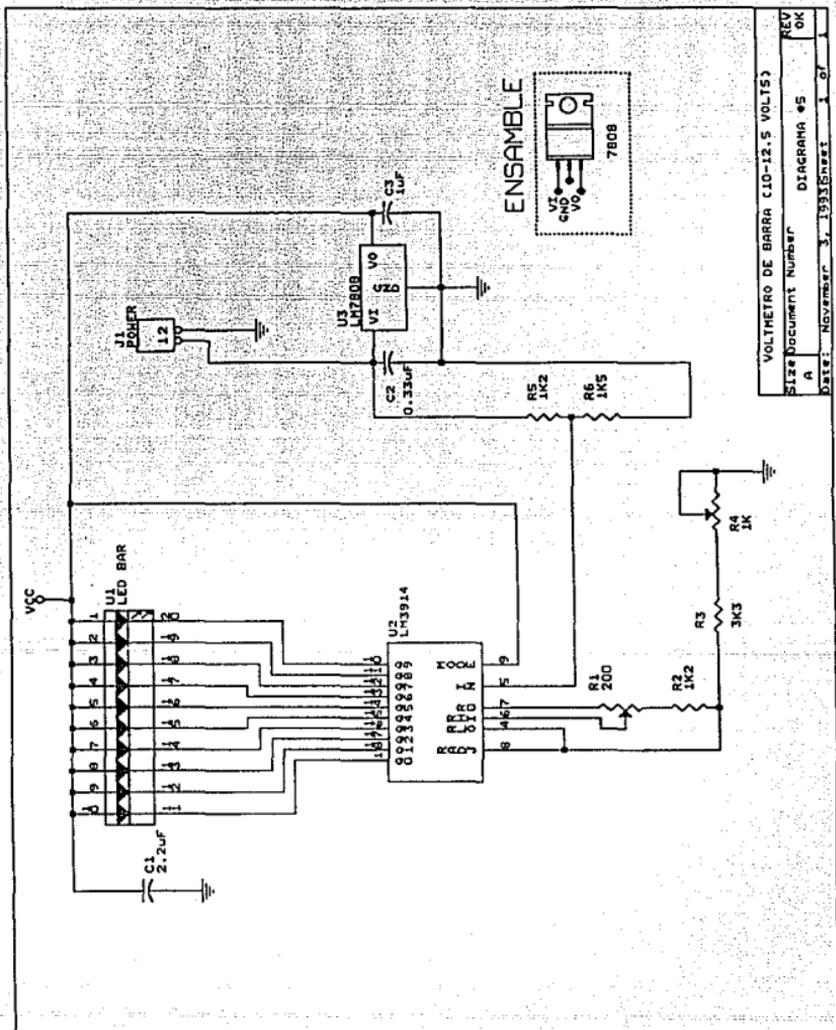
Apéndice II

**Diagramas
electrónicos.**

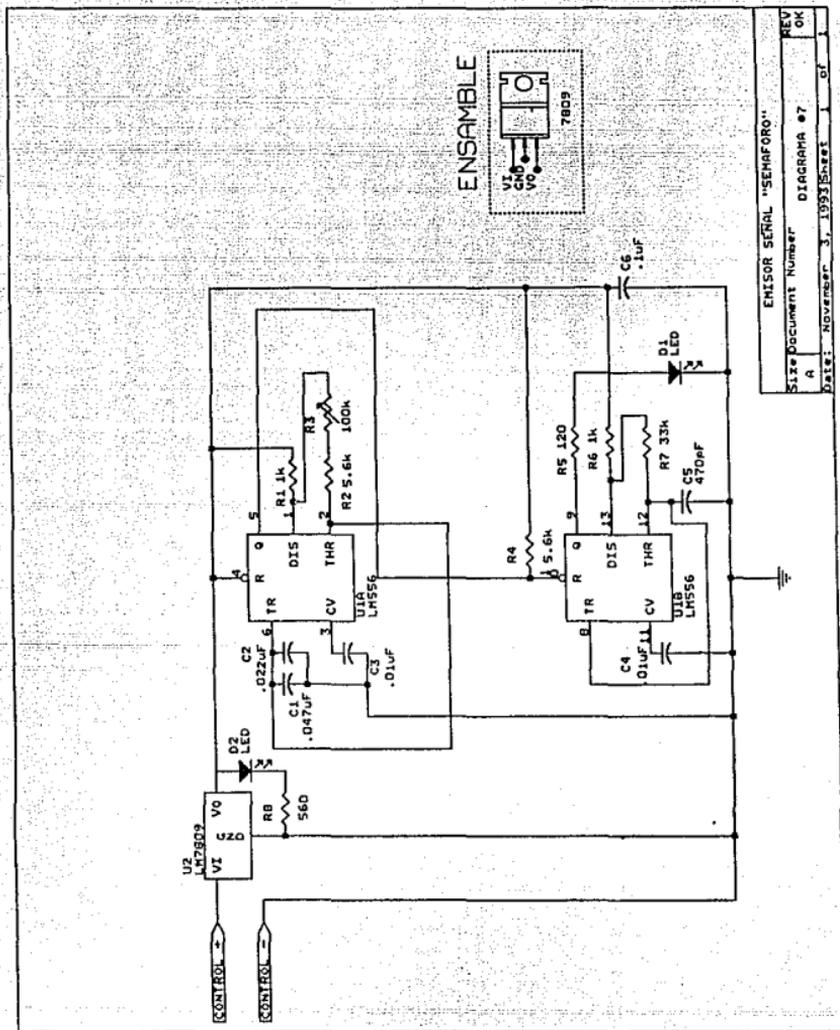








VOLTIERO DE BARRA (10-12.5 VOLTS)	
SIZE	Document Number
A	DIAGRAMA 45
REV	OK
DATE:	November 3, 1993
Sheet	1 of 1





Bibliografía

Proceedings of the 7th International Conference of Flexible Manufacturing Systems

September 1988

-Automatic materials handling in FMS. The key to one day lead time, 4900 production hours per year, and full flexibility for 120 different articles

M. Annbom BT Industries AB Sweden

-An automated guided vehicle systems suppliers view of fully integrated flexible manufacturing systems

P Günsler Wagner Fördertechnik GmbH & Co. West Germany

-Integrated transport and storage systems in Flexible Manufacturing Systems

U Begert Digitron AG, Switzerland

Implementing Flexible Manufacturing Systems

Nigel R. Greenwood

Edit. McMillan

1988

Manual y aplicaciones del microcontrolador 8051

Alejandro Vega Salinas

Cinvestav IPN

1992

Microprocesadores, Dispositivos periféricos, optoelectrónicos y de Interfaz

Arthur B. Williams

McGraw Hill

1989

Mechatronics Electronics in products and processes

DA Bradley, D. Dawson, NC Burd, AJ Loader

Chapman & Hall

First edition 1991

HD74LS Series semiconductor data book

Hitachi 1986

Robótica Industrial

Mikell P. Groover, Mitchell Weiss

McGraw Hill

1990

Linear Databook 3

National Semiconductor Corporation

1988 edition

Microelectronics

Jacob Millman, Arvin Grabel

McGraw Hill

1988

Electrónica, Teoría de Circuitos.

Robert Boylestad, Louis Nashelsky

Prentice Hall

4a Edición 1987

Biblioteca de Electrónica

Tomo 21 Robótica Básica

Tomo 30 Pilas, Baterías y equipo de alimentación

Tomo 31 Pequeños motores

Editorial Nueva Lente

Madrid 1986

Basic Semiconductor Circuits.

Forrest M. Mims III

Radio Shack Publications

2nd Ed. 1987

PC based stepper-motor controller.

Popular Electronics

Junio 1992 pp. 41