

39
2ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE GUÍA AUTOMÁTICA (AGV), BASADO EN UN DIFERENCIAL ELÉCTRICO

T E S I S PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
P R E S E N T A N:

SAÚL XARTUNI TREJO
JORGE ANTONIO SALINAS ALVAREZ

Director de tesis: M.I. Víctor J. González Villela



CIUDAD UNIVERSITARIA

1999



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Con el mas profundo agradecimiento a mis padres Jorge y Elena por haberme brindado incondicionalmente su apoyo, comprensión y cariño, en momentos gratos y difíciles de tan noble profesión, la cual constituye la herencia mas valiosa que pudiera recibir.

A mis hermanos, Jesús, Filiberto, Leticia y Amanda por apoyarme en mi formación profesional; sobre todo por soportarme en momentos criticos.

A la UNAM, y en especial a la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad y el privilegio de instruirme en sus recintos.

Jorge Salinas Alvarez

A mis padres por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado.

¡ Gracias por ser padres
en las buenas, las malas y
cualquier otra situación!

No hay nada que se construya de
forma individual, y necesito
agradecer a muchas personas que
me han apoyado para concluir algo
muy importante en mi vida.

Quiero agradecer de forma
muy especial el infinito apoyo que
me brindó una de las personas
más importantes en mi vida,
Xitlalli Marmolejo.

A mis dos hermanos *Ulises* y *Lizeth*,
Siempre universitarios.

Muy, pero muy especialmente a
Jorge Ríos de C.I. UNAM, sin el cual
no hubiera sido posible concluir
esta tesis.

A la UNAM por darme todo aquello
que me ha formado como Ingeniero.

¡Viva la UNAM !

Saúl Xartuni Trejo

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	I
OBJETIVO.....	III
1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS VEHÍCULOS DE GUÍA AUTOMÁTICA (AGV's).....	1
1.1 SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE.....	1
1.2 MANEJO DE MATERIALES EN UN SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE.....	3
1.3 ¿QUÉ ES UN AGV?	6
1.4 APLICACIONES DE LOS AGV'S.....	8
1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE LOS AGV'S.....	9
1.5.1 Sistema de guía y ruta.....	9
1.5.2Control de tráfico y seguridad.....	13
1.5.3 Sistemas de control.....	14
1.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGV'S COMERCIALES.....	16
2 PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL AGV.....	22
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
2.2 COMPONENTES BÁSICOS DEL AGV.....	23
2.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUSTENTACIÓN MECÁNICA.....	24
2.4 SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACTUACIÓN Y SENSADO.....	35
2.4.1 Selección de actuadores.....	35
2.4.2 Sistemas de sensado (detección).....	41
2.5 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL AGV.....	44
2.5.1 Selección del sistema de control del AGV.....	45
2.5.2 Descripción general del HC11 en su versión F1FN.....	46
2.5.3 Selección del sistema de control para un motor a pasos.....	50
2.5.4 Selección del sistema de control para motores de c.d.....	56
3 DISEÑO DE AGV.....	59
3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSTENTACIÓN MECANICA.....	59
3.1.1 Cinemática del GV.....	59
3.1.2 Dinámica del AGV.....	63
3.2 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ACTUACIÓN Y SENSADO.....	66
3.2.1 Sistemas de actuación.....	66
3.2.2 Sistemas de sensado.....	70

3.3 DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL SISTEMA DE TRACCIÓN.....	77
3.3.1 Control de armadura de un motor de c.d	77
3.3.2 Análisis de un motor de c.d. realimentado con bloque de control.....	81
3.3.3 Diseño del controlador para los motores de c.d. del AGV.....	86
3.4 DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS.	94
3.4.1 Diseño e implementación del microcontrolador MC68HC11F1FN.....	94
3.4.2 Sistema de sensado de pista.....	97
3.4.3 Sistema de control de los motores de tracción.....	99
3.4.4 Sistema de detección de estaciones.	105
3.4.5 Interface electrónica de la dirección.....	106
3.4.6 Sistema de monitoreo energético de baterías.....	107
3.5 PROGRAMACIÓN.....	109
4 CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLADO Y PRUEBAS DE SUBSISTEMAS1.....	119
4.1 Construcción y ensamblado de los subsistemas.	119
4.2 Pruebas realizadas a cada subsistema	127
CONCLUSIONES.....	130
APÉNDICE A. Pruebas aplicadas a los motores del AGV.....	133
APÉNDICE B. Obtención de la tabla de velocidades.....	139
APÉNDICE C. Listado del programa.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	151
Diagrama electrónico general del AGV	154

INTRODUCCIÓN

Los vehículos de guía automática han estado en uso desde mediados del presente siglo. Normalmente se utilizan en la industria para transportar cargas de forma muy cuidadosa. Sin embargo, tienen una cierta capacidad para transportar pesos, en rangos que van desde algunos kilogramos hasta 100 toneladas.

Los AGV's vinieron a cambiar el concepto de los sistemas de manufactura, sustituyendo de manera eficaz a las bandas transportadoras, y haciendo fácil aplicar modificaciones a las líneas de producción automáticas. Así nacieron los sistemas de manufactura flexible, los cuales son el método más moderno de producción en serie.

En países como Alemania y Japón el desarrollo de estos vehículos ha sido muy amplio, siendo estos lugares donde su aplicación es mas frecuente. Se utilizan para transportar materia prima, productos en sus distintas etapas de fabricación, equipaje en aeropuertos, automóviles en las ensambladoras y en prácticamente cualquier lugar donde se requiera transporte continuo de materiales entre puntos de corta distancia.

El AGV es un vehículo programable que debe reunir ciertas características para ser añadido a un sistema de manufactura, pero siempre cuidando que el hombre intervenga lo menos posible en el desempeño de sus labores. Un AGV es por mucho una visión de lo que es la industria en los países desarrollados, donde son pocos los hombres que intervienen en los procesos de fabricación, lo que da como resultado una producción más eficiente, con menor costo y mayor calidad.

Los AGV's modernos se pueden controlar por medio de una computadora, gracias a que cuentan con un microprocesador a bordo, con el cual se pueden entablar comunicaciones. Los Sistemas de Manufactura utilizan computadoras centrales, las cuales tienen la misión de proporcionar un orden al transporte, rastrear la transferencia de material y dirigir el tráfico de AGV's.

Algunos sistemas de AGV's tienen la capacidad de realizar la carga y descarga de material en forma automática, pueden tomar o colocar el material directamente de las celdas de trabajo. Desde luego, esta capacidad depende del tamaño del vehículo y el tipo de carga.

Hace poco tiempo, los AGV's estaban divididos en remolques o plataformas; y su función se limitaba únicamente a transportar materiales. Hoy día, estos vehículos realizan funciones de manipulación, ya que están equipados con brazos de robot y pinzas.

Dentro de la amplia gama de AGV's, se pueden encontrar vehículos que realizan tareas de almacenamiento de materiales; para lograr esto, los AGV's se equipan con contenedores y un sistema de elevación de carga, de tal forma que se pueden conseguir elevaciones de hasta 10 metros de alto.

En la actualidad los sistemas de navegación para los AGV's se han sofisticado, ya que algunos están basados en escaneo por rayos láser, sistemas de microondas, giroscopios, sensores ultrasónicos, sistemas de visión de imágenes con cámara a bordo, etc..

Los AGV's son vehículos sumamente flexibles para transportar materiales y el campo de aplicación es muy vasto, en forma breve podemos mencionar que se aplican en las siguientes áreas:

- Acero
- Papel
- Refinerías
- Aeropuertos
- Puertos
- Industria automotriz
- Industria en general

En México el campo de desarrollo de los Vehículos de Guía Automática no se ha explotado, y en la mayoría de los casos se importan de lugares como Alemania para aplicarlos a la Industria nacional (como Volks Wagen de México, Chrysler, General Motors, Hylsa, etc.).

OBJETIVO

De acuerdo a lo expuesto en la introducción, los vehículos de guía automática desempeñan un papel preponderante en los sistemas de manufactura flexible; ya que estos se encargan principalmente de la transportación de materiales entre las distintas celdas de trabajo, así como el realizar tareas de almacenaje.

Lo realmente interesante es que en México hay escasa o nula información acerca del funcionamiento de estos vehículos y de la naturaleza de los sistemas relacionados. En algunos casos la información se encuentra fundamentalmente en artículos publicados por las diferentes asociaciones nacionales e internacionales de ingeniería, robótica y mecatrónica, como IEEE. Sin embargo, las publicaciones son lecturas que están dirigidas a áreas de investigación, sin abordar aspectos prácticos o de aplicación en la Industria.

Por otra parte, la única información que se puede obtener en el ámbito industrial son las especificaciones y características técnicas de los vehículos de importación, así como los precios unitarios.

Ante tales circunstancias, el objetivo de este trabajo es cimentar las bases para el diseño de un vehículo de guía automática basado en un diferencial eléctrico, así como el desarrollo y la construcción de un modelo de este diferencial; de tal forma que cubra las características más importantes de los AGV's comerciales, como son:

- Sistema de sustentación mecánica.
- Sistema de tracción.
- Sistema de dirección.
- Sistema de sensado de trayectoria.
- Sistema de monitoreo energético.
- Sistema de reconocimiento de estaciones.

Es importante señalar que se pueden añadir otros sistemas que puedan complementar las funciones de este tipo de vehículos, como un sistema de comunicaciones con una PC, un sistema de adquisición de datos o un detector de obstáculos; por mencionar algunos.

Debe también considerarse como objetivo de este trabajo, el aportar información acerca de este tema; de tal forma que se tengan herramientas útiles para posteriores desarrollos de vehículos comerciales. El desarrollo del presente trabajo es fundamental para que queden sentadas las bases teórico - prácticas, de cómo y qué consideraciones se debe llevar a cabo en el diseño de este tipo de vehículos, puesto que como se ha dicho, no existe información amplia en el país para que se logre algún día fabricar AGV's de manera comercial. El presente

trabajo está organizado en cuatro capítulos. El primero hace referencia al papel que desempeña un AGV en un sistema de manufactura flexible; también describe en forma general, el funcionamiento de los diferentes subsistemas que lo conforman; así como las principales características de los AGV's comerciales. En el capítulo dos se plantea una propuesta para el diseño del AGV ; desde luego, primero se delimita el problema proponiendo los subsistemas que conformarán a dicho vehículo. Seguido de esto, se exponen diferentes alternativas para construir tales subsistemas, y se concluye el capítulo con la elección de la alternativa que más se ajuste a la solución del problema. En el capítulo tres se aborda en primer término, el diseño del sistema de sustentación mecánica, incluyendo un desarrollo cinemático del comportamiento del diferencial , así como un análisis dinámico donde se expone una alternativa para el cálculo de la inercia total del vehículo; la cual a la postre servirá para cuantificar sus efectos y poder considerarla en el diseño del sistema de control del AGV. También, en el mismo capítulo se exponen los cálculos y consideraciones de los subsistemas elegidos en el capítulo dos. Finalmente, en el capítulo cuatro se explica brevemente la forma en que se construyeron las diversas partes mecánicas del AGV, por supuesto, basándose en la teoría desarrollada para el diferencial eléctrico; así como las pruebas realizadas a los subsistemas y las correcciones que se hicieron.

1

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS VEHÍCULOS DE GUÍA AUTOMÁTICA (AGV'S)

1.1 SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE

El origen de la tecnología de manufactura flexible (FMS Flexible Manufacturing System) se encuentra en el deseo de automatizar pequeñas plantas de manufactura . *La importancia de este tipo de producción es realmente alta entre naciones altamente industrializadas.* El 30% del PIB está representado por la manufactura en partes, el cual el 40% es producción por lotes y sólo el 16% producción masiva, de la producción por lotes el 75% de estos lotes contienen 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. La ventaja de tal sistema de producción es su alta flexibilidad, pequeño esfuerzo y poco tiempo requerido en la manufactura de nuevos productos.

Un sistema de manufactura flexible es una tecnología la cual auxilia y lleva a cabo la fabricación de componentes con mejores tiempos de respuesta, reducción de costo unitario y alta calidad, bajo un mejoramiento del nivel de manejo y del control del capital; el cual tiene la capacidad de poder cambiar significativamente de acuerdo a la demanda que se presente y a los nuevos requerimientos que el mercado exija.

Un FMS en la actualidad se auxilia, por medio de cuidadosas combinaciones de control computarizado, comunicaciones, procesos de manufactura y relación de equipo; de tal manera que permita a una sección de la producción, el responder rápidamente y económicamente de una manera integrada, para *cambiar de manera significativa el proceso de operación.* Dichos sistemas generalmente comprenden: procesos de equipo (por ejemplo, maquinaria, estaciones, robots, etc.), manejo de materiales (por ejemplo robots,

transportación manual), vehículos de guía automática (AGV Automated Guided Vehicles), un sistema de comunicación y un sofisticado sistema de control.

Los sistemas de manufactura flexible son capaces de aceptar cualquier componente y trabajar sobre él. La computadora central de dicho sistema mantendrá un rastreo de herramientas, accesorios, manufactura y sistemas de control, además de controlar la secuencia de manufactura a ser desarrollada. Trabaja con un plan de control de flujo de materiales, el cual habilita componentes que serán terminados en secuencias simples, y decide los componentes requeridos para un cierto momento.

Dos aspectos importantes en el que se basa un sistema de manufactura flexible son el CN (control numérico) y CNC (control numérico computarizado), y con la combinación de estos dos se obtienen elementos como PLCs, vehículos de guía automática (AGV Automated Guided Vehicles), sistemas de almacén/recuperación (AS/RS Automated Storage and Retrieval Systems) y muchos otros bloques estándar utilizados hoy en día.

Los beneficios que se pueden lograr con la implementación de un sistema de *manufactura flexible* (FMS Flexible Manufacturing System) en un ambiente correcto, son bastante substanciales. Desafortunadamente, algunas de éstas ventajas son más difíciles de evaluar que otras, y esto tiende a causar dificultades cuando una es probada para convencer de la viabilidad y necesidad de dicho sistema. Algunas de las ventajas son:

- 1.- Un mejor aprovechamiento del capital y equipo.
- 2.- Reducción del trabajo realizado.
- 3.- Substantial reducción de los tiempos.
- 4.- Reducción de los costos unitarios hasta en un 30%.
- 5.- Reducción de inventarios y un bajo volumen de almacén.
- 6.- Reducción de las horas - hombre.
- 7.- Reducción de los riesgos como resultado de una falla de un producto específico.
- 8.- Calidad consistente.
- 9.- Reducción de los espacios requeridos de la planta.
- 10.- Pocos componentes en el proceso de la realización de trabajos complejos.
- 11.- Capacidad de adaptación rápida a nuevos productos.
- 12.- La capacidad de instalación gradual correspondiente a requerimientos de producción.
- 13.- Explotación práctica de tecnología para procesos especiales.

Pero la implementación de un sistema de manufactura flexible tiene desventajas.

- 1.-Inmóvil relativamente a nuevas tecnologías.
- 2.-Los sistemas son complejos.
- 3.-Los sistemas son caros.
- 4.-La implementación de un sistema toma varios años.
- 5.-Frecuentemente los sistemas requieren gran cantidad de programas de software para el centro de cómputo.
- 6.-Dificultad de integrar dispositivos de diferentes fabricantes.
- 7.-Aumento del desempleo.

Un sistema de manufactura flexible consta esencialmente de :

- 1.-Estaciones de trabajo.- En donde las piezas de trabajo son procesadas o alteradas de alguna forma.
- 2.-Unidades de almacén.- Donde las piezas de trabajo son puramente almacenadas y por lo tanto las piezas de trabajo no sufren cambio alguno.

A las estaciones de trabajo también se les llama módulos, subsistemas o celdas. Frecuentemente , una estación de trabajo puede ser operada por una persona y esta no formará parte del sistema de manufactura flexible.

1.2 MANEJO DE MATERIALES EN UN SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

Una de las primeras motivaciones para desarrollar un sistema de manufactura flexible (FMS Flexible Manufacturing System) es el asegurar que la transformación de una materia prima a una parte finalizada sea rápida, eficiente y controlada.

El manejo de materiales forma parte de un sistema de manufactura flexible (FMS). Éste representa la manera en la cual las partes, posibles herramientas, etc. son transportadas a través del sistema de manufactura flexible (FMS) o entre subsistemas del FMS. También se debe de mencionar que existen diferentes necesidades para el manejo de materiales.

Frecuentemente dentro de un sistema de manufactura flexible (FMS) hay una variedad de tareas de manejo de materiales a ser realizadas. Algunas de éstas son virtualmente fijas y algunas otras se incorporan dependiendo del nuevo producto a elaborar.

- Transportación entre diferentes sistemas.
- Transportación entre diferentes subsistemas dentro de la misma planta.
- Transferencia entre estaciones de trabajo.
- Transferencia dentro de la misma estación de trabajo.

Algunas de las características de los sistemas de transporte son las siguientes:

- velocidad a la cual la transferencia debe realizarse
- frecuencia a la cual los movimientos se deben efectuar
- volumen y peso requerido de la carga
- exactitud requerida de localización de componentes
- exactitud requerida para el sistema de transporte
- número de componentes que integran la carga
- flexibilidad en la ruta y extensibilidad
- permanencia del sistema
- requerimientos de seguridad
- mantenimiento

De manera general el manejo de materiales se sintetiza dentro de la siguiente tabla:

	TIPO DE CARGA	CAPACIDAD DE CARGA	RAPIDEZ	ELEXIBILIDAD DE RUTA	GOSTO	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
MONTACARGA	DISCRETA	MED-BAJA	MEDIA	ALTA	BAJO	ALTA

La selección de un medio de transporte depende enteramente de los requerimientos de la carga a ser transportada.

Hay una gran variedad de equipos disponibles comercialmente para el manejo de materiales. Los equipos pueden dividirse en seis categorías, donde las tres primeras son dispositivos que también pueden ser operados manualmente.

1. *Montacargas manuales* .- Son plataformas con ruedas para el movimiento de éstas, provistas con unidades de carga y capacidad de manejo de gran cantidad de materiales. Algunos ejemplos son los montacargas de operación manual, elevadores manuales, tractores dos ruedas, tractores de cuatro ruedas.
2. *Montacargas*.- Vehículos de potencia provistos con plataformas, unidades de carga y movimiento de gran cantidad de materiales. Manejados por trabajadores y accionados por baterías , gasolina o gas propano. Como ejemplo de estos sistemas encontramos grúas, montacargas hidráulicos, trailers.
3. *Grúas mono riel y elevadores*.- Estos dispositivos son utilizados ampliamente en sistemas donde la producción es menos flexible. Frecuentemente son manejados manualmente, y diseñados para elevar y bajar diferentes tipos de cargas.
4. *Bandas transportadoras*.- Son sistemas automatizados y algunas veces autónomos, diseñados para mover materiales entre localizaciones específicas, sobre un camino determinado restando de está manera flexibilidad al sistema, generalmente usados para mover gran cantidad de volumen de materiales.
5. *AGV's*.- Accionados por baterías , son vehículos diseñados para seguir un camino determinado. Algunos son capaces de cargar y descargar unidades de carga. Frecuentemente enlazados con otras unidades.
6. *Otros equipos*.- Categorías de misceláneos donde pueden caer categorías como:
 - Robots industriales
 - Manipuladores o actuadores
 - Contenedores
 - Conducción por medio de tubo
 - etc.

Hoy en día, existe un nuevo enfoque en cuanto a métodos de manejo de materiales en los procesos de ensamble. Los vehículos guiados ofrecen un alto grado de flexibilidad en el manejo de materiales en una planta. El sistema de

control del vehículo tiene una gran flexibilidad, ya que se programa mediante software y las terminales de entrada por operador, se puede diseñar para asegurar que el material se entregue a una estación de trabajo con la cantidad exacta requerida y en el tiempo exacto, con esto se reduce el uso del suelo para el almacenaje de materiales.

Debido a su flexibilidad el vehículo de guía automática (AGV) puede mover directamente el material desde las bodegas hacia líneas de ensamble, en el momento que se desee. Un vehículo de éstas características es particularmente apropiado para utilizarse con materiales que necesiten un manejo delicado como son ácidos. Adicionalmente, el vehículo puede también mover artículos semi ensamblados de una estación de ensamble hacia otra u otra área de trabajo. Así, el tiempo de manejo y las pérdidas de materiales debido a los sistemas de transporte se reduce hasta un punto en que es virtualmente eliminado.

1.3 ¿QUÉ ES UN AGV?

Un AGV (Automated Guided Vehicle) es un sistema empleado para el manejo de materiales, el cual es autónomo en su operación . También se dice que es un vehículo programado para brindar un buen transporte de un punto a otro, y forma parte de la tecnología llamada manejo de materiales autónomos (AMH Automated Materials Handling). Está tecnología es responsable del movimiento físico de materiales dentro de la planta o almacén, desde la recepción inicial de los materiales y la adquisición directa de componentes, hasta el embarque final de los productos, dicha tecnología incluye: sistemas autónomos de almacén/recuperación (AS/RS Automated Storage and Retrieval Systems), mini-cargadores, vehículos de guía automática (AGV Automated Guided Vehicle), sistemas convencionales de transporte de partes/materiales. Los vehículos son accionados mediante una batería, el manejo de materiales es con una buena exactitud , seguridad y con un mínimo de maltrato de la pieza.

Existen diferentes tipos de AGV's en los que se puede nombrar los siguientes:

- Tipo tren. Este tipo de vehículo es un remolque, que jala una o más plataformas en forma de tren. Este fue uno de los primeros AGV's introducidos en el mercado y es el más utilizado hoy en día. Es utilizado en aplicaciones donde una gran cantidad de carga debe ser movida grandes distancias en la industria o en grandes almacenes.

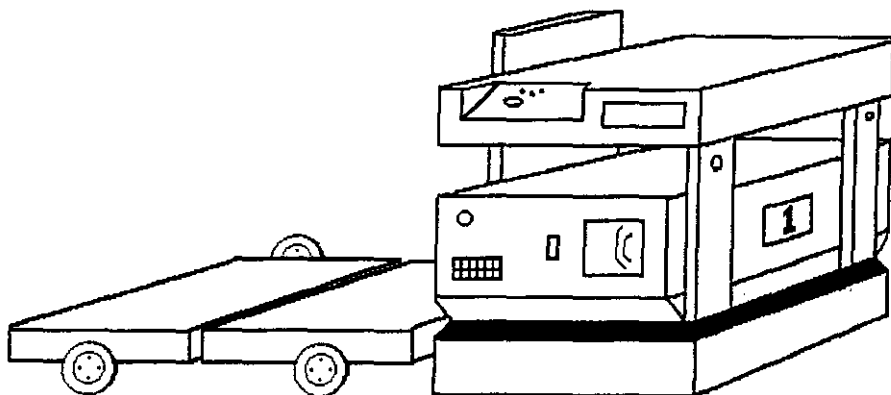


Fig.1.3.1

- Tipo monta carga. Son utilizados para transportar charolas, cajas o grandes piezas de trabajo por rutas predeterminadas. La capacidad de los AGV's tipo monta carga tiene un rango de alrededor de 6000 libras y algunos AGV's llegan a tener dos montacargas. Una característica importante de este tipo de vehículo es que puede realizar un manejo de la carga verticalmente, este sistema aumenta la flexibilidad del vehículo. A este tipo de vehículo se le asocia generalmente con sistemas de distribución.

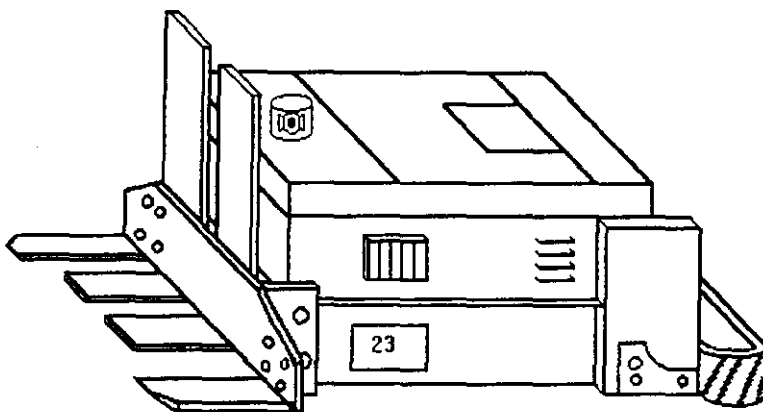


Fig. 1.3.2

- AGV's con unidades de transportación de carga. Este tipo de AGV's son utilizados para transportar piezas de trabajo de una estación de trabajo (o celda) a otra. Este tipo de vehículos están equipados con dispositivos de carga y descarga por medio de rodillos cilíndricos, cintas transportadoras, plataformas mecanizadas u otro tipo de dispositivo. La variación de la carga a trasladar hace que existan AGV's para cargas grandes y AGV's para sistemas de ensamblado en línea. Los AGV's utilizados para transportar grandes cargas tienen una capacidad de alrededor 500 lb. o menos. Los AGV's para sistemas de ensamblado en línea son diseñados para transportar una pieza semi ensamblada a través de estaciones de trabajo con el objetivo de construir una pieza final.

1.4 APLICACIONES DE LOS AGV'S

Los AGV's tienen gran variedad de usos en aplicaciones industriales. La importancia de los AGV's en la industria altamente automatizada, descansa en la habilidad del vehículo de ser operado bajo una central de cómputo que realiza el control, comunicarse automáticamente con máquinas de producción y equipos de almacenamiento, entrega de materiales sobre rutas flexibles y la posibilidad de ser operados en ambientes peligrosos o ambientes especiales.

Los AGV son utilizados en gran número y variedad de aplicaciones como son :

1.-Operaciones de transporte tipo tren (Driverless train operation). Está aplicación involucra el movimiento de gran cantidad de materiales sobre relativas grandes distancias. La transportación de la carga se realiza dentro de grandes almacenes o industrias. El manejo de los materiales se realiza con un AGV tipo tren y consiste de 5 a 10 plataformas de remolque. Este es un método muy eficiente para el manejo de gran cantidad de materiales, y es fácilmente justificado su utilización, basado en la eliminación de tractores, montacargas o remolques operados manualmente.

2.-Sistemas de recuperación/almacén. En éste tipo los AGV's tipo monta carga son ampliamente utilizados en éste tipo de aplicación. El almacenaje y operaciones de distribución involucra el movimiento de materiales o mercancías con una gran variedad de carga (algunas veces éstas son transportadas individualmente) situadas en un lugar específico. La aplicación muchas veces involucra la relación con otro tipo de sistemas como son el sistema de almacén/recuperación automático (AS/RS Automated Storage / retrieval System) en un centro de distribución.

En éste tipo de operación recuperación/almacén puede ser aplicado a sistemas de manufactura y operaciones de ensamble.

3.-Operación de ensamble en línea. Los AGV's son ampliamente utilizados en operaciones de ensamblado en línea. En éste tipo de aplicaciones la velocidad de producción es muy baja. Entre las estaciones de trabajo (o celdas) , los componentes son armados, terminados o colocados en los vehículos para las operaciones de ensamble que son parcialmente completadas en la siguiente estación. En éste tipo de operación el producto o pieza es colocada en el sistema de transporte. Un requisito que se debe de cumplir es la precisión requerida con respecto a la precisión de la operación de ensamble.

4.-Operación en sistemas de manufactura flexible (FMS). Este tipo de aplicación es la que frecuentemente utiliza éste sistema de manejo de materiales (transporte). El vehículo es utilizado para mover piezas de trabajo entre las estaciones de trabajo individualmente (esto es que en la propia estación de trabajo se efectúa la transportación de la pieza) o entre estaciones (o celdas) del sistema de manufactura.

Los AGV's ofrecen un alto grado de flexibilidad en el manejo de materiales dentro de la planta, mediante dicho sistema de transporte se asegura la entrega de materiales a las estaciones de trabajo (o celdas) en cantidades exactas requeridas y con la exactitud de tiempo que se requiere, esto tiene como consecuencia una reducción del espacio ocupado para el almacenamiento de materiales. Un AGV da versatilidad al manejo de materiales y complementa la flexibilidad de la operación del FMS.

5.-Aplicaciones varias. Otras aplicaciones de los AGV's no sólo se enfocan a procesos de manufactura, almacén/recuperación, sino también son muy utilizados hoy en día en la industria automotriz, en el manejo de materiales peligrosos como pueden ser ácidos, en el manejo de materiales como puede ser un hospital, servicios de correo, etc., por ejemplo en algunos hospitales se requiere la transportación segura y eficiente de equipo médico y de laboratorio y otros materiales entre varios departamentos.

1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE LOS AGV'S

1.5.1 Sistema de guía y ruta

El sistema de guía se refiere al método con el cual el AGV sigue una ruta y está definido por el sistema de control que permite el seguimiento de la ruta o camino. Como se indicará abajo existen principalmente dos métodos comerciales para definir el seguimiento en el piso, (en la tabla se dan los métodos utilizados en varios AGV's comerciales) los cuales son guías empotradas en el piso, y pistas colocadas en éste. De los dos métodos anteriores el que se utiliza con mayor frecuencia es el de guías empotradas en el piso, *presentado la desventaja de ser más caro en su instalación y reducción de la flexibilidad del sistema a ser cambiado por cualquier cambio en la producción.*

En el método de guía empotrada, la guía es colocada en el piso en un pequeño canal en la superficie del piso. El canal es frecuentemente de 1/8 pulgada de ancho y de 1/2 pulgada de profundidad. Posteriormente que el sistema de guía ha sido instalado, el canal es llenado nuevamente con el fin de evitar discontinuidades en el piso. Un generador de frecuencia genera la señal de guía sobre el cable, la señal es relativamente de bajo voltaje (menor de 40 Volts), baja corriente (menor de 400mA) y una frecuencia de operación en el rango de 1 a 15Khz, ésta señal crea un campo magnético, que permite a los sensores del vehículo seguir la señal sobre el piso, siguiendo una ruta predefinida, el sistema es básicamente como se muestra en la figura.

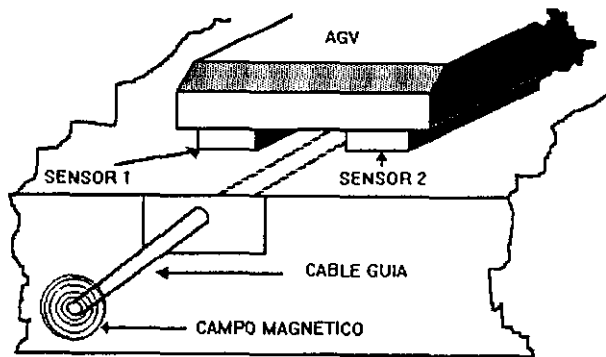


Fig. 1.5.1.1

Los sensores (que frecuentemente son bobinas) son colocados a ambos lados del vehículo, cuando el vehículo se mueve sobre el cable guía y se mueve exactamente sobre el, entre las dos bobinas la intensidad de campo magnético medido por cada bobina debe ser igual. Si el vehículo se desviara de un lado u otro, como se puede ser en una curva, la intensidad de campo magnético de los dos sensores debe ser diferente. Esta diferencia es utilizada para controlar el sistema de dirección, el cual hace que el vehículo cambie de dirección hasta igualar las dos señales de los sensores y lo cual significara que el vehículo se encuentra sobre el cable guía.

Cuando se utiliza el método de colocación de pistas sobre el piso, los vehículos poseen un sistema de sensores ópticos que son capaces de seguir la línea pintada. La línea puede ser colocada o pintada. Los sistemas comerciales que utilizan éste método generalmente utilizan un ancho de pista de 1 pulgada y contiene partículas fluorescentes que reflejan la luz ultravioleta que emite el vehículo. Un sensor sobre éste detecta la luz reflejada de la línea y controla el mecanismo de tracción para seguir está. El sistema de colocación de pistas es útil

en ambientes donde, diferentes tipos de ruidos electromecánicos o eléctricos, pueden causar graves interferencias en el método anterior o en plantas donde el sistema de guía por cable insertada en el piso no es apropiado. Un problema con éste ultimo método es que la línea de seguimiento requiere mantenimiento (esto es que debe mantenerse limpia y sin mutilaciones). El sistema es básicamente como se muestra.

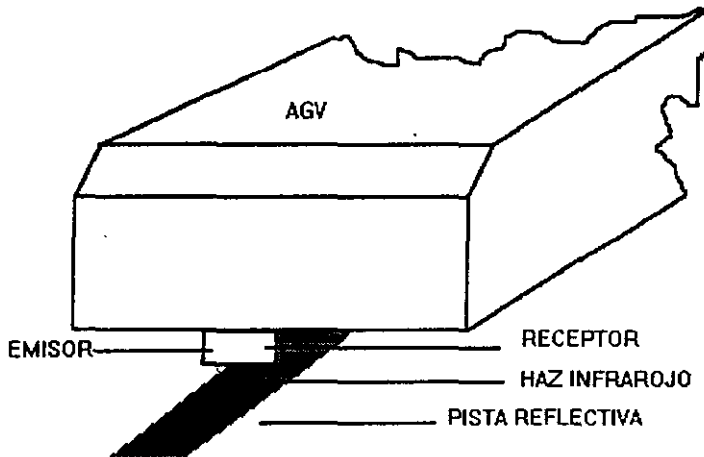


Fig1.5.1.2

Otro sistema importante en el sistema de guía es el sistema de dirección, que permite al vehículo tomar diferentes direcciones, existen diferentes formas para lograr esto, por lo que aquí sólo se mencionaran dos de los métodos más empleados para el control de dirección, estos son; el control por velocidad diferencial y control por rueda guía. El control de velocidad diferencial utiliza dos ruedas conductoras fijas y las velocidades varían entre las dos ruedas conductoras, que se encuentran en cada lado de la sección guía con el fin de permitir que el vehículo consiga dar vuelta. Por otra parte, la detección de la amplitud en la guía se basa en el balance de la señal recibida en los sensores izquierdo y derecho, los cuales se encuentran en la parte frontal del vehículo. Cuando una u otra señal son grandes, el sistema de guía se compensa corrigiendo la dirección hasta que la amplitud de la señal izquierda o derecha sean iguales.

El control por rueda guía utiliza un tipo de control automotriz, en el cual la rueda (que se encuentra en la parte frontal del vehículo) sirve para guiar en las vueltas y así poder continuar en la ruta sin salirse. Así, para éste tipo de conducción se recomienda utilizar el principio de guía por detección de fase. El sensor de detección de fase puede diferenciar ya sea que el vehículo se dirija hacia la derecha o hacia la izquierda, detectando la fase positiva o negativa de la señal recibida desde el cable guía que se encuentra oculto en el piso. Esta

información produce que el vehículo siga su curso normal a menos que nuevamente surja una diferencia de fase.

El uso de un microcontrolador para el sistema de guía, en la tarjeta del vehículo es llamado reconocimiento muerto "dead reckogning" . Este término se refiere a la capacidad del vehículo para viajar a través de una ruta, en la cual no sigue (mediante sensores) una ruta predefinida en el piso. El microcontrolador calcula el número de rotaciones de las ruedas y la operación del sistema de dirección para moverse a través de un camino o ruta deseada.

La ruta de un AGV se concentra en el problema de seleccionar un camino de una gran cantidad de estos disponibles, dichos sistemas en los vehículos son capaces de decidir cual camino tomar para alcanzar el punto destino. Cuando un vehículo llega a un punto de bifurcación (una o más direcciones) , una decisión se debe de tomar para saber sobre que línea se moverá el vehículo. Este punto frecuentemente es llamado "punto de decisión" para el vehículo.

Para el método de línea empotrada sobre el piso existen dos métodos usados en AGV's comerciales que permiten al vehículo decidir cual camino tomar.

- 1.-Método de selección de frecuencia.
- 2.-Método de selección por switch.

En el primer método, se tiene que cuando el vehículo llega a un punto de decisión con dos caminos, por ejemplo, cada uno posee una frecuencia diferente. Cuando el vehículo entra a un punto de decisión, éste lee o identifica el código (en éste caso frecuencia) en el piso para identificar está localización. Dependiendo del destino pre programado, el vehículo seleccionara alguno de los caminos. Este método requiere un generador de frecuencia separado por cada ruta que es utilizada en el sistema de trayectorias. Generalmente se tiene necesidad de dos o tres generadores en el sistema.

El segundo método utiliza sólo una frecuencia a través del camino guía. El control central monitorea la localización del vehículo y el destino, determina rutas y provee únicamente una para que el vehículo la siga, switcheando (encendiendo y apagando segmentos de la guía por cable) de frente al vehículo.

Para el método de colocación de pista sobre el piso, se utilizan códigos de barras sobre las pistas, de tal forma que cada una de ellas tenga asignado un código único; obteniéndose así un método relativamente simple, para que el vehículo pueda diferenciar las rutas en un punto de decisión determinado.

1.5.2 Control de tráfico y seguridad

El propósito del control de tráfico es prevenir a los AGV's contra colisiones entre estos, si estos se encuentran viajando sobre la misma ruta. Este objetivo es realizado mediante un control llamado sistema de bloqueo "blocking system". El término "blocking" sugiere que, el vehículo moviéndose a través de una trayectoria dada, de alguna manera poder prevenir el golpe de un vehículo delante de éste. Hay varios métodos utilizados por los AGV's comerciales para realizar el bloqueo, estos son :

- 1.-Zona de control
- 2.-Sensado en el vehículo

El método para el control de tráfico varía de acuerdo a la complejidad del sistema de control. En los sistemas de control centralizado, las decisiones para el control de tráfico son realizadas a nivel de sistema de control. Este controlador entonces dirige la red distribuida de paro, generando señales en los dispositivos ó comunicando instrucciones directamente hacia los vehículos semi - inteligentes. En sistemas de vehículos inteligentes, cada vehículo puede determinar la localización de los demás vehículos en el sistema, utilizando estos datos, el controlador del vehículo puede realizar decisiones para detenerse o seguir. Para determinar la posición del vehículo con respecto al sistema, éste se equipa con controles basados en códigos, los cuales leen el suelo. Estos códigos pueden ser magnéticos, señales de respuesta para el caso que las rutas sean construidas con cables o bien códigos de barras especiales para vehículos guiados son sistemas ópticos.

El segundo método (algunas veces llamado forward sensing) involucra el uso de alguna forma de sensor para determinar la presencia de un vehículo delante de él, sobre la misma ruta. Los sensores utilizados en AGV's comerciales incluyen sensores ópticos y sistemas de ultrasonido. Cuando el sensor detecta la presencia de un obstáculo (ejemplo otro AGV) en la parte delantera del vehículo, éste se para. Cuando el obstáculo es removido el AGV prosigue su camino. Asumiendo que el sensor es 100% efectivo, colisiones entre vehículos son evitadas y el tráfico es controlado. Desafortunadamente la eficiencia de el sensado delantero (forward sensing) está limitado por la capacidad del sistema de sensado para detectar vehículos en la parte delantera del vehículo.

Un sistema o dispositivo de seguridad para detectar obstáculos localizados en la parte delantera de cada vehículo . Es muchas veces el sensor utilizado para el bloqueo "blocking" para detectar la presencia de otro vehículo localizado al frente de el sensor . El sensor puede localizar no sólo otro vehículo sino también gente y otros obstáculos en el camino de el vehículo. El sistema se basa principalmente en sistemas ópticos infrarrojos o sensores ultrasónicos. Una ventaja de éste sistema es que permite una gran densidad de vehículos en una

área dada, sin embargo la desventaja es que éste sistema se puede utilizar únicamente donde existen rutas simples.

Un sistema de seguridad utilizado en muchos de los AGV's comerciales es el paro automático de el vehículo en caso de que por accidente éste se saliera de ruta , generalmente tienen un rango sobre la línea (típicamente de 2 a 6 pulgadas). Este sistema automático de paro tiene el fin de evitar accidentes con el vehículo. Muchas veces si un vehículo se sale de camino posee un sistema manual para el manejo de éste. La distancia en la cual el vehículo es capaz de seguir la línea, sin salirse de ésta es llamada distancia de adquisición.

Otro sistema de seguridad incluido en la mayoría de los AGV's comerciales es un parachoques. Cuando el parachoques hace contacto con un objeto, el vehículo es programado para parar . Dependiendo de la velocidad de el vehículo , la distancia de paro varía de varias pulgadas a varios pies. Este sistema de seguridad se encuentra en un nivel de mayor prioridad que el anterior, puesto que cuando se activa el sistema de seguridad el vehículo se detiene definitivamente, hasta que sea reprogramado y restaurado (reseteado) manualmente, después de que el obstáculo impactado contra el parachoques sea retirado.

Otros dispositivos de seguridad en el vehículo incluyen luces de emergencia, que pueden ser parpadeantes o rotativas y alarmas sonoras. Estos dispositivos tienen como objetivo alertar a la gente de que el vehículo está presente.

1.5.3 Sistemas de control

El manejo de operación de una AGV trata principalmente el problema de asignación de tareas o despacho de los vehículos, donde el sistema requiere la utilización de éste y una manera eficiente y correcta de manejo.

Algunos métodos utilizados generalmente en sistemas de AGV's comerciales para el despacho de vehículos son:

- Panel de control
- Estaciones remotas
- Centro de computo como unidad de control

Cada AGV es equipado con alguna forma de control mediante un panel con el objeto de controlar el vehículo manualmente, programación del vehículo y otras funciones. Muchos vehículos comerciales tienen la capacidad de serles asignadas tareas por medio del panel de control. La asignación de la tarea con un panel de control representa el más bajo nivel de sofisticación de los posibles métodos. Un monitoreo simple para el AGV puede ser un panel localizador, el cual indica si el vehículo se encuentra en una área dada de la ruta. Una luz se utiliza para señalar la zona que el vehículo está ocupando y así poder determinar las zonas no

utilizadas. Algunas veces se utilizan contadores para verificar si una zona está ocupada por mucho tiempo ó para corroborar si un vehículo tiene algún problema en alguna zona. Una ventaja es que provee al AGV de una mayor flexibilidad y respuesta para cambiar de acuerdo a los requerimientos del sistema en su conjunto. La desventaja principal es que requiere atención manual.

El uso de estaciones remotas es otro método que permite al AGV responder a las demandas cambiantes del modelo del sistema. La forma sencilla de una estación es la presión de un botón montado cerca de la estación carga/descarga. Esto proporciona una señal que permite parar al vehículo y realizar la operación de transferencia. El vehículo entonces puede ser despachado a una localización deseada por medio del panel de control.

Otro tipo de estación remota más sofisticada consiste en paneles de control montados cerca de varias estaciones a lo largo de la planta. Este método permite al vehículo detenerse en una estación deseada y la siguiente tarea se asigna mediante el panel remoto. Esto representa un método más autónomo por la función de asignación de tareas por los paneles remotos y es útil en sistemas con AGV's que son capaces de funciones de carga/descarga automáticamente.

En ambos métodos descritos se involucra una intervención humana con el sistema del AGV en la estación carga/descarga. Pero también es posible automatizar dicha función.

En almacenes o grandes plantas que involucran altos niveles de automatización, los servicios con AGV deben ser altamente autónomos y realizar sus operaciones eficientemente para entrar completamente al sistema producción - almacén - manejo. Un centro de computo como unidad de control es utilizada para realizar el despacho automático de vehículos de acuerdo a un procedimiento planeado. La realización de asignación de tareas o despacho de los vehículos mediante éste método implica que el centro de computo debe procesar la información en tiempo - real porque la localización de cada vehículo en un punto específico dentro del sistema permita hacer la decisión apropiada en el tiempo adecuado. Otra característica de éste tipo de sistema es que los vehículos están continuamente comunicados con el centro de control. El centro de control planea las rutas de cada vehículo y controla la operación de guía, localización de zonas y otras funciones, dicho sistema es el nivel más alto para controlar. Los AGV's deben responder a los comandos de una computadora central en cualquier momento y a donde éstos vayan. Muchos sistemas de manejo de materiales incorporan un control por medio de una computadora central en los AGV's. Para lo cual se debe contar con un sistema de interfase con almacenamiento automático. Este nivel de control permite automáticamente seguir en todo momento las cargas/descargas. Un sistema de manejo por computadora es muy eficiente donde el volumen es alto y ocurre una transferencia automática de la carga.

Otra herramienta útil en la transportación con AGV's, es desarrollo de reportes de cada corrida de operación del AGV. Este reporte periódico proporciona información al sistema como tiempo de entrega, tiempo de carga, número de paradas, etc., hechos durante una corrida, y más detalles acerca de cada estación y cada vehículo del sistema. Este tipo de reportes son muy útiles para comparar operaciones de una corrida a otra.

1.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGV'S COMERCIALES

Hemos hablado de una manera general sobre el concepto de AGV y el funcionamiento de sus sistemas; sin embargo, consideramos que para ubicar al AGV en su real dimensión, en cuanto a sistemas y elementos que lo constituyen, se hace indispensable mencionar las características principales de los AGV's comerciales que emplean en las industrias. Para esto, a continuación señalaremos las especificaciones técnicas más importantes, que dos empresas importantes a nivel mundial ofrecen.

• EMPRESA:

HARRY MAZAL S.A. DE C.V.

TEL : (525) 396-1133

FAX : (525) 396-8649

Esta empresa construye AGV's en función de los requerimientos, así como de los diferentes sistemas y equipos con los que va a interactuar el AGV. De manera general podemos decir que las especificaciones más importantes son las siguientes :

- SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PISTA - STANDARD (MA 9090)

- ◆ Equipado con cinta metálica y sensores inductivos.
- ◆ Sensores de navegación y control de tareas.
- ◆ Chequeo energético y recuperación automática del vehículo.

- MECANISMO DIRECTOR - STANDARD (MA 9090)

- ◆ Ruedas traseras que son conductoras y están separadas por motores de D.C. (diferencial eléctrico).

- CONTROL

- ◆ El vehículo es controlado por una computadora a bordo, la cual recibe instrucciones de una computadora fija (anfitrión) para realizar las diferentes tareas.

- DISPOSICIONES DEL SISTEMA

- ◆ Programable por software.

- SISTEMAS DE PROTECCIÓN

- ◆ En caso de que el sistema contra impactos detecte un obstáculo y éste no sea retirado, el robot regresará a la base.

- CAPACIDAD DE CARGA

- ◆ 25 Kg

- VELOCIDAD

- ◆ 100 mm/seg a plena carga.

- PRECISIÓN

- ◆ Normalmente +/- 1.0 mm

- TIEMPO DE RECARGA DE BATERÍAS

- ◆ 60 min aproximadamente.

- TRANSFERENCIA DE MATERIALES

- ◆ Por plataforma móvil.

- AGV

- ◆ 700 x 50 x 265 mm
- ◆ 20 Kg (Aproximadamente)

- ESTACIÓN TERRESTRE

- ◆ 490 x 470 x 170 mm
- ◆ 5 Kg (Aproximadamente)

Un ejemplo de vehículos fabricados por esta empresa es el modelo DENFORD AUTOMATED GUIDED VEHICLE, el cual presentamos a continuación.

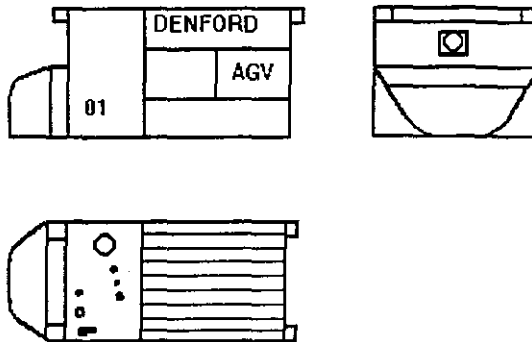


Fig 1.6.1

CHASIS : Soldado y montado a base de secciones rectangulares de acero.

RUEDAS : Suspensión de tres ruedas; en la parte frontal con una sola rueda y en la parte posterior con dos ruedas idénticas.

CONDUCCIÓN : Rueda frontal conductora, que es guiada por un servo motor. El sensor de pista está *directamente acoplado a la cabeza conductora.*

GUIADO : Sistema óptico seguidor de cinta reflectiva con aditamentos para sensado de curvas.

ALIMENTACIÓN : 24 Volts D.C. . Mantenimiento libre contra chorreo de ácido de baterías.

RECARGA : Por cambio total de baterías ó recarga automática.

CONTROL : PLC serie FX de Mitsubishi.

ESTACIONES : Seleccionables.

VELOCIDAD : *Seleccionable.*

LUCES : Intermitentes.

• **EMPRESA :**

NOELL GMBH

Company address:

Alfred - Nobel - Strabe 20

D - 97080 Wurzburg

Germany

Phone : 09 31/9 03-1100

Fax : 09 31/9 03-1006

A continuación citamos algunas características que poseen la mayoría de los AGV's que construye esta empresa.

- MECANISMO DE RECORRIDO

- ◆ Adaptado a las condiciones de construcción, carga y disposición de los equipos.
- ◆ Ruedas conductoras con eje central.
- ◆ Varios diseños, desde un sistema de tres ruedas hasta simples multiejos con varios programas de conducción.

- SISTEMA DE FRENADO

- ◆ Reducción de la velocidad vía control de cuatro cuadrantes.
- ◆ Paradas de estación y de emergencia vía frenado eléctrico o hidráulico.
- ◆ Ligado a una o todas las ruedas, dependiendo del peso del vehículo.

- SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

- ◆ Utiliza baterías con cambio manual o automático o carga de baterías en el vehículo.
- ◆ Uso de baterías NiCd con recargador intermedio automático vía sistemas de contacto estandarizados..
- ◆ Monitoreo de carga/descarga de baterías vía computadora a bordo.

- CONCEPTOS DE PROTECCIÓN

- ◆ Botón de paradas de emergencia.
- ◆ Parachoques en la parte frontal y trasera.
- ◆ Rieles para impacto lateral.
- ◆ Dispositivos de precaución acústicos (solicitud por radio).
- ◆ Dispositivos de precaución ópticos (lámparas y luces intermitentes)

- NAVEGACIÓN

- ◆ Módulo de sensor para guía inductiva.
- ◆ Sensor magnético de barra para determinación absoluta de localización odométrica para ruta vía medición del ángulo de las ruedas.
- ◆ Giróscopo para determinar la localización relativa.
- ◆ Scanner láser para reconocer el área circundante de la ruta.

- COMPUTADORA A BORDO

- ◆ Control del vehículo estandarizado con sistemas de bus VME o red transputer para el procesamiento rápido de las señales de entrada proveniente de todos los sistemas.
- ◆ Control de enlaces en el manejo de cargas y de las necesidades de transferencia por medio de un PLC.

- OPERACIÓN

- ◆ Terminal con teclado y display de texto en blanco para checar estado y destino de entrada.
- ◆ Llaves/switches para todas las funciones básicas importantes (On/Off/modos de operación).
- ◆ Instructivo de control del dispositivo para operarlo en forma manual.

- COMUNICACIÓN

- ◆ Utilización de infrarojo ó radio como medio de transferencia.
- ◆ Únicamente en ciertas áreas ó áreas completas según se requieran.

Un ejemplo de AGV's construidos por la empresa Noell GMBH es el modelo TRACTOR TYPE EVZ 02-50, el cual se muestra junto con algunas especificaciones técnicas.

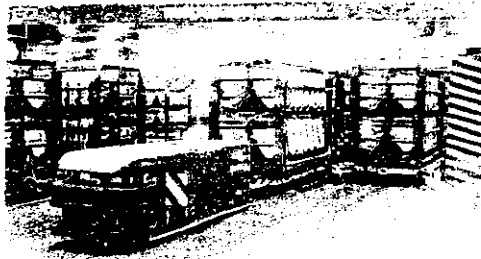


Fig. 1.6.2

Carga de trabajo : 5,000 Kg.

Velocidad máxima : 2.5 m/s.

Longitud de recorrido : 10,000 m.

Opera al aire libre.

El tractor guiado automáticamente se emplea en el área de manufactura de motores para vehículos.

2

PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL AGV

2.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con los objetivos de este trabajo, se diseñará un prototipo de AGV, el cual tendrá las funciones básicas de los vehículos comerciales, tales como la capacidad de seguir un ruta existente sin mayor dificultad, el realizar virajes con un radio de giro corto, que sea capaz de identificar celdas de trabajo, que realice un monitoreo energético y además que posea un frenado eficaz y con una precisión aceptable.

No obstante, para alcanzar dichos objetivos, debemos tener la certeza de que cada subsistema que lleve el AGV estará debidamente justificado. Por esta razón la propuesta del AGV se desglosará de acuerdo al siguiente planteamiento:

- 1) Primero se discutirá cuáles son los subsistemas principales que constituirán al AGV.
- 2) Una vez que se tengan planteados los subsistemas, abordaremos las distintas alternativas que en un momento dado puedan ser viables para el diseño y la posible construcción de dichos subsistemas.
- 3) De acuerdo a las alternativas para los subsistemas, haremos una síntesis de las que sean las más factibles.

2.2.- COMPONENTES BÁSICOS DEL AGV

Tomando en cuenta las características del prototipo de AGV; éste contará con los siguientes sistemas :

- Sistema de sustentación mecánica.
- Sistema de actuación y sensado.
- Sistemas electrónicos.
- Sistema de control.

SISTEMA DE SUSTENTACIÓN MECÁNICA

El sistema de sustentación mecánica proporcionará al vehículo la estabilidad mecánica necesaria para que no se vuelque en un momento dado, al tratar de seguir la pista en una curva demasiado pronunciada.

Es importante hacer notar que el sistema de sustentación mecánica debe contemplar la configuración geométrica de las ruedas, el sistema de dirección, así como las dimensiones de la base sobre la que se vayan a instalar los diferentes componentes mecánicos y electrónicos.

SISTEMAS DE ACTUACIÓN Y SENSADO

El sistema de actuación suministrará la propulsión mecánica para que el vehículo se desplace a la velocidad crucero deseada. También dotará el par necesario para que la dirección pueda girar un determinado ángulo, de acuerdo a la circunstancia que se presente; es decir, si el vehículo tiene que virar hacia la derecha, izquierda ó mantener el ángulo constante.

Por otra parte, el sistema de actuación debe considerar el tipo de dispositivos mecánicos con los que va a interactuar, o sea, si la potencia mecánica de los actuadores será amplificada o reducida por elementos mecánicos tales como bandas, cadenas o engranajes.

El sistema de sensado se encargará de tomar las señales del medio ambiente sobre el cual está interactuando el vehículo.

Por medio del sistema de sensado, el AGV tendrá una forma de saber si está realizando adecuadamente su tarea, y en un momento dado, dependiendo de las condiciones prevalecientes, se podrán tomar decisiones para corregir una posible anomalía.

SISTEMAS ELECTRÓNICOS

En forma general, los sistemas electrónicos tendrán las siguientes funciones:

1. Acondicionar las señales provenientes del mundo exterior, para que sean procesadas por el sistema de control del AGV.
2. Enlazar los diferentes subsistemas del vehículo con el sistema de control central.
3. Acondicionar las señales provenientes del sistema de control y de energía para los diferentes subsistemas.

SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control llevará a cabo el procesamiento de todas las señales procedentes de los diferentes subsistemas, supervisará de manera permanente el comportamiento de todos los sistemas del AGV, y será el encargado de tomar decisiones para que el vehículo en conjunto realice su tarea en forma correcta.

2.3.- SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUSTENTACIÓN MECÁNICA

A continuación se muestran tanto el análisis como el conjunto de consideraciones que intervinieron en la selección de la mejor opción (en cuanto a la configuración de dirección y número de ruedas) para el AGV y al final de los análisis se da una tabla en la que se resumen los puntos considerados en la selección, y el peso de cada uno de ellos.

Criterios de selección

En general se consideraron los siguientes puntos en la selección del vehículo:

- Estabilidad mecánica.
- Calidad del frenado.
- Seguimiento de pista.

Análisis de estabilidad mecánica:

Para calificar la estabilidad mecánica de las distintas configuraciones de vehículos se contemplaron el peso y las dimensiones del vehículo.

En primer lugar, se consideró que la estabilidad mecánica no era más que la oposición que presenta el vehículo a volcarse en una curva, pues es en la curva en donde se presenta el caso crítico de la estabilidad del vehículo. También hay que aclarar que algunas de las configuraciones poseían ruedas locas, y no se tiene un análisis definido del comportamiento de una rueda loca; así que en general se puede decir que el hecho de que existan en la configuración ruedas locas va en detrimento de la estabilidad mecánica del vehículo.

Otro punto que se consideró en la estabilidad mecánica es el número de ruedas que tiene la configuración a analizar, pues es bastante claro que un vehículo de cuatro ruedas es más estable en una curva que un vehículo de tres ruedas.

Análisis del frenado:

Es necesario mencionar que el sistema de frenado del AGV es por motor eléctrico descartando cualquier posibilidad de freno mecánico; a excepción del par contrario propio de las reducciones mecánicas de velocidad.

Para analizar la certeza con la cual el vehículo puede frenar se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

- El número de motores que intervienen en el frenado del AGV.
- El número de ruedas que intervienen en el frenado.

Análisis del seguimiento de pista:

Es claro que en este punto interviene directamente el tipo de dirección que tiene el vehículo.

En este análisis se consideraron los siguientes puntos:

- Radio de giro mínimo que puede seguir la configuración.
- Comportamiento de la dirección en base a su modelo matemático.

Análisis de configuración de sistemas de sustentación mecánica

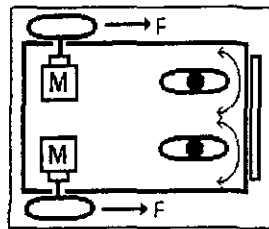
Configuración 1:

En este caso se presenta un vehículo de cuatro ruedas; sin embargo, debemos resaltar que los análisis cinemáticos corresponden a configuraciones de tres ruedas.

Como se puede observar en el dibujo, este sistema cuenta con tracción independiente en cada una de las ruedas traseras, y como se puede controlar la velocidad de cada motor de manera independiente, se considera entonces, que puede haber una diferencia de velocidad en las ruedas tractoras en un momento dado. Es por esto que a este sistema de tracción se le llama "diferencial".

Las ruedas frontales son ruedas locas (pueden moverse en cualquier dirección); es por esto que su comportamiento esta definido por las ruedas tractoras.

En esta configuración no existe dirección mecánica. Así que la dirección está definida por la diferencia de velocidad de las ruedas traseras.



configuración 1

Análisis cinemático:

En primer lugar debemos comentar que el análisis cinemático hecho aquí para todas las configuraciones, es para sustentar la calidad en el seguimiento de pista de la configuración.

Se debe aclarar que en el análisis aparece una configuración de tres ruedas, porque el comportamiento de las dos ruedas locas se aproximan al comportamiento de una sola rueda loca al frente.

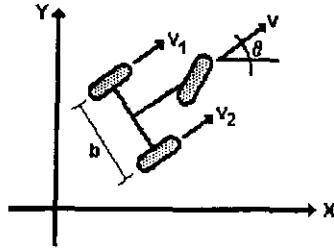


Diagrama cinemático configuración 1

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del vehículo del diagrama son las siguientes:

$$X' = 1/2(\cos\theta)(v_1 + v_2)$$

$$Y' = 1/2(\sin\theta)(v_1 + v_2)$$

$$\theta' = (1/b)(v_1 - v_2)$$

donde:

θ .- Es el ángulo que forma la dirección del vehículo con el eje x

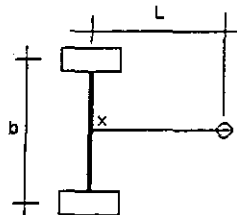
v_1 .- Es la velocidad de la rueda izquierda

v_2 .- Es la velocidad de la rueda derecha

b .- Es la separación entre las ruedas traseras

En general podemos comentar que θ' es la derivada de θ , y representa la velocidad con que cambia el ángulo del vehículo con respecto al eje x. En pocas palabras, representa la velocidad angular del AGV. Podemos ver que la rapidez con que gira depende únicamente de la diferencia de velocidad de las ruedas traseras, y de la distancia "b". Se ve con facilidad que si la diferencia de velocidad es muy grande, entonces el vehículo gira mas rápido. Y si la distancia "b" es mayor, el vehículo gira mas lentamente.

Análisis del radio de giro:



Geometría configuración 1

Aquí se considera que la ó las ruedas frontales locas siguen la trayectoria que marca el diferencial eléctrico, sin intervenir en esta, si no solamente para soportar parte del peso del vehículo (comportamiento ideal de una rueda loca). Si lo anterior se cumple, no es relevante la distancia "L" del vehículo para el calculo del radio de giro.

Dicho lo anterior, se tienen dos casos:

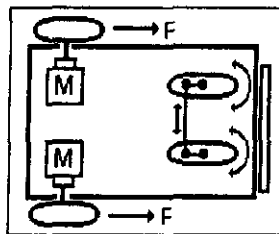
a) Cuando las ruedas tractoras del diferencial eléctrico pueden girar en ambos sentidos. En este caso el radio de giro sería ilimitado, ya que cuando una rueda gira a cierta velocidad en un sentido y la otra gira a la misma velocidad en sentido contrario, el vehículo es capaz de girar sobre su propio eje (punto x).

b) Cuando Las ruedas tractoras solo giran en una dirección. Aquí el radio de giro mínimo está dado por la distancia "b", puesto que el caso extremo se da cuando una de las ruedas está detenida completamente, mientras que la otra gira a cierta velocidad.

Configuración 2:

Configuración de cuatro ruedas.

En este caso se puede ver que en las ruedas traseras existe la misma configuración que en el caso 1 (tracción con diferencial eléctrico) pero ahora las ruedas frontales no son locas, si no controladas por una dirección mecánica que hace dependientes las ruedas entre sí.



configuración 2

Análisis cinemático :

Al igual que en el análisis anterior se trata de representar el comportamiento de las dos ruedas delanteras, por el mismo efecto que causa una sola rueda (con dirección controlada) al frente del vehículo.

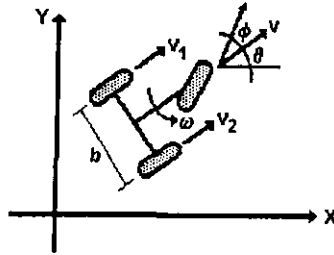


Diagrama cinemático configuración 2

Las ecuaciones que rigen el comportamiento de esta configuración de vehículo (con dirección controlada al frente) son:

$$X' = 1/2(\cos(\theta + \phi))(v_1 + v_2)$$

$$Y' = 1/2(\sen(\theta + \phi))(v_1 + v_2)$$

$$\theta' = (1/b)(v_1 - v_2)$$

$$\phi' = \omega$$

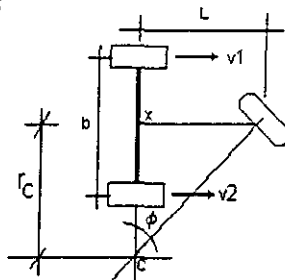
donde:

ϕ .- Es el ángulo que forma la rueda frontal con respecto a la trayectoria del vehículo.

ω .- Es la velocidad angular de la rueda frontal.

En este caso se debe comentar que θ' se comporta de igual manera para esta configuración y para la anterior, pero se puede ver que la diferencia radica en las velocidades lineales X' y Y' , pues es en ellas donde interviene el ángulo que gira la rueda frontal (ϕ). Por ejemplo, Y' representa la velocidad con que el vehículo se acerca al eje Y, y en su ecuación se puede ver que $\theta + \phi > \theta$, por lo tanto Y' para este caso es mayor que para el caso1, donde Y' solo depende de θ .

Análisis del radio de giro :



Geometría configuración 2

A diferencia del caso anterior, aquí la ó las ruedas frontales si intervienen en el radio de giro que da el vehículo. El radio de giro depende directamente de la diferencia de velocidad de las ruedas tractoras (diferencial eléctrico), y del ángulo que tenga en cada momento la ó las ruedas de la dirección.

El radio de giro r_c esta dado por la siguiente ecuación:

Como podemos ver en la ecuación el radio de giro depende directamente de las velocidades de las ruedas y del ángulo con que gira la dirección, considerando que tanto V_c como L son constantes.

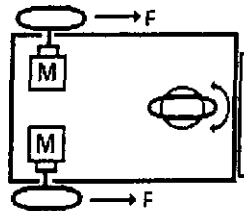
$$r_c = \tan\phi \frac{V_1 + V_2}{2V_c L}$$

Configuración 3:

Configuración de tres ruedas (Triciclo)

Aquí, al igual que en los casos anteriores, existe la misma configuración de tracción con diferencial en las ruedas traseras.

La diferencia en este caso es que es un triciclo, además de que la rueda frontal tiene una dirección mecánica que se puede controlar. Por tanto en este caso la dirección esta en el frente del vehículo.



configuración 3

Análisis cinemático :

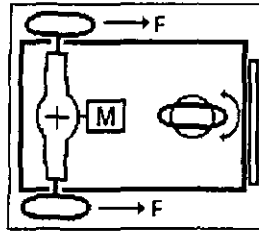
Este caso cae directamente en el análisis del caso 2.

Radio de giro :

Es exactamente el mismo análisis del caso anterior, solo que ahora se considera una sola rueda frontal conductora.

Configuración 4:

Ahora se ilustra un vehículo de tres ruedas, con un diferencial mecánico en las ruedas traseras, y un solo motor para la tracción. Al igual que en el caso anterior, la rueda frontal está controlada por una dirección mecánica. Esta es la configuración básica de una motocicleta de tres ruedas.



configuración 4

Análisis cinemático :

Este caso cae directamente en el mismo análisis de los casos 2 y 3.

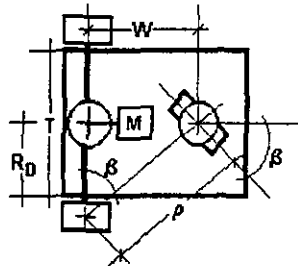
Análisis del radio de giro :

Diagrama cinemático 4

Aquí el radio de curvatura se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\rho = W / \text{sen}\beta ; (-\pi/2) < \beta < (\pi/2)$$

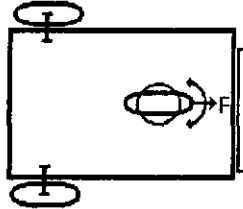
W .- Distancia entre el diferencial y la rueda directora.

β .- ángulo que se forma entre el eje trasero, la rueda directora, y centro de rotación.

Como se desea obtener el ρ mínimo; entonces consideramos que el centro de rotación del vehículo se encuentra en una de las ruedas traseras.

Configuración 5:

También aquí se presenta una configuración de tres ruedas, con la gran diferencia de que aquí no hay tracción en las ruedas traseras, sino en la rueda frontal, al igual que la dirección. Las ruedas traseras son independientes y giran libremente.



configuración 5

Análisis cinemático :

En este caso el diagrama del vehículo queda de la siguiente forma:

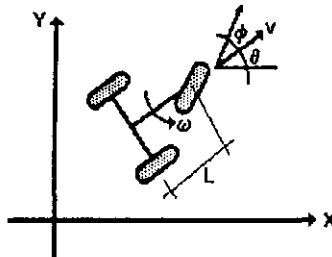


Diagrama cinemático 5

Aquí las ecuaciones quedan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} X' &= v \cos \theta \cos \phi \\ Y' &= v \sin \theta \sin \phi \\ \theta' &= (v / L) \sin \phi \\ \phi' &= \omega \end{aligned}$$

donde:

v.- velocidad lineal del vehículo.

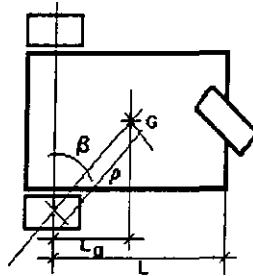
L.- distancia entre las ruedas traseras y la rueda frontal.

Se puede observar como cambia por completo el comportamiento del vehículo, ahora ya no existe diferencia de velocidades en las ruedas y en todas las ecuaciones aparece la velocidad lineal v .

En este caso la velocidad angular del AGV depende únicamente del ángulo con que gira la rueda frontal (ϕ), y de la distancia L (geometría del vehículo).

También se puede ver que la velocidad con que gira el AGV es menor en este caso que en los casos anteriores, pues en Y' se ve que tanto el $\sin \theta$ como $\sin \phi$ son menores o iguales a uno, y al multiplicarse resultan ser mucho menores.

Análisis del radio de giro :



Geometría configuración 5

Basados en el estudio que los doctores Chicuriel hicieron de esta configuración en particular, se muestra la expresión que a ellos les resultara en su análisis:

$$\rho = (L - L_G) / \sin \beta$$

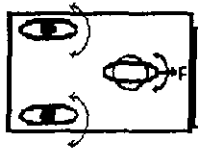
G = Centro de gravedad del vehículo.

ρ = Radio de curvatura mínimo (con el centro de rotación en una de las ruedas)

β = Ángulo que se forma entre el eje trasero, el centro de rotación, y el centro de gravedad

Configuración 6:

Otro vehículo de tres ruedas se presenta en el dibujo de abajo, al igual que en el caso anterior, tanto la dirección como la tracción corresponden a la rueda delantera, pero en este caso las ruedas de atrás son ruedas locas, que giran y se mueven libremente, y tratan de seguir a la rueda directora.



configuración 6

Análisis cinemático:

Este caso cae directamente en el análisis del caso anterior, por lo tanto se comporta de la misma manera.

Radio de giro:

Este caso se puede incluir en el análisis del caso anterior (caso 5), pues tiene en principio el mismo sistema de tracción - dirección.

SELECCIÓN

Después de haber analizado una por una, todas las posibilidades que se plantearon para seleccionar la mejor opción del sistema de sustentación mecánica y sistema de dirección para el AGV, se pueden hacer los siguientes comentarios acerca de las configuraciones:

1.- Basándose en el análisis cinemático hecho para cada una de las configuraciones, se puede decir que los casos 2, 3 y 4 siguen mejor la pista (según sus ecuaciones cinemática y su radio de curvatura), que el resto de las configuraciones.

2.- Tomando en cuenta que la configuración que frena mejor es aquella en la que intervienen mas motores en el frenado, y mayor numero de llantas en él, se puede decir, por tanto, que los casos 1,2 y 3 tienen una mejor calidad en el frenado; y las configuraciones 4 y 5 son menos efectivas para el frenado del vehículo.

3.- En cuanto a la estabilidad mecánica, se puede decir sin lugar a duda, que las configuraciones con cuatro ruedas son mucho más estables que las de tres ruedas; por tanto los casos 1 y 2 son los más estables.

4.- Debido a que no se conoce con certeza el comportamiento de la llamada "rueda loca" en su movimiento real, se considera que las configuraciones que tienen ruedas locas no siguen con la misma calidad la pista, que los casos en que no hay ruedas locas.

Por todo lo anterior se puede justificar el porqué se eligió el **caso numero 2** (diferencial eléctrico trasero, y dirección en las dos ruedas frontales), como la mejor opción para el sistema de sustentación mecánica y dirección que tendría nuestro AGV.

2.4 SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACTUACIÓN Y SENSADO

A continuación se expondrán las opciones, criterios y la selección que se hizo de cada uno de los sensores, actuadores y los sistemas que conforman en el AGV.

Debemos tomar en cuenta que existen múltiples opciones en robótica para llevar a cabo tareas como la detección o el sensado. En esta sección analizaremos algunas de esas formas de llevar a cabo éstas tareas, que son el pilar del funcionamiento de nuestro sistema de guía automática.

De igual manera ocurre con los sistemas de actuación, pues ellos son los encargados de manejar cada uno de los movimientos propios del robot móvil, y por tanto son de singular importancia en su selección.

2.4.1 Selección de actuadores

Para la selección de actuadores; primero se mencionarán algunas alternativas que existen de los posibles sistemas de actuación; y de acuerdo a esta exposición, concluiremos con los sistemas de actuación que satisfagan en mayor grado, los requerimientos del vehículo.

MOTORES

Servomotores de D.C.

Los servomotores de dc constan de un estator, rotor, conmutador, escobillas, cojinetes, carcaza y un sistema de realimentación. En el estator existe un campo magnético constante con dos, cuatro, seis ó mas polos. El estator puede usar cualquier magneto permanente ó bobinas que produzcan éste campo. El rotor del motor está constituido de laminaciones de hierro, en el cual, se colocan una ó mas bobinas. Las bobinas del rotor se energizan por medio del conmutador y las escobillas.

Los servomotores de dc poseen un buen par, velocidad y potencia continua de salida. Esto facilita relativamente su uso en aplicaciones de servocontrol, ya que se puede invertir la corriente del rotor para invertir el par del motor, ó bien, se puede hacer que el par del motor se acerque a cero con una velocidad cercana a cero. Por otro lado, éstos motores presentan la desventaja de tener una gran inercia del rotor, que a su vez limita a la aceleración. Sin embargo, en muchas

aplicaciones, la inercia de la carga es mucho más grande que la del rotor. En este caso, la inercia de la carga domina y la inercia del rotor tiene un efecto muy pequeño en el comportamiento de la aceleración.

Por otra parte, para una corriente de estator constante, el par del un servomotor de dc es proporcional a la corriente del rotor. Sin carga en el motor, la velocidad (R.P.M.) es proporcional al voltaje del rotor. Estas relaciones son usadas para cálculos aproximados durante el diseño inicial de los sistemas de servocontrol.

Servomotores de dc con rotor no ferroso

El rotor no ferroso en un motor de dc es similar al servomotor de dc, pero a diferencia del anterior, en éste no se usa el hierro como material principal. Para éste tipo de motor, las bobinas del rotor no se alojan en ranuras, sino que se soportan a sí mismas, es decir, primero se construye el embobinado del rotor y una vez armada la estructura (embobinado en conjunto con el rotor), se impregna el ensamble con una matriz epóxica. Después de ésta exposición, se retira la estructura y se cura posteriormente. Para fabricar el rotor, se utilizan materiales no ferrosos como el aluminio y técnicas de circuitos impresos.

El funcionamiento del rotor no ferroso de un servomotor de dc es muy similar al de un simple servomotor de dc; excepto en dos aspectos:

- La inercia del rotor no ferroso es mucho menor porque el rotor no está construido en hierro. Si la inercia de la carga no es demasiado grande, el motor con rotor no ferroso lleva a cabo una mejor aceleración.
- La capacidad de potencia continua de salida de un motor con rotor no ferroso, es inferior que la de un servomotor normal de dc. esto es debido a la falta de comunicación térmica entre las bobinas del rotor y el hierro, el cuál actúa como una ruta para remover el calor. El calor acumulado en las bobinas del rotor, limita la capacidad de potencia continua a la salida. No obstante, la potencia pico y el par pico no se limitan por el calor. Así que el motor con rotor no ferroso tiene un mejor funcionamiento en éstas áreas.

Motores de dc no escobillados

El nombre de motor de dc no escobillado puede ser engañoso; como el nombre lo sugiere. En realidad, un motor y un control electrónico de motor son parte del sistema del motor de dc no escobillado. Una parte del motor, normalmente se construye con un rotor de magneto permanente y un estator. El conmutador y las escobillas no se utilizan, sin embargo se emplea un encoder, el

cual es parte integral del motor. El encoder puede ser óptico ó magnético. La señal de salida del encoder es usada por el control electrónico del motor para switchear la corriente del estator, conservando la secuencia que causa la rotación del rotor.

Es de esperarse, que los motores de dc no escobillados tengan la ventaja de un diseño sin escobillas, lo cual se traduce en un reducido mantenimiento. La inercia del rotor es grande porque la masa del magneto permanente es considerable si la comparamos con la de un rotor no ferroso; sin embargo, con el continuo mejoramiento en materiales magnético - permanentes, se pueden obtener mejores resultados en la inercia del rotor.

Motores a pasos

Los motores a pasos son únicos porque el movimiento del rotor es preciso y se determina por las señales de entrada del motor. Las señales de entrada del motor a pasos consisten de una serie de pulsos aplicados en la entrada del mismo, los cuales hacen que el rotor presente un avance por cada secuencia aplicada de pulsos. Los tamaños del paso son comúnmente desde una fracción de grado hasta 15° . Así, de una relación fija entre señales de entrada y del movimiento del rotor; los motores a pasos no requieren un encoder y un sistema de servocontrol para llevar a cabo el posicionamiento preciso y requerido, para una aplicación de robótica. La eliminación de encoders y servoelectrónica, resulta un significativo ahorro en el costo.

Desafortunadamente, los motores a pasos tiene desventajas que se tienen que considerar en ciertas aplicaciones. Estas desventajas son:

- Para un par dado en la salida, el paso del motor a pasos es grande en relación con otros tipos de motores usados para robots.
- La inercia del rotor es tan grande, que se compara con los motores normales.
- Si la carga en el motor excede los límites del diseño, entonces debido a las fricciones, componentes de la transmisión, etc.; el motor no puede realizar el paso con exactitud y como consecuencia existe un error entre la secuencia de pasos y el movimiento del rotor. Desafortunadamente el error no se puede corregir a menos que se reinicie el sistema de control del motor.
- La máxima velocidad de los pasos es normalmente muy alta (una velocidad máxima de cerca de 3000 pasos por segundo). Con esta velocidad de pasos por segundo, en un motor de 2000 pasos por revolución, corresponde una velocidad máxima de 90 rev/min.

Estos motores no pueden acelerarse instantáneamente a su máxima velocidad. El sistema de control del motor se debe diseñar de tal manera que un movimiento del rotor corresponda a una secuencia de pulsos en la entrada del motor.

Motores de alto par

Recientemente la compañía *Motornetics Corporation*, ha desarrollado un motor llamado Megapar. Este motor es un tipo de motor a pasos de tres fases, el cual ha sido desarrollado específicamente para aplicaciones en robótica donde se requiera un alto par a baja velocidad. Un motor parecido, también lo tiene en existencia la compañía *Yokagawa Electric Corporation*. La ventaja del motor es su habilidad para generar movimientos precisos con muy bajas velocidades. Cuando es usado como motor de corriente directa, los problemas asociados con la transmisión de tren de engranes, se eliminan. La primera ventaja del motor es sus peso. El alto par del motor es una buena alternativa para un actuador que está montado en la base de un robot, especialmente si el eje de la articulación es vertical.

SELECCIÓN

Como hemos visto, existen interesantes opciones para los sistemas de actuación; sin embargo, para elegir el actuador adecuado nos apoyaremos en los siguientes criterios:

- Aplicación del actuador.
- Costo del actuador.
- Facilidad de implementación.
- Fiabilidad en su funcionamiento.

Actuador del sistema de dirección delantera

Para el actuador del sistema de dirección delantera se decidió utilizar un motor a pasos, ya que nos ofrece un control bastante aceptable de la posición del rotor, lo cual se traduce en un control óptimo de la dirección. También, otra ventaja que encontramos es que ofrece una facilidad en su implementación, debido a que necesita pocos elementos externos para que funcione, además de operar en lazo abierto (no requiere circuitos de realimentación), y también en un momento dado si se requiere un control extremadamente exacto de la posición, el motor puede operar en lazo cerrado.

Actuador del sistema de tracción trasera

Para éste sistema se eligió utilizar un servomotor de dc como actuador, debido principalmente a su bajo costo, y sobre todo, que se puede controlar el par mediante la corriente de armadura. Ésta característica permitirá dotar el par necesario al vehículo cuando se ponga en marcha, y frenar, cuando la corriente de armadura se acerque a cero. La ventaja de utilizar un servomotor de dc es el costo de la implementación del sistema de control, ya que es extremadamente barato si lo comparamos con el costo de motores de alto par ó motores sin escobillas.

Tipos de Frenos

Por último, como complemento a esta sección, no podíamos dejar pendiente el tema de frenos, ya que éstos se pueden usar con una gran ventaja cuando se tienen problemas de estabilidad en las articulaciones de un actuador en un sistema de servocontrol. Por ejemplo, algunos servosistemas presentan leves inestabilidades conforme los actuadores se acercan a una velocidad cero. Este problema se puede resolver diseñando el sistema de control, de tal forma que el freno se aplique y como consecuencia la velocidad de la articulación disminuya.

A continuación, mencionaremos brevemente algunos tipos de frenos, así como su funcionamiento.

Freno de fricción electromagnética

Este freno consiste de dos ó mas caras de fricción que son atraídas magnéticamente hacia otras., cuando una bobina se energiza. Una de las caras de fricción gira junto con la flecha del actuador. El par de frenado de éste tipo de clutch es proporcional al coeficiente de fricción μ y del tiempo en que las bobinas conducen corriente. Por facilidad la μ se puede considerar constante, de tal forma que el par del freno sea proporcional a la corriente de la bobina.

Los frenos de fricción electromagnética están disponibles con sólo disco móvil de fricción y con múltiples discos fijos. El tipo de un sólo disco es más común. Los clutches de discos múltiples poseen una gran capacidad de par para un diámetro dado de clutch.

Los clutches de fricción electromagnética actúan con una señal eléctrica, lo cual es más conveniente para aplicaciones en robótica, que los frenos neumáticos ó hidráulicos. La señales de control de los robots son eléctricas, y pueden también, manejar directamente al freno electromagnético, sin requerir bombas, tuberías y válvulas solenoides que sirvan de interfaz con el freno.

Una segunda ventaja del freno de fricción electromagnética es su rápida respuesta. Usando una técnica conocida como campo forzado, los tiempos de respuesta de 1 ó 2 ms se pueden obtener con pequeños frenos de fricción electromagnética.

Los frenos de fricción electromagnética no producen chispas bajo operación normal. Sin embargo, si las caras de fricción están bastante gastadas por el contacto metal con metal, entonces puede ocurrir un chisporroteo. Por esta razón, éstos frenos no se pueden utilizar en ambientes explosivos si no se tienen las precauciones correspondientes.

Frenos de fricción neumático

El freno de fricción neumático es similar al freno de fricción electromagnética descrito anteriormente; sin embargo la diferencia es que actúa por medio de aire comprimido en vez de un campo magnético. Los actuadores pueden ser pistones ó tubos para altas presiones. Los frenos neumáticos logran obtener un gran par, el cual se puede comparar en tamaño con el obtenido por los frenos de fricción electromagnética, en contraste, el par de éstos frenos es menor si lo comparamos con el obtenido por un freno hidráulico.

Una ventaja de éstos frenos, es que sus actuadores no generan calor en el momento de realizar el frenado; como sucede en el frenado electromagnético.

Freno de fricción hidráulico

El freno hidráulico posee un alto par comparado con frenos neumáticos del mismo tamaño. su construcción es parecida a los frenos neumáticos, sin embargo las altas presiones utilizadas en los sistemas hidráulicos (1000 a 5000 lb/in² de los sistemas neumáticos) permiten obtener altas fuerzas que son normales a las caras de fricción y por lo tanto, ofrecen un par alto.

Las bombas, válvulas y las tuberías requeridas en los sistemas hidráulicos, están más expuestos al mantenimiento intensivo que los utilizados en sistemas neumáticos. Este factor es un fuerte impedimento para usar frenos hidráulicos a menos que el robot requiera potencia hidráulica para realizar otras funciones en sus actuadores.

Freno de partícula magnética

El freno de partícula magnética consiste de una cámara hueca con un disco ajustado en el interior. El espacio disponible dentro de la cámara está ocupado con partículas magnéticas, las que son polveadas con hierro ó ferrita. Una bobina se monta en la cámara de tal forma que, cuando se energiza, se crea un fuerte

campo magnético entre el disco y las paredes interiores de la cámara. Las partículas magnéticas forman puentes densos entre el disco y la cámara, bajo la influencia de éstos campos, de tal modo que se impide la rotación del disco.

La primera ventaja del freno de partícula magnética (además del empleo de la actuación eléctrica directa) es que las caras de fricción no se gastan. Esto es, por lo tanto, un dispositivo libre de mantenimiento.

Freno de histéresis

El freno de histéresis es un disco ó copa de un material magnético elegido para obtener pérdidas grandes de histéresis. Un electromagneto y un arreglo de piezas polares, generan una serie de campos magnéticos alternantes al rededor de la periferia del disco o copa. Si el disco rota, entonces debido a la constitución de su material, se coloca al rededor del lazo de histéresis pasando directamente por los campos alternantes fijados por las piezas polares. Las pérdidas de energía asociadas con la histéresis en el material del disco, resultan en un par de frenado ejercido en el disco. El freno de histéresis, el cual se parece al de partícula magnética, tiene la ventaja de una actuación eléctrica y una operación libre de mantenimiento por períodos indefinidos.

Freno de corriente de eddy

El freno de corriente de eddy está construido en forma parecida al freno de histéresis, pero el elemento móvil se construye de un material de alta conductividad, que generalmente son materiales no magnéticos como el cobre. Cuando el miembro móvil rota, las corrientes de eddy aparecen en éste. Las pérdidas de energía asociadas con éstas corrientes de eddy resultan en un par de freno, el cual se ejerce en un elemento móvil.

Los frenos de corriente de eddy actúan eléctricamente y no requieren mantenimiento periódico. Es así que, el freno de corriente de eddy es de uso limitado para robots, porque no se puede mantener en articulaciones detenidas.

2.4.2 Sistemas de sensado (detección)

El empleo de mecanismos de detección externos permite a un robot interaccionar con su ambiente de una manera flexible. Un robot que puede "ver" y "sentir" es mas fácil de entrenar en la ejecución de tareas complejas, que un robot que solo se programa en actividades repetitivas y sin ninguna flexibilidad, pero los sistemas mas complejos son, por lógica, mas caros.

Para nuestro caso tenemos múltiples necesidades de sistemas de detección; como son:

- Detección de una trayectoria previamente establecida
- Detección de carga en las baterías
- Detección de estaciones
- Detección d trayectoria (Sistemas de guía para el AGV).

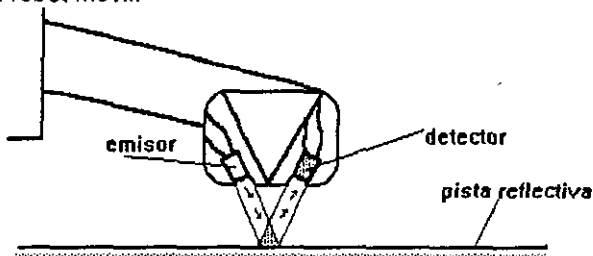
Para llevar a cabo la detección de la trayectoria que debe seguir el AGV, existen varias posibilidades:

- Detección óptica.
- Detección por efecto Hall.
- Detección inductiva.
- Detección por triangulación.

Detección óptica

Este sistema de sensado consiste en tener dos dispositivos ópticos distintos, un emisor de algún espectro de luz (luz visible, ultravioleta o infrarroja), y un detector óptico de ese espectro de luz. Para realizar la detección de la trayectoria, esta debe ser pintada o marcada con algún material que refleje el espectro de luz utilizado, de manera que al ser colocado el emisor sobre la trayectoria, esta refleje la luz hacia el detector óptico utilizado.

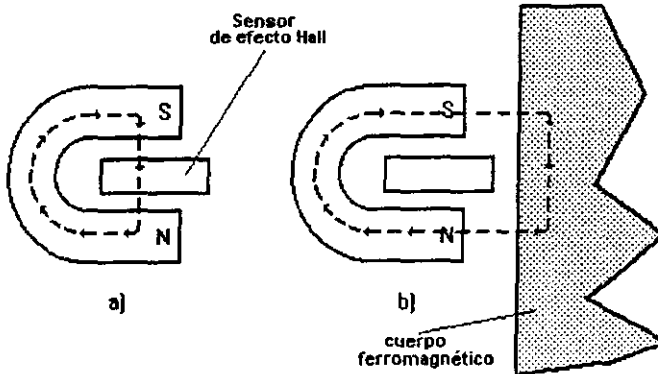
De esta forma se lograra que el detector perciba luz solo cuando el emisor se encuentre sobre la pista. De esta manera se puede detectar la trayectoria que debe seguir el robot móvil.



Para que se pueda llevar a cabo la detección de la trayectoria es necesario que la superficie fuera de la trayectoria no refleje el espectro de luz utilizado, de otra manera ocurrirán interferencias o errores en el sistema.

Detección por efecto Hall

El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través del material. Cuando se utilizan por sí solos, los sensores de efecto Hall pueden detectar objetos magnetizados. Sin embargo, cuando se emplean con un imán permanente (como se muestra en la figura a), son capaces de detectar todos los materiales ferromagnéticos.



Cuando se utilizan de esta manera, los dispositivos de efecto Hall detectan un campo magnético intenso en la ausencia de un metal ferromagnético en el campo cercano. Si dicho material se lleva a la proximidad del dispositivo, el campo magnético se debilita en el sensor debido a la curvatura de las líneas del campo a través del material tal como se muestra en la figura b).

Para el caso en que se quiera seguir una trayectoria utilizando sensores de efecto Hall, se deberá marcar la trayectoria con un material ferromagnético. Se deben montar los sensores sobre el vehículo, de manera que estos detecten la presencia de la pista.

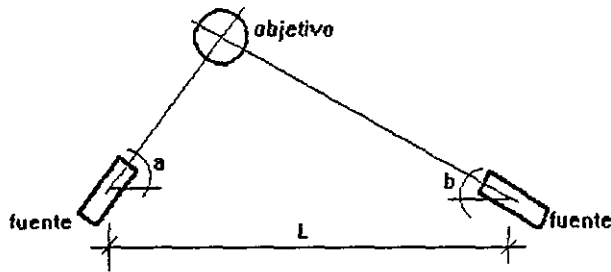
Detección por guía inductiva

El método más utilizado para guiar un AGV a través de una trayectoria dada, es la llamada "guía inductiva". Consiste en instalar un alambre subterráneo a la superficie donde el AGV circulará. El AGV lleva en su parte baja sensores inductivos, los cuales van sensando el alambre metálico.

La gran ventaja de este sistema de guía, es que se puede establecer comunicación con el AGV vía el cable subterráneo, utilizando diferentes frecuencias para transmitir a distintos AGV's mensajes diferentes.

Detección por triangulación

Existen otros tipos de sistemas para guiar un AGV, 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 se muestra en la figura.



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 reto - reflector, en el blanco - objeto.

SELECCIÓN

Para el sistema de detección de trayectoria se optó por el uso de sensores ópticos, por ser efectivos en su funcionamiento, además de ser fáciles de usar e implementar. Existe la ventaja de que estos son fáciles de conseguir en el mercado, pues su uso comercial es muy extenso. En cuanto a sus desventajas, se puede mencionar que son sensibles a las condiciones de luz ambiental del lugar donde operan, esto es, que su funcionamiento se ve alterado por fuentes luminosas ajenas al sistema. Pero se ha pensado solucionar este problema seleccionando adecuadamente el emisor y el receptor, además de aumentar la potencia de la señal transmitida y usando filtros de luz visible.

2.5 SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DEL AGV

Esta selección se dividirá en tres partes. Es decir, la primera parte se refiere al sistema de control del vehículo, entendiéndose esto como el sistema que se encarga de procesar las señales provenientes del mundo exterior, dando como respuesta una ó varias señales de salida; así como el de supervisar que los diferentes subsistemas operen de una manera correcta. La segunda parte se refiere al sistema de control para un motor a pasos. Y finalmente, la tercera parte se refiere al control de un motor de dc.

2.5.1 Selección del sistema de control del AGV

El pilotaje de un robot se hace siempre con el control de un ordenador. A menudo se recurre a los microprocesadores, de modo que nos vemos obligados a precisar algunos conceptos.

Funcionamiento de un microprocesador

Un microprocesador es un componente electrónico que permite hacer operaciones elementales con datos. Tomado individualmente, un microprocesador no puede hacer nada. Es necesaria añadirle circuitos anexos, circuitos de memoria y de entrada - salida. El conjunto constituye un microordenador. A menudo, el término microprocesador engloba el microprocesador propiamente dicho y los circuitos que se le asocian.

Los datos con los que trabaja un microprocesador son palabras binarias, formadas por cierto número de bits. Residen normalmente en memoria, pero cuando deben de hacerse operaciones con ellos, son almacenados temporalmente en registros que son memorias internas del microprocesador (el acumulador y eventualmente su extensión, son registros particulares en el sentido de que ciertas instrucciones hacen de él un uso privilegiado). Por otro lado, a veces es necesario transmitir estos datos a un circuito periférico, tal como un circuito de entrada - salida. Esta transferencia entre unidad central y periféricos (y viceversa), se hace a través de un bus de datos bidireccional que es un conjunto de conductores (1 por bit, en general), en el que se presenta en el instante preciso el dato estabilizado y al que se pueden conectar circuitos anexos.

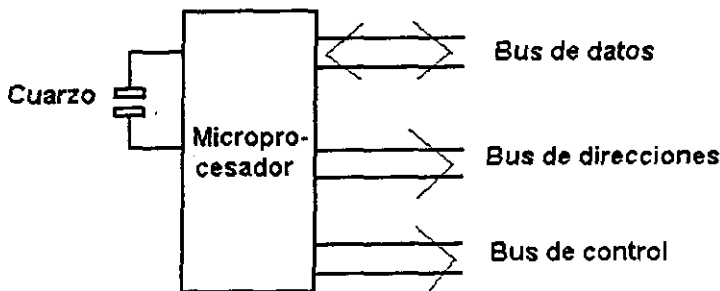


fig. 2.5.1.1

Estos circuitos son reconocidos por la unidad central por su dirección. Cada uno de ellos está conectado en el bus de direcciones que es común al conjunto. La magnitud de este, bus define el campo de direccionamiento del microprocesador. Cuando la unidad central que está ejecutando una instrucción, deposita una dirección en el bus, Es necesario, para evitar conflictos de

direccionamiento, prever una decodificación de la dirección y una validación por circuito, de forma que sólo uno sea direccionado.

La figura 2.5.1.1 muestra además un bus de control. Este conjunto de señales es de número variable, según el constructor. En general las señales de control se utilizan para los siguientes propósitos:

- Puesta general a cero.
- Indicar que los datos en el bus son válidos.
- Permitir distinguir las operaciones lectura - escritura de un circuito periférico

SELECCIÓN

La solución de proyectos con base en sistemas con microprocesadores ofrece, frente las técnicas clásicas, ventajas muy destacables entre las que se encuentran:

1. Reducción del tiempo y el costo empleado en el desarrollo del proyecto.
2. Incremento de la confiabilidad.
3. Reducción considerable de los componentes que constituyen al hardware.
4. Gran flexibilidad en los cambios futuros de la aplicación, ya que el sistema central del AGV estará controlado por software.

Tomando en cuenta lo expuesto, las necesidades que debe cubrir el sistema de control y los conocimientos en el manejo de microcontroladores; nos inclinamos por elegir un sistema de control basado en el microcontrolador MCHC11F1FN de motorola.

2.5.2 Descripción general del HC11 en su versión F1FN

El microcontrolador MC68HC11F1FN es un semiconductor de metal óxido complementario de alta densidad (HCMOS), que contiene funciones periféricas muy sofisticadas, alta velocidad y baja potencia. Tiene un diseño completamente estático que permite operarlo a bajas frecuencias.

De manera general, las características del microcontrolador MC68HC11 de motorola en su versión F1 son las siguientes:

- Sistema de Timer expandido de 16 bits con preescalador programable de cuatro estados.
- Interfase de Comunicación Serial (SCI)
- Convertidor Analógico-Digital de 8 canales
- Bloque de protección para EEPROM y Config.

- Bus expandido no multiplexado
- Direccionamiento de memoria de 64K
- Interface Serial Periférica(SPI)
- bytes de EEPROM
- bytes de RAM estática
- Chip Select programables
- Sistema de Watchdog
- Circuito Acumulador de Pulsos de 8 bits
- Circuito de interrupción de Tiempo Real

Modos de operación

Aunque el HC11 opera en modo expandido, cuenta con dos pines, MODA y MODB para seleccionar uno de los modos normales de operación o uno de los dos modos especiales de operación.

El HC11F1 puede funcionar en los siguientes modos de operación:

MODA	MODB	Modo de operación
0	1	Normal Single-Chip
1	1	Normal Expandido
0	0	Especial Bootstrap
1	0	Especial Prueba

fig 2.5.2.1

Modo Single-Chip

Aquí toda la computadora digital está dentro de MCU y no tiene Direccionamiento externo o bus de datos. Los 512 bytes de EEPROM contendrán todo el código del programa. Este modo provee máximo uso de los pines para funciones periféricas, y todos los direccionamientos y actividad de los datos ocurren dentro del MCU.

Modo expandido no multiplexado

Aquí el MCU puede direccionar hasta 64Kl bytes de espacio de memoria. Los bits de dirección de mayor orden son los pines de salida del puerto B, y los bits de dirección de menor orden son los pines de salida del puerto F. El bus bidireccional de datos aparece en el puerto C. El pin de lectura/escritura (R/W) es usado para controlar la dirección de datos en el bus del puerto C. La programación del chip select esta disponible en los bits de mayor orden del puerto G.

Modo Bootstrap

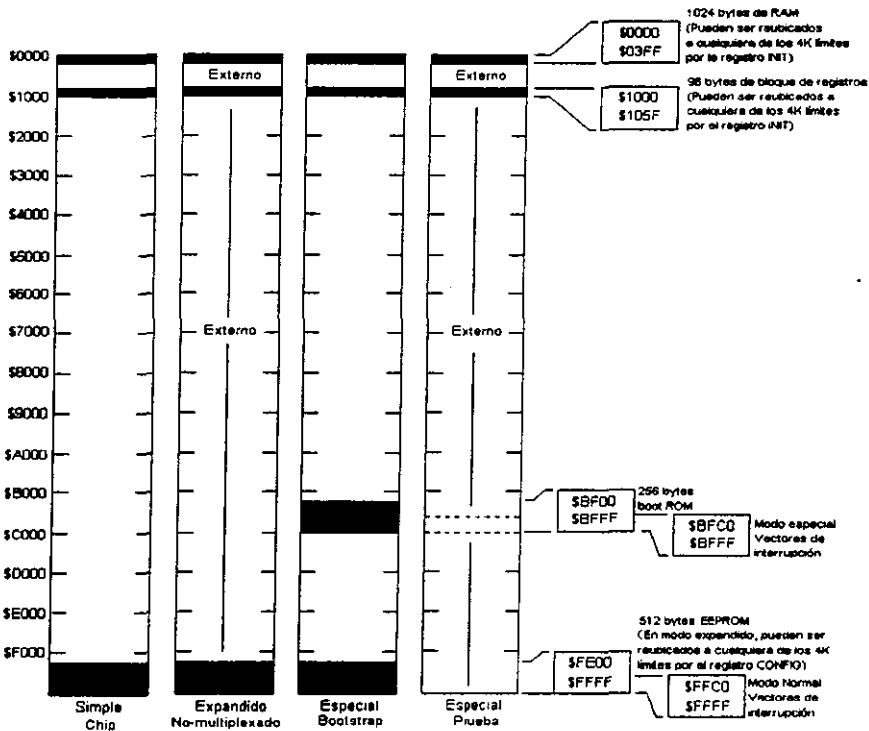
Este modo es muy parecido al Single Chip. Cuando el MCU esta en modo Bootstrap , una pequeña ROM dentro del chip es habilitado en la dirección \$BF40-\$BFFF. El vector de reset salta a esta ROM bootstrap, y el MCU procede a ejecutar el programa contenido en esta ROM (firmware). Este programa inicializa el sistema SCI(Interface de Comunicación Serial) del chip, verifica la opción de seguridad, carga un programa en la RAM interna de 1K byte a través del SCI, y entonces salta al programa cargado por el usuario en la dirección \$0000 de la RAM y el programa cargado toma el control.

Modo Prueba

Este modo especial es principalmente usado para pruebas de producción. Pero además puede ser usado para programas de calibración o personalizar datos dentro de la EEPROM interna. Los 512 bytes de EEPROM están inicialmente apagados en este modo. El usuario puede acceder un número de bits especiales de control de prueba.

Memoria

La figura 2.5.2.2 muestra el mapa de memoria para los cuatro modos de operación. En modo expandido no hay memoria ROM interna y el bus es no multiplexado. La memoria consiste principalmente de 64K de capacidad de direccionamiento externo disponible para el usuario. Dentro del chip se encuentra con 1K de RAM estática, 512 bytes de EEPROM y 96 bytes de registros de control y status, todos ellos pueden ser remapeados a cualquiera de los 4K límites en memoria. Además 256 bytes de ROM bootloader que están presentes sólo en modo especial bootstrap.



Puertos de entrada y salida

El MC68HC11F1 está equipado con seis puertos de 8 bits (A, B, C, D, E, F, y G) y un puerto de 6 bits (puerto D). Las funciones de entrada y salida (I/O) de los puertos B, C, F y G son controladas por el modo particular de operación seleccionado. En los modos Single Chip y Bootstrap, estos son configurados como puertos paralelos de I/O de datos. En modo expandido no multiplexado y modo prueba, los puertos B, C, F, G, y el pin R/W son configurados como un bus de expansión de memoria.

Los puertos A, D, y G pueden ser usados como puertos de I/O de propósito general, aunque cada uno tiene una función alternativa. El puerto E puede ser usado para entradas estáticas de propósito general y/o canales de entrada del convertidor A / D. Los bits del puerto A controlan las funciones del timer.

El puerto A es un puerto bidireccional de 8 bits que puede ser configurado para funciones de entrada de captura del timer (IC), funciones de salida de comparación del timer (OC), y funciones de acumulador de pulsos.

El puerto B, en modo single chip, es un puerto de solo salidas. En modo expandido no multiplexado, todos los pines del puerto B actúan como los bits de mayor orden del bus de direcciones. (A15-A8), y los accesos al puerto B son tratados como accesos externos.

El puerto C es un puerto I/O de 8 bits que en modo expandido se usa como bus de datos y los accesos al puerto C son tratados como accesos externos. Puede configurarse para operar como OR alambrada en modo single chip, encendiendo el bit CWOM del registro OPT2.

El puerto D es un puerto I/O de 6 bits y puede ser usado para los subsistemas SCI o SPI.

El puerto E es de 8 bits de sólo entradas y también puede ser usado como un convertidor A/D de ocho canales en todos los modos de operación.

El puerto F es de 8 bits de sólo salidas; cuando opera en modo single-chip. En modo expandido no multiplexado, todos los pines del puerto F actúan como las direcciones de menor orden (A0 - A7) del bus de direcciones, y los accesos al puerto F son tratados como accesos externos.

El puerto G es de I/O de 8 bits de propósito general. Los cuatro bits de mayor orden son opcionalmente usados como salidas de chip-select en modo expandido. Cuando cualquiera de éstas líneas no están siendo usadas para un chip select, esta puede ser usada como I/O de propósito general.

2.5.3 Selección del sistema de control para un motor a pasos

Una buena regulación del movimiento de un motor PAP (paso a paso) exige un sistema de control apropiado, estando íntimamente relacionados estos dos elementos.

En líneas generales, el sistema de control recibe las consignas de velocidad y sentido de giro y genera la secuencia de impulsos eléctricos adecuada para su aplicación a las bobinas del motor. Aunque los motores PAP están concebidos para funcionar con sistemas de lazo abierto, también es posible su control en sistemas con lazo cerrado.

Sistemas de control en lazo abierto para un motor a pasos (MAP) basados en microprocesador

El esquema por bloques de un sistema de control con microprocesador, funcionado en lazo abierto se muestra en la figura 2.5.3.1.

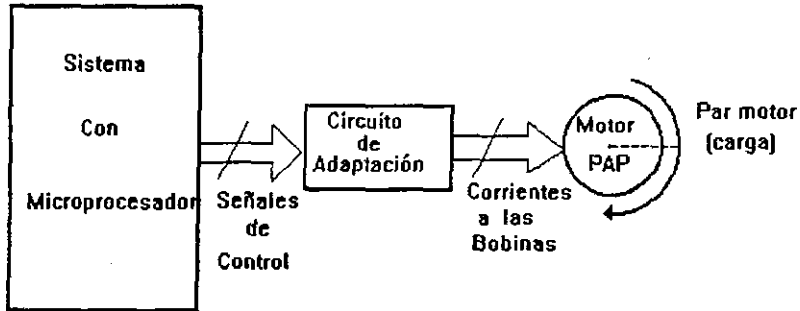


Fig 2.5.3.1

Las señales de control generadas por el sistema, han de tener en cuenta las restricciones que impone el motor, la carga y el circuito de adaptación.

En los sistemas en lazo abierto no existe realimentación en la posición real del eje del motor, por lo que resulta imperativo que responda con precisión a los cambios de excitación que se aplican a sus bobinas.

Si dichos cambios son muy rápidos y el movimiento del eje no puede seguirlos, se originan errores de posicionamiento. También debe de tenerse en consideración las variaciones de la carga conectada al motor.

Aunque los fabricantes de circuitos integrados ofrecen modelos específicos para el control de los MAP, el uso de un sistema basado en un microprocesador, implica las siguientes ventajas:

- a) Programa de control fácilmente variable, al estar basado en software.
- b) Posibilidad de controlar otras funciones auxiliares.
- c) Posibilidad de poder dedicar parte de la memoria a guarda datos y programas de utilidad.

El sistema de control dotado con microprocesador puede encargarse de la generación de la secuencia de estados, así como de las señales de tiempo y de carácter auxiliar. También puede entregar la información digital sobre la posición y los comandos de arranque y parada, dejando la elaboración de las señales de control de fase a un controlador posterior. Fig.2.5.3.2

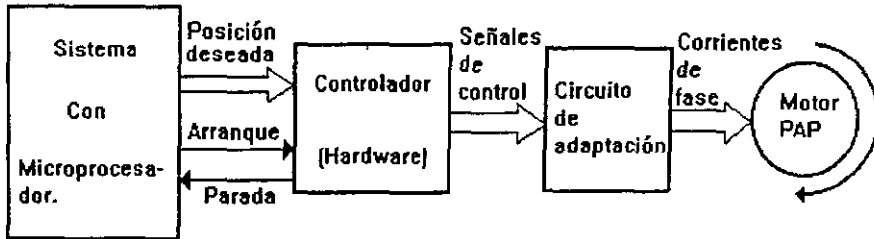


Fig.2.5.3.2

Si el sistema de microprocesador se encarga de todo el control, pueden usarse configuraciones complejas que optimicen el funcionamiento del motor. Así por ejemplo, se podría definir con exactitud la duración de cada paso y ajustar con precisión la velocidad a una curva memorizada.

Quando el sistema con un microprocesador opera conjuntamente con control auxiliar, los programas son menos ambiciosos. Para motores PAP que alcanzan los 2000 pasos/segundo y el paso tiene una duración de 50 microsegundos, un control exclusivo por software queda limitado a unas 25.50 instrucciones (el tiempo de ejecución puede ser de 1 ó 2 microsegundos para cada instrucción), por cada paso del motor, restringiendo el gobierno del sistema a las funciones más sencillas (duración del paso, número de pasos y secuencia de los pasos).

Las posibilidades que ofrece un sistema basado en microprocesador, combinando hardware y software, son muy amplias y pueden concretarse en las tres que se citan a continuación.

- Si se desea trabajar a velocidad constante, se puede realizar todo el control por software, con las siguientes características:
 - a) La velocidad de los pasos se mantiene fija.
 - b) Se asegura la generación de la secuencia de fases, que se aplican a las bobinas del motor.
 - c) Se registra el conteo de pasos hasta alcanzar un número deseado, en cuyo momento se ordena parar.

Al soportar el software éstas tres funciones, se simplifica notablemente la interfaz con el motor, pudiendo llegar a ser directa la adaptación.

- El software se encarga del conteo de los pulsos de la secuencia, de las señales de arranque/parada del reloj y de las de direccionamiento. La velocidad ó duración de los pasos, se fija mediante un reloj exterior, controlado por el microprocesador.

El reloj informa a la CPU sobre el número de impulsos que se aplican a los embobinados. Esta información también se envía al secuenciador que genera las señales de control en la secuencia que determina el comando de dirección y que llega desde el microprocesador. Véase figura 2.5.3.3

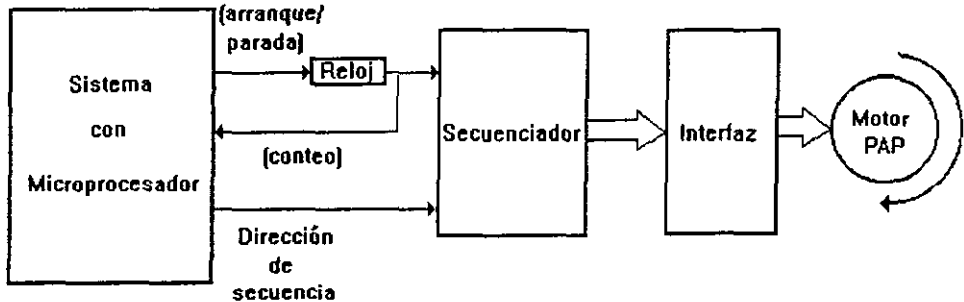


Fig. 2.5.3.3

Con este sistema se simplifica notablemente el software y se emplea un hardware muy sencillo y económico.

- Las funciones básicas del control se realizan por hardware. El software sólo gobierna el funcionamiento general, pero no está ocupado con cada paso del motor, pudiéndose dedicar a otras tareas.

El hardware es más potente, aunque no más complejo, gracias a la utilización de los modernos circuitos integrados fabricados para este fin. En la figura 2.6.2.4 se muestra dicho sistema.

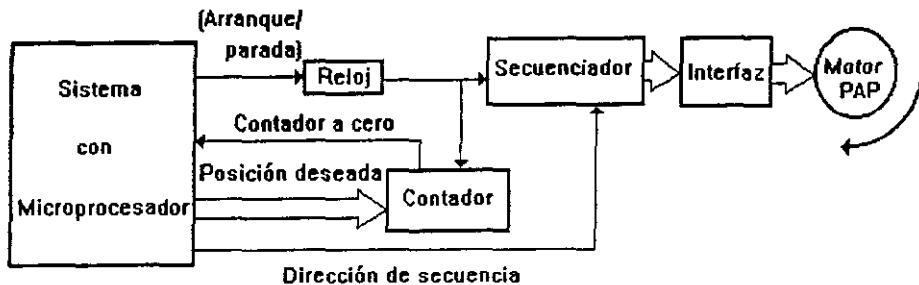


Fig. 2.5.3.4

En el sistema con microprocesador de la figura anterior, ejecuta una rutina de inicialización, que comprende las siguientes funciones:

1. Carga en un contador descendente la posición deseada.
2. Arrancar el reloj de frecuencia constante.
3. Generar la señal de "dirección de secuencia" al secuenciador.

El reloj se encarga de controlar la velocidad de la secuencia y, por lo tanto, la de los pasos del motor. Cuando la posición del motor se hace igual a la deseada, el contador queda a cero, con lo que advierte al microprocesador para que proceda a detener el reloj.

Sistemas de control en lazo cerrado para un MAP, basados en microprocesador

Cuando se trabaja en lazo cerrado, la posición instantánea del eje del motor es detectada y enviada, para su procesamiento, a la unidad de control. Cada orden de ejecución de pasos, sólo se lleva a cabo cuando el eje del motor se ha situado correctamente con la orden precedente, eliminando los posibles errores por deslizamiento, fricción, inercia, etc..

En la figura 2.5.3.5 se ofrece un diagrama por bloques de una configuración de un sistema de control, en lazo cerrado, para un motor PAP.

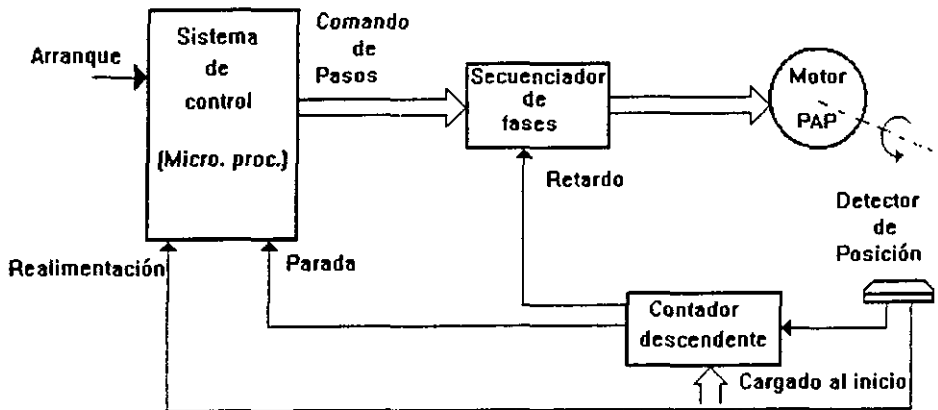


Fig. 2.5.3.5

El conjunto de la figura comienza con su actuación cargando en el contador descendente, la posición que se desea alcanzar y generando la señal de arranque en el sistema de control. La puesta en marcha del secuenciador origina el movimiento del motor. Al completar un paso del eje del motor, el detector de posición envía un impulso al contador descendente, que decremента su contenido y otro al sistema de control, que sirve para la generación de la siguiente orden de paso al secuenciador. Cuando es grande la carga, se precisa más tiempo para completar un paso y el tiempo entre dos órdenes sucesivas se ajustan automáticamente. El motor alcanza una velocidad máxima de trabajo, que es función del valor de la carga y de la relación par/velocidad del motor.

El contador descendente produce una señal de "retardo", que se usa para variar la secuencia de fases y desacelerar el motor hasta la velocidad deseada, momento en el que se envía una señal al sistema de control para su información.

La utilización de un sistema con microprocesador en el control de un motor PAP, en lazo cerrado, puede intervenir en cualquiera de las cinco funciones principales:

- 1.- Registrar el número de pasos
- 2.- Excitación de las fases del motor, con la secuencia apropiada, según la dirección de giro.
- 3.- Generación de un impulso, al completarse cada paso.
- 4.- Variación del ángulo de puesta en marcha, según la velocidad del motor.
- 5.- Regular la desaceleración al detectar la proximidad de la posición deseada.

Las dos primeras funciones pueden ser implementadas por hardware ó software, como se expuso en los sistemas de lazo abierto.

Para detectar la posición del eje, se usan detectores ópticos ó de formas de onda, pero dedicar al microprocesador a esta labor, reduciría la velocidad máxima de trabajo del motor. Por ejemplo, si un motor PAP tiene una velocidad de 1000 pasos/segundo, el intervalo entre pasos es de 100 microsegundos y en este tiempo, el número de instrucciones que puede procesar un microprocesador corriente, no es muy elevado y, quizás, insuficiente para realizar un análisis exacto de los datos disponibles.

El microprocesador se puede emplear para controlar los ángulos de encendido, continuamente variables. De esta forma, el motor desarrolla sus pares de salida a todas las velocidades, optimizándose su funcionamiento. Para llevar a cabo ésta tarea, el sistema de control procesa la información existente sobre la velocidad instantánea del eje del motor, con lo que calcula el ángulo de encendido correspondiente.

Cuando se desea minimizar el tiempo empleado en mover la carga hasta la posición deseada, hay que usar curvas velocidad/proximidad, que provoquen una aceleración, con velocidades elevadas, en la fase inicial, mientras que en el acercamiento final, originen una desaceleración, que permita alcanzar la posición deseada con una velocidad nula. Un sistema con microprocesador, puede tener almacenados los puntos en los que se debe iniciar la desaceleración, considerando todos los factores que producen una trayectoria óptima.

SELECCIÓN

Como se habrá notado, sin duda existen excelentes posibilidades para la implementación del sistema de control para un motor a pasos; sin embargo consideramos que elegir un sistema de control en lazo abierto basado en sistema de microprocesador, es la opción adecuada. Esta elección se fundamenta en el hecho de que no se necesita saber la posición instantánea del rotor; sino más bien lo que importa es que el rotor gire una serie de ángulos variables, los cuales a su vez, serán función de ciertos parámetros; que más adelante veremos a detalle.

2.5.4 Selección del sistema de control para motores de dc

Para comprender los modos de control de los motores de c.d., conviene tener presente los dos sistemas de control que existen en general, a saber: en lazo abierto y lazo cerrado.

Sistema de control en lazo abierto

La salida no influye en la entrada, es decir, la salida no tiene efecto sobre la acción de control. En estos tipos de sistemas, la salida ni se mide ni se realimenta. En la figura 2.5.4.1 se puede observar un diagrama a bloques para un sistema de control en lazo abierto.

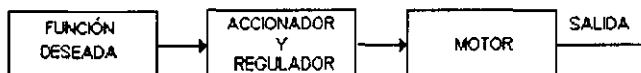


Fig 2.5.4.1

Los sistemas de control de lazo abierto deben calibrarse cuidadosamente. En presencia de perturbaciones, un sistema de control de lazo abierto no cumple la función asignada. En la práctica, sólo se puede usar el control en lazo abierto si la relación entre la entrada y la salida es conocida y si no hay perturbaciones externas ni internas.

Sistema de control en lazo cerrado

El eje de los motores de dc no gira ángulos discretos o pasos, sino que pueden ubicarse en cualquier situación, cubriendo todas las posiciones de su área de trabajo. Sin embargo, no pueden funcionar en lazo abierto, ya que no existe ninguna información fiable para establecer la situación alcanzada por el eje. El correcto funcionamiento de un motor de dc, exige la incorporación de un detector de posicionamiento del eje y una realimentación al sistema de control.

En este tipo de sistema, la salida tiene un efecto directo sobre la señal de control. La figura 2.5.4.2 muestra un diagrama a bloques para un sistema de control en lazo cerrado.

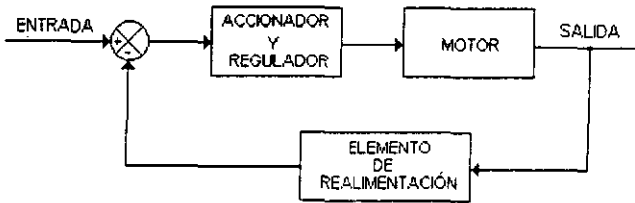


Fig. 2.5.4.2

La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la de realimentación, y que puede ser la señal de salida o una función de la misma y sus derivadas, entra al detector de forma tendente a reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado.

Hay una multitud de tipos de detectores de posición, como los resistivos (potenciómetros acoplados al eje), magnéticos, capacitivos, etc., pero los más prácticos y sencillos son los de tipo óptico. Los detectores ópticos constan de un detector y un receptor de luz, entre los que gira un disco acoplado al eje del motor. El disco tiene zonas opacas y transparentes (ranuras), que cortan o dejan atravesar al haz luminoso desde el emisor hasta el detector, provocando impulsos eléctricos. Un disco ranurado genera la suficiente información para determinar el ángulo girado y el sentido de giro. Cuantas más ranuras disponga, mayor será la precisión en la detección del movimiento.

SELECCIÓN.

Para el sistema de control del motor de D.C. elegimos implementar un control de lazo cerrado, el cual tendrá como elemento regulador, un controlador del tipo analógico y un tacogenerador que hará la función del detector de posición. Consideramos que este control no necesita demasiados componentes electrónicos, a diferencia de los que requiere el "resólver" para la codificación de un disco ranurado; además tiene la ventaja de que la rapidez en su respuesta no está limitada a la rapidez de los sensores ópticos.

3

DISEÑO DEL AGV

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSTENTACIÓN MECÁNICA

3.1.1 Cinemática del AGV

Para fines de análisis en el diseño del sistema de sustentación mecánica, se planteará un modelo de tres ruedas; ya que para este caso en particular es posible modelar el sistema de dirección por medio de una rueda que tenga un comportamiento mecánico equivalente a la de dos ruedas.

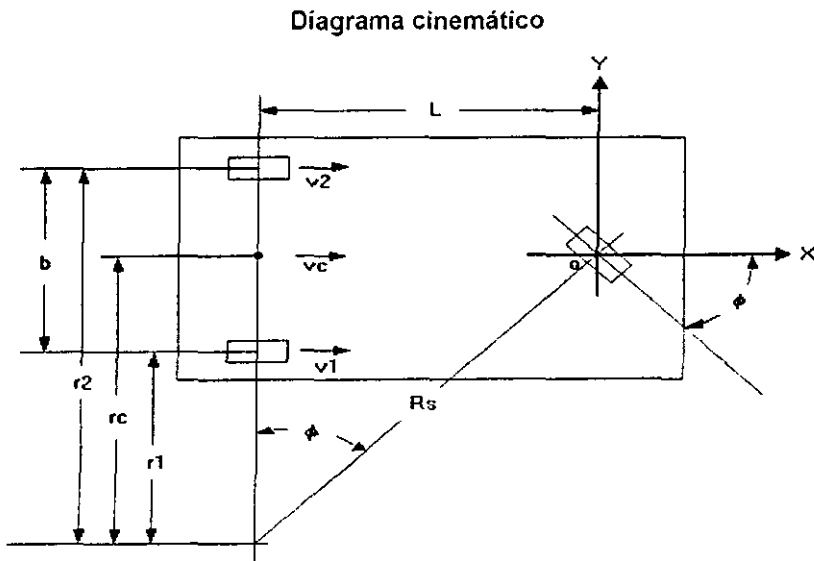


Fig 3.1.1.1

Del diagrama cinemático se observa que:

$$R_s = \frac{L}{\text{Sen}\phi} \quad \dots\dots(1)$$

$$R_s = \sqrt{rc^2 + L^2} \quad \dots\dots(2)$$

Igualando (1) y (2):

$$\sqrt{rc^2 + L^2} = \frac{L}{\text{Sen}\phi}$$

$$rc^2 + L^2 = \frac{L^2}{\text{Sen}^2\phi}$$

$$rc = \sqrt{\frac{L^2}{\text{Sen}^2\phi} - L^2}$$

$$rc = \sqrt{L^2 \left(\frac{1}{\text{Sen}^2\phi} - 1 \right)}$$

$$rc = L \sqrt{\frac{1 - \text{Sen}^2\phi}{\text{Sen}^2\phi}}$$

$$rc = L \sqrt{\frac{\text{Cos}^2\phi}{\text{Sen}^2\phi}}$$

$$rc = L \sqrt{\frac{1}{\text{tg}^2\phi}}$$

$$rc = \frac{L}{\text{tg}\phi} \quad \dots\dots(3)$$

El diagrama muestra que los radios r_c , r_1 y r_2 están relacionados de la siguiente manera:

$$r_1 = r_c - b/2 \quad \dots\dots(4)$$

$$r_2 = r_c + b/2 \quad \dots\dots(5)$$

Sustituyendo la ecuación (3) en las ecuaciones (4) y (5); obtenemos :

$$r_1 = \frac{L}{\operatorname{tg}\phi} - \frac{b}{2} \quad \dots\dots(6)$$

$$r_2 = \frac{L}{\operatorname{tg}\phi} + \frac{b}{2} \quad \dots\dots(7)$$

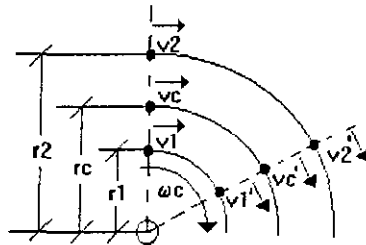


Fig 3.1.1.2

Por otra parte, considerando el diagrama cinemático 3.1.1.2. Podemos asumir que los puntos asociados a las velocidades instantáneas tienen la misma velocidad angular con respecto al centro de rotación; debido a que están alineados con respecto dicho eje. Y si también consideramos que las velocidades son tangentes a las trayectorias; entonces podemos escribir :

$$v_1 = \omega_c r_1 = \omega_c \left(\frac{L}{\operatorname{tg}\phi} - \frac{b}{2} \right) \quad \dots\dots(8)$$

$$v_2 = \omega_c r_2 = \omega_c \left(\frac{L}{\operatorname{tg}\phi} + \frac{b}{2} \right) \quad \dots\dots(9)$$

Las ecuaciones (8) y (9) nos muestran que las velocidades v_1 y v_2 dependen de cuatro parámetros (ϕ , b , L y ωc); sin embargo se busca expresar éstas velocidades en términos de la geometría del vehículo, el ángulo de la rueda de dirección respecto al eje de rotación, así como de la velocidad del punto "c". Para lograr esto planteamos la siguiente relación :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega c \left(\frac{L}{\operatorname{tg}\phi} - \frac{b}{2} \right)}{\omega c \left(\frac{L}{\operatorname{tg}\phi} + \frac{b}{2} \right)}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{2L - b \operatorname{tg}\phi}{2L + b \operatorname{tg}\phi} \quad \dots\dots(10)$$

La razón de obtener la expresión anterior es la facilidad con que se puede determinar la velocidad v_c en cualquier circunstancia (trayectoria recta o curva), y sobre todo, que el cálculo involucra únicamente a las velocidades v_1 y v_2 , según la siguiente ecuación:

$$v_{\text{tot}}(\text{AGV}) = v_c = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \dots\dots(11)$$

Resolviendo las ecuaciones (10) y (11) para v_1 y v_2 ; tenemos :

$$v_1 = v_c \left(1 - \frac{b \operatorname{tg}\phi}{2L} \right) \quad \dots\dots(12)$$

$$v_2 = v_c \left(1 + \frac{b \operatorname{tg}\phi}{2L} \right) \quad \dots\dots(13)$$

Como se habrá podido notar, las ecuaciones anteriores describen adecuadamente el concepto del diferencial de velocidades para un vehículo; porque si el ángulo ϕ sufre incrementos, entonces la dirección gira un determinado ángulo y como consecuencia la velocidad v_2 sufrirá un incremento de $(b \operatorname{tg}\phi / 2L)$, mientras que la velocidad v_1 sufrirá un decremento de $(b \operatorname{tg}\phi / 2L)$. En caso de que el vehículo realice un viraje contrario; entonces las velocidades

se comportarán de manera inversa, es decir, la velocidad v_2 disminuirá mientras que la velocidad v_1 aumenta.

Finalmente haremos un planteamiento de ecuaciones, desde luego, refiriéndonos en el diagrama cinemático de la fig 3.1.1.1, el cual nos permitirá conocer la velocidad angular del vehículo para cualquier circunstancia (trayectoria recta o curva) :

$$\omega_c = \frac{vc}{tg\phi} \quad \dots\dots(14)$$

$$r_c = \frac{L}{tg\phi} \quad \dots\dots(15)$$

Sustituyendo (15) en (14) :

$$\omega_c = \frac{vc \, tg\phi}{L} \quad \dots\dots(16)$$

En la ecuación (16) se observa que la velocidad angular existe si el ángulo ϕ se encuentra en el intervalo $0 < \phi < 90^\circ$, de no ser así ($\phi = 0$), entonces la velocidad angular es nula y por lo tanto el vehículo describe una trayectoria recta.

De acuerdo a las ecuaciones (12), (13) y (16), las dimensiones del sistema de sustentación mecánica estarán sujetas principalmente a la geometría de la distribución de las ruedas del vehículo. También se debe considerar las dimensiones de los elementos que constituyen la tracción y la dirección, tales como los reductores mecánicos de velocidad, el sistema mecánico de dirección y los motores eléctricos.

3.1.2 Dinámica del AGV

La finalidad de éste análisis es obtener la inercia equivalente del AGV; ya que es importante considerar sus efectos en todo el sistema; porque dependiendo del valor que tome, es como se podrán cuantificar algunos parámetros que son de gran utilidad en la etapa del diseño de los controladores, debido a que la inercia tiene una influencia directa en la respuesta en el tiempo del sistema.

Partiendo de las siguientes ecuaciones:

$$F_t - [F_{ft} + F_{fd}] - W_m \operatorname{sen} \beta - F_a - F_i = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$F_i = a * \left\{ \frac{W_m}{g} + \left[I_{rd} + I_n + \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \right] * \left(\frac{1}{r_d^2} \right) \right\} \dots\dots\dots(2)$$

Si tomamos en cuenta que el AGV tiene una velocidad relativamente pequeña, las cuatro ruedas son iguales, y que el sitio donde va a navegar es completamente horizontal; entonces podremos asumir lo siguiente :

Camino horizontal $\Rightarrow \beta = 0 \quad \dots\dots(3)$

Velocidad menor a 40 km / hr $\Rightarrow F_a = 0 \quad \dots\dots(4)$

Llantas iguales $\Rightarrow F_{fd} = F_{ft} = F_t \quad \dots\dots(5)$

$$F_t = W_m f \cos \beta \quad (0.010 < f < 0.017) \quad \dots\dots(6)$$

$$I_{rd} = I_n = I_r \quad \dots\dots(7)$$

Por otra parte, considerando las siguientes ecuaciones :

$$W_m = mg \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$F_i = \frac{P_t}{r_d} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$P_t = P \left(\frac{\eta}{i_t} \right) \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$P = J_o \alpha_m \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$a = \alpha_t r_d \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\alpha_t = \alpha_m i_t \quad \dots\dots\dots(13)$$

de (1), (2), ..., (13) y despreciando las inercias de la transmisión $\sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} = 0$ se puede concluir que :

$$J_o = \frac{i_t^2}{\eta} * [2mr_d^2] \quad \dots\dots\dots(14)$$

Con la expresión (14) es posible calcular la inercia de todo el vehículo, reflejada al rotor del motor; para esto, únicamente basta con saber la relación en la reducción mecánica, la masa total del vehículo y el radio de las ruedas.

3.2 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ACTUACIÓN Y SENSADO

En este capítulo describiremos la manera en que diseñamos los distintos sistemas de actuación y sensado de nuestro AGV. En primer lugar se expondrán las características que tienen los actuadores que forman parte de la tracción y dirección del vehículo.

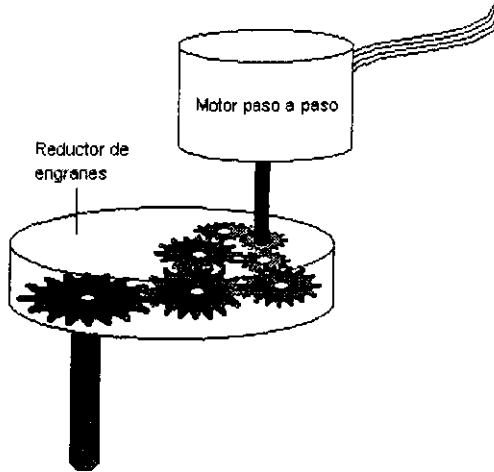
3.2.1 Sistemas de actuación

•Sistema de Dirección

Anteriormente anterior se analizaron las distintas opciones que teníamos para manejar la dirección de nuestro vehículo, como por ejemplo actuadores neumáticos, motores de DC y motores de pasos. También explicamos las ventajas que representaba para nosotros el uso de un motor de pasos para controlar el movimiento de la dirección.

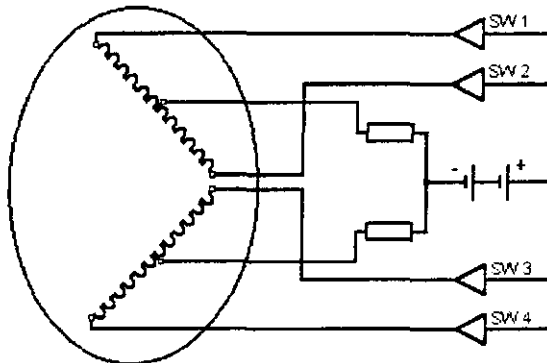
Aquí debemos recordar que, de acuerdo al capítulo anterior, el motor de pasos responde a una cierta excitación de sus terminales con un giro del rotor a un ángulo exacto; lo cual es beneficioso. Lo verdaderamente desventajoso del motor a pasos es que tiene un par en el rotor muy limitado. Para disminuir esta desventaja es muy común (en las impresoras por ejemplo) colocar un reductor mecánico en la salida del motor para aumentar el par de salida; pero desgraciadamente disminuye la velocidad del rotor.

Este es un problema que se debe enfrentar en todo diseño que involucre el uso de un motor de pasos, y nosotros no fuimos la excepción. En la sección 3.1 explicamos el diseño mecánico de la dirección y las razones por las cuales se diseñó de esa forma. La dirección se diseñó para ser muy exacta en cuanto al ángulo de giro de las ruedas, pero por las características propias de este resultado ser muy pesada para que el motor de pasos pudiera moverla por sí mismo, por esto decidimos añadir a la salida del motor de pasos un *"mecanismo reductor"* de engranes. En el mercado nacional se encuentran algunos motores de pasos que tienen integrados reductores, nosotros conseguimos un reductor metálico de relación 1:10. La alternativa para esto era el encontrar un motor de pasos muy especial, un motor de pasos de alto par, pero de una corriente no muy elevada, pues el vehículo se alimenta con baterías de carga limitada. Este tipo de motor es muy difícil de encontrar en el mercado nacional, pues los usan en diseño precisamente de robótica en Estados Unidos y Japón, además es muy caro.



Teniendo resuelto el problema del par del motor de pasos, continuamos describiendo las características que tiene nuestro motor de pasos.

El motor que encontramos en el mercado, y que se aproximaba mucho a las características que nosotros necesitábamos, fue un motor marca SANYO (de una impresora), de 1.8° por paso, 1.4 Amperes, y 3 Volts, de manera que la potencia del motor es idealmente de 4.2 Wats.



Motor PAP de "paso completo" y tabla de impulsos.

Paso	SW1	SW2	SW3	SW4
1	ON	OFF	ON	OFF
2	ON	OFF	OFF	ON
3	OFF	ON	OFF	ON
4	OFF	ON	ON	OFF
1	ON	OFF	ON	OFF

Basándose en las anteriores características en la sección 3.3 se diseñará el circuito que maneja el sistema de dirección

•Motores de Tracción

En la capítulo 2.4 explicamos cuales habian sido los motores que seleccionamos para el manejo de la tracción del vehículo, estos fueron motores de DC de alto par. Cuando se penso en implementar tanto un sistema de dirección como una plataforma con un cierto peso, fue obvio que necesitábamos un alto par para mover ese peso, tal vez los motores de CD de alto par y baja velocidad nos podían resolver ese problema, pero la gran desventaja de un motor de alto par es que consume una cantidad de corriente muy alta a causa de la potencia que desarrolla en el rotor, y se alimentaron esos motores con baterías de carga limitada.

Para resolver este problema proponemos utilizar motores de CD de alta velocidad y bajo par, pero con un consumo de corriente bajo. Ahora bien ¿cómo resolver el problema del peso del vehículo?, pues aun necesitábamos bastante par para mover los siguientes elementos:

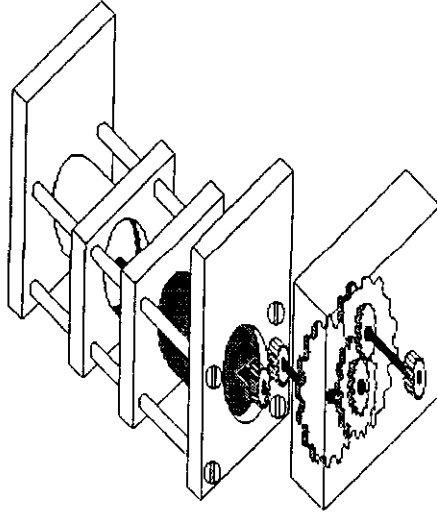
- Motores
- Dirección
- Circuitos
- Baterías
- Ruedas
- etc.

Se estimo el peso total del AGV en 13 Kg, y un motor convencional no podría proporcionar ese par a la salida. Para solucionar este problema se propuso acoplar un mecanismo reductor a la salida del motor para acoplarlo a la llanta. Pero al igual que en la dirección, a la salida del reductor teníamos una velocidad menor que a la entrada, este es un problema que más que perjudicarnos nos beneficiaba, pues lo que se pretendía era que el vehículo llevara una velocidad crucero muy baja, y los motores de alta velocidad se complementaban con un reductor con una relación de 1:1800.

En cuanto a motores de CD, en el mercado existe una gran variedad de tipos de motores, y es relativamente sencillo encontrar cualquiera de estos en el mercado nacional.

En cuanto a los reductores, resulta bastante caro el mandar a hacer los juegos de engranes a un taller mecánico, puesto que por lo regular los cálculos arrojan engranes de diversas características, que muchas veces no son comerciales, y si hay que hacerlos, hay que conseguir el cortador indicado para *construir los dientes*. Sin embargo hay en el mercado algunos reductores de engranes, que aun cuando no están diseñados para mover pesos, se pueden utilizar bajo ciertas restricciones. Me refiero a los reductores de reloj de lavadora, los cuales están diseñados para mover una indicador de plástico, pero están contruidos de metal.

Optamos por usar este tipo de reductores, por que además de ser muy baratos y abundantes, tenían características muy convenientes para nosotros. El factor de reducción de estos es de 1:1800, tiene una caja de engranes con soportes, engranes de plástico muy ligeros a la entrada y metálicos y muy resistentes a la salida.



Los motores que conseguimos de manera comercial tienen las siguientes características:

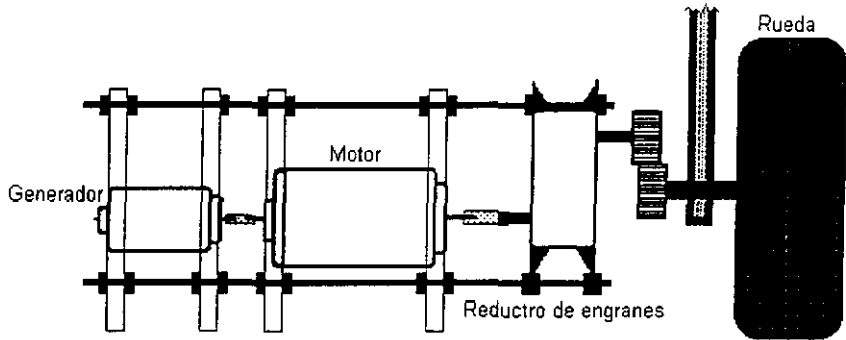
Voltaje nominal - 5v
 resistencia de armadura - 0.932Ω
 potencia - 600 mW
 13 000 rpm

En la sección 3.4 se caracteriza el motor con mas detalle.

El sistema de control de la tracción de nuestro AGV, es un control proporcional que utiliza como realimentación un generador para controlar la velocidad del motor de CD. Por supuesto que el generador también es un motor de CD. El generador debe ser un más pequeño y ligero, pues debe causarle la menor perturbación al motor. Conseguimos en el mercado un motor de juguete, con las siguientes características:

Voltaje nominal - 3v
 resistencia de armadura - 0.370Ω
 Potencia - 200 mW
 10 000 rpm

En seguida se muestra un dibujo del sistema de tracción para una rueda, en él se observa el motor, generador, reductor, la rueda y la caja que se construyo para unirlos.



La caja se construyó de acrílico, y se acoplo al reductor mediante tornillos largos. En el capítulo 4 se explica a detalle la construcción de la caja.

Esto es todo lo que necesitamos saber de los sistemas de actuación que intervienen en la tracción del vehículo de guía automática, Tanto los circuitos, como el sistema de control se describirán posteriormente.

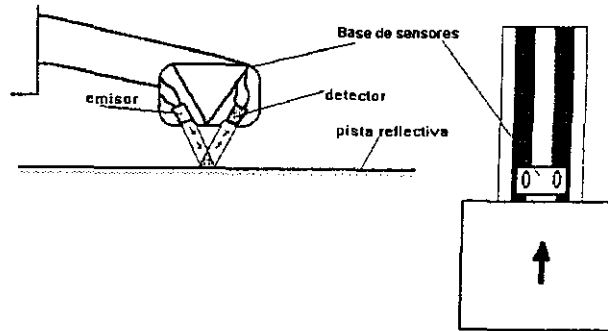
3.2.2 Sistemas de sensado (detección)

En el AGV interactúan varios conjuntos de sensores para lograr que el vehículo se desplace, se detenga, encuentre obstáculos o estaciones.

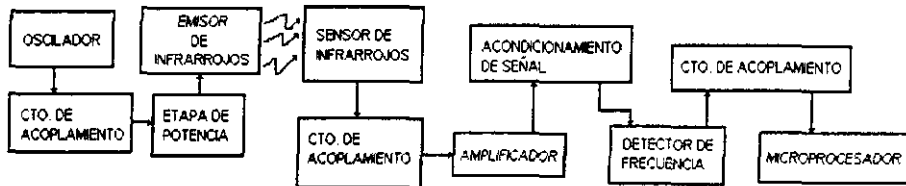
•Detección de pista

En el capítulo 2.4 ya se expusieron los distintos sistemas que existen para detección de la trayectoria que debe seguir nuestro autómeta. También se comentaron las razones por las cuales nosotros elegimos usar la detección óptica.

Para el sistema de detección de trayectoria, se propuso colocar una banda o pista de material reflector (de infrarrojos) en el piso. El AGV debía ser capaz de sensar dicha pista y seguirla. Para detectar la pista propusimos usar **un sistema de emisor - receptor de infrarrojos** que sensara la pista por medio de reflexión.



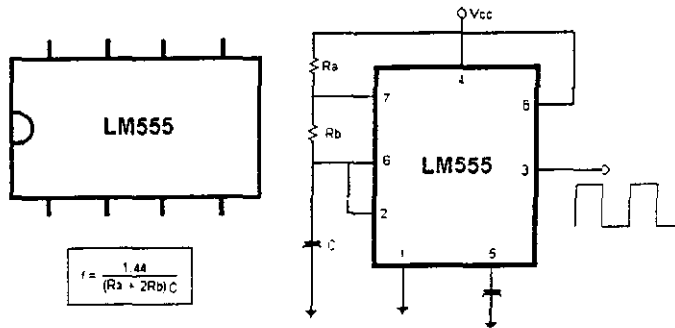
En el siguiente diagrama mostramos como se diseñó (en bloques) el sistema de detección que se propuso para que el AGV siguiera la trayectoria o pista predefinida. Al frente del AGV se pueden ver los sensores colocados paralelamente para detectar cuando el vehículo está sobre la pista.



Dos sistemas iguales se implementaron en el circuito sensor de pista, pues se utilizaron un par de sensores para detectar cuando el vehículo va dentro o fuera de la trayectoria.

En general, el sistema se diseñó para transmitir y recibir frecuencia, y no intensidad o amplitud. Esto se hizo así para evitar que tanto la luz ambiental, como el ruido electromagnético y la distancia de reflexión no influyeran de manera importante en la recepción de la señal infrarroja que se refleja sobre la pista.

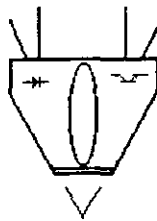
Como ya mencionamos el fin del sistema de detección es captar la frecuencia reflejada en la pista. Para generar la frecuencia, utilizamos en la primera etapa un oscilador, el C.I. LM555 en su configuración astable, que da como salida una señal entre 5 y 9 Volts, con una frecuencia que puede ajustarse dependiendo de dispositivos externos (dos resistencias y un capacitor).



Fue necesario que colocáramos un acoplador de impedancias para evitar que la etapa de potencia demandara corriente al oscilador. Enseguida hablaremos con detalle tanto del dispositivo emisor como del receptor.

Para la implementación del sistema de sensado de trayectoria, lo primero que debíamos conseguir eran los dispositivos emisores y sensores de infrarrojos. En el mercado nacional existe una diversidad de dispositivos ópticos, orientados específicamente al mantenimiento de los controles de radio y televisión.

El primer dispositivo con el que hicimos pruebas, fue un TIL 131, el cual tiene incluido en un solo encapsulado un led emisor de infrarrojos, y un fototransistor, como se muestra en la figura.

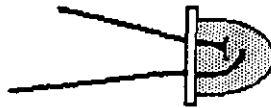


TIL 131

Como se puede ver en la figura este dispositivo tiene un ángulo fijo para la reflexión entre el emisor y el receptor. Esto representa un problema, pues al moverse el vehículo la distancia entre el TIL y la banda reflectora varía, provocando variaciones en ángulo de reflexión, y consecuentemente evitando durante ciertos lapsos que el dispositivo detecte de manera adecuada. Otra desventaja que era evidente, fue la mala calidad de los componentes con que esta construido el TIL 131, además de que las ventanas de recepción y transmisión, son muy limitadas. Por todo lo anterior decidimos desechar dicho dispositivo.

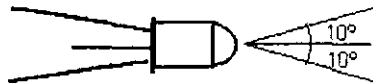
Posteriormente comenzamos a hacer pruebas con dispositivos independientes de transmisión y recepción. Conseguimos en el mercado una serie de **diodos emisores de infrarrojos**, los cuales en su mayoría carecían de marca y de hojas de especificaciones.

Después de hacer una serie de pruebas, el dispositivo emisor que nos arrojó mejores resultados en cuanto a potencia de transmisión, fue un led emisor de infrarrojos, sustituto de uno que se usa en un control remoto de una televisión, el led es de color ámbar y dio mejores resultados que los de color rojo, café, azul y blanco.



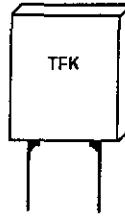
led emisor de infrarrojos

Ahora hablaremos un poco del dispositivo receptor que utilizamos en sistema de sensado de pista. En un principio se hicieron pruebas con los dispositivos más comunes para detección de rayos infrarrojos: Los fototransistores y los fotodiodos. Se compararon fototransistores de diversas características, siendo el tipo más común aquel que incluye un pequeño lente concentrador en el encapsulado.



Se hicieron una serie de pruebas a este dispositivo, del cual se tenían las hojas de especificaciones, las cuales nos indicaban un mejor desempeño del dispositivo que el que realmente tenía. Este receptor de infrarrojos resultó ser inadecuado, por su corto alcance, así como por su limitado ángulo de recepción y su alta susceptibilidad al ruido.

El dispositivo más adecuado que se encontró fue un fototransistor que tenía incluido en su encapsulado un filtro de luz visible, el cual es muy conveniente si se está sensando infrarrojos. Se hicieron pruebas de sensibilidad a este dispositivo, resultando tener mejor desempeño que el resto de los sensores probados.



fototransistor

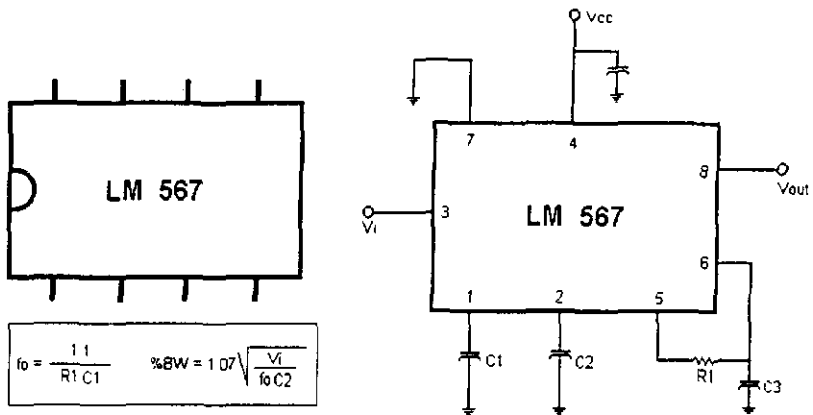
En el diagrama de bloques del sistema de sensado, podemos ver como propusimos un circuito de acoplamiento entre el amplificador y el sensor de infrarrojos. Este es necesario para que el amplificador no demande corriente, además de evitar que la señal sea distorsionada por la etapa de acondicionamiento.

La etapa de acondicionamiento de señal es necesaria para que todas las distorsiones, offset, y ruido sea filtrado de la señal que recuperamos con el sensor de infrarrojos; pues el sensor de infrarrojos es sensible a la luz ambiental y al ruido electromagnético. Otra razón para utilizar una etapa de acondicionamiento de señal, es que la señal tiene que entrar a un circuito detector de frecuencia, y este, para su correcto funcionamiento, necesita que la señal de entrada tenga ciertas características en su forma y amplitud.

Como ya se comento, el funcionamiento del sistema se basa en que queremos detectar frecuencia más que amplitud o intensidad de señal, y esta es la razón de que tengamos en las ultimas etapas una de detección de frecuencias.

Existen muchas formas de detectar frecuencia, y múltiples circuitos integrados que cumplen con este fin. Nosotros decidimos usar el C.I. LM567 para detectar frecuencia, también conocido como detector de tonos. Este es un circuito de ocho patas que responde con un nivel bajo en su salida en presencia una frecuencia especifica en la entrada.

En la figura se muestran las características de este integrado.



Finalmente pusimos una etapa de acoplamiento entre el detector de frecuencias y el microcontrolador. Este circuito nos sirve para aislar el microcontrolador de la etapa de sentido, así como para adecuar los datos que salen del detector de frecuencias.

Nota: El diseño electrónico de todos estos sistemas se explica a detalle en el capítulo 3.4.

•Sistema de detección de estaciones

Para el sistema de detección de estaciones decidimos, al igual que para la detección de trayectoria, utilizar la detección óptica. Tiene ciertas ventajas sobre el uso de otros métodos de detección, como por ejemplo su sencilla implementación y la disponibilidad de los elementos de construcción (dispositivos) en el mercado, además de las ventajas expuestas en el capítulo 2.4.

El sistema detector de estaciones se propuso de la siguiente manera:

La estación o lugar donde debe parar el vehículo, debe tener un sistema emisor de infrarrojos, sintonizado a determinada frecuencia, y cada estación debe transmitir a distinta frecuencia.

El vehículo cuenta con un sistema receptor de infrarrojos capaz de detectar la frecuencia propia de cada una de las estaciones y transmitirla a un convertidor de frecuencia a voltaje. El voltaje resultante del convertidor es transmitido directamente al convertidor A / D del microcontrolador. Esto hace posible que el vehículo sepa en que lugar físico está ubicado y también sabe a que robot está surtiendo de material. De esta manera se tiene un control de las actividades del vehículo dentro del sistema de manufactura flexible.

3.3 DISEÑO DEL CONTROLADOR PARA EL SISTEMA DE TRACCIÓN

3.3.1 Control de armadura de un motor de c.d.

Sea el sistema:

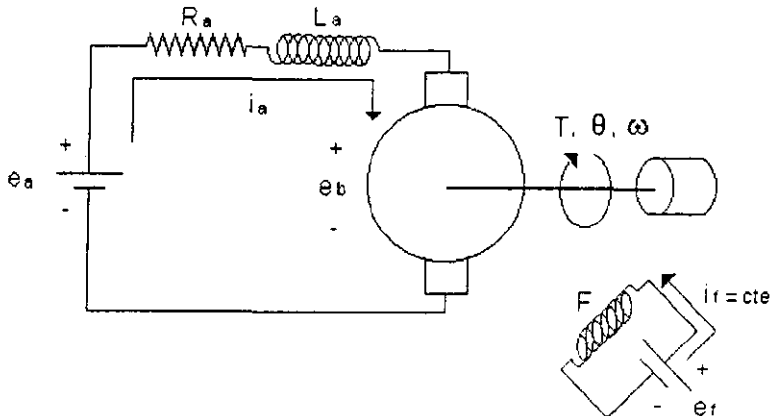


Fig. 3.3.1.1

R_a : resistencia de armadura (Ω)

L_a : inductancia de armadura (H)

i_a : corriente de armadura (A)

i_f : corriente de campo (A)

e_a : tensión aplicada a la armadura (V)

e_b : fuerza contra - electromotriz (V)

θ : desplazamiento angular del eje del motor (Rad)

ω : velocidad angular del eje del motor (Rad / seg)

T_m : par desarrollado por el motor (N.m)

J_m : momento de inercia equivalente del motor (Kg.m^2)

b : coeficiente de fricción viscosa equivalente del motor [$\text{N.m} / (\text{rad} / \text{seg})$]

El flujo del entrehierro ψ viene dado por la ecuación :

$$\psi = K_r i_f \dots\dots\dots(1)$$

donde K_r es una constante.

El par se determina como :

$$T_m = K_r i_r K_1 i_a \dots\dots\dots(2)$$

donde K_1 es una constante.

Para una corriente de campo i_r constante, el flujo se vuelve constante y el par es directamente proporcional a la corriente de armadura:

$$T_m = K_m i_a \dots\dots\dots(3)$$

Para un flujo constante, la tensión inducida en e_{bm} es directamente proporcional a la velocidad angular $d\theta / dt$, o bien :

$$e_{bm} = k_{bm} \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots(4)$$

donde e_{bm} es la fuerza contra-electromotriz y k_{bm} es una constante de fuerza contra-electromotriz.

La ecuación diferencial del circuito de armadura es :

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_{bm} = e_a \dots\dots\dots(5)$$

Por otra parte, si la corriente de armadura produce un par que se aplica a la inercia (J_m) y la fricción (b), entonces :

$$J_m \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} = T_m$$

pero si $T_m = k_m i_a$; entonces:

$$J_m \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} = k_m i_a \dots\dots\dots(6)$$

Suponiendo que todas las condiciones iniciales son cero, y tomando las transformadas de Laplace de las ecuaciones (4), (5) y (6) se obtiene:

$$E_{bm}(S) = k_{bm}\omega(S) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$(J_m S + R_a)I_a(S) + E_{bm}(S) = E_a(S) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$(J_m S + b)\omega(S) = k_m I_a(S) = T_m(S) \quad \dots\dots\dots(9)$$

Considerando a $E_a(S)$ como la entrada y a $\omega(S)$ como la salida; es posible construir el diagrama de bloques para las ecuaciones (7), (8) y (9) :

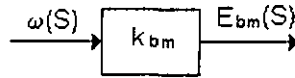


Fig. 3.3.1.2

Reordenando la ecuación (8):

$$I_a(S) = \frac{E_a(S) - E_{bm}(S)}{L_a(S) + R_a}$$

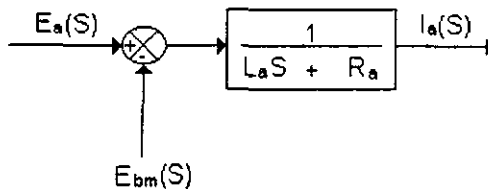


Fig.3.3.1.3

de (9) :

$$(J_m S + b)\omega(S) = k_m I_a(S)$$

$$T_m(S) = k_m I_a(S)$$

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

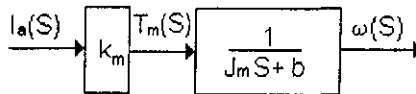


Fig. 3.3.1.4

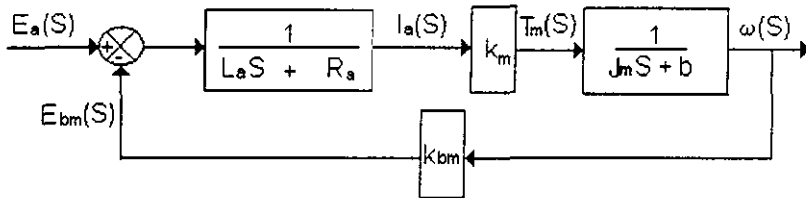


Fig. 3.3.1.5

$$\frac{\omega(S)}{E_a(S)} = \frac{k_m}{J_m L_a S^2 + (b L_a + J_m R_a) S + b R_a + k_m k_{bm}}$$

Si consideramos que el coeficiente de fricción viscosa (b), y la inductancia (L_a) del circuito de armadura son tan pequeños que pueden despreciarse. Entonces la función de transferencia se reduce a :

$$\frac{\omega(S)}{E_a(S)} = \frac{k_m}{(J_m R_a) S + k_m k_{bm}}$$

Normalizando la ecuación :

$$\frac{\omega(S)}{E_a(S)} = \frac{k_m}{(J_m R_a) S + k_m k_{bm}} \times \frac{\left[\frac{1}{k_m k_{bm}} \right]}{\left[\frac{1}{k_m k_{bm}} \right]}$$

$$\frac{\omega(S)}{E_a(S)} = \frac{1}{\left(\frac{J_m R_a}{k_m k_{bm}} \right) S + 1}$$

$$\text{Si: } G_m = \frac{1}{k_{bm}} \quad \text{y} \quad \tau_m = \frac{J_m R_a}{k_m k_{bm}} :$$

$$\frac{\omega(S)}{E_a(S)} = \frac{G_m}{\tau_m S + 1} \quad \dots\dots\dots(10)$$

donde :

G_m : ganancia del motor.

τ_m : constante de tiempo del motor.

3.3.2 Análisis de un motor de c.d. realimentado con bloque de control

En esta sección abordaremos el análisis de los sistemas de control para los motores de D.C.; sin embargo como preámbulo, consideramos importante tocar el concepto de los sistemas de lazo cerrado sometidos a una perturbación, ya que debemos tomar en cuenta que los motores serán sometidos a cargas (perturbaciones), las cuales se deberán principalmente al peso de las baterías y los diferentes elementos mecánicos.

En la figura 3.3.2.1 se observa un sistema de lazo cerrado sometido a una perturbación. Cuando dos entradas (la señal de referencia y la perturbación) están presentes en un sistema lineal, cada entrada puede tratarse independientemente de la otra; y las salidas correspondientes se pueden sumar a cada una de las entradas individuales, para obtener la salida total. En el punto de suma se indica; ya sea por medio de un signo + ó -, la forma en que cada entrada se introduce al sistema.

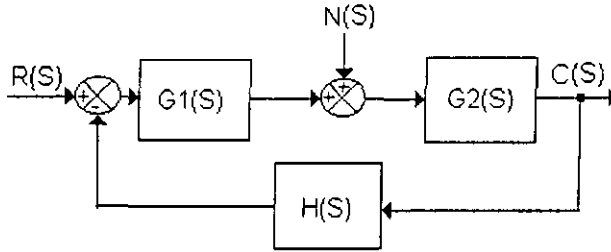


Fig. 3.3.2.1

Al examinar el efecto de la perturbación $N(S)$, se puede suponer que el sistema está inicialmente en reposo, con error cero; entonces se puede calcular la respuesta $C_N(S)$ debido a la perturbación solamente. Se puede hallar entonces que :

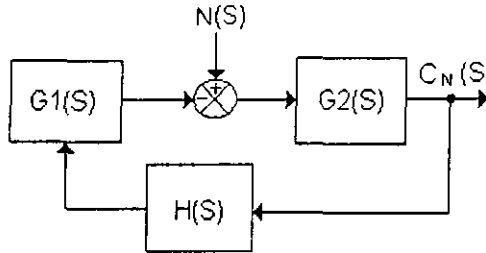


Fig. 3.3.2.2

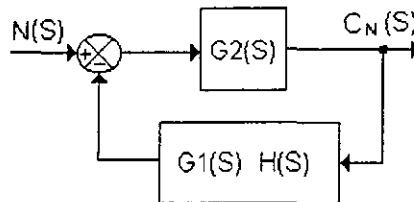


Fig. 3.3.2.3

$$\frac{C_N(S)}{N(S)} = \frac{G_2(S)}{1 + G_1(S)G_2(S)H(S)} \dots\dots(1)$$

Por otro lado, considerando la respuesta a la entrada de referencia $R(S)$ y suponiendo que la perturbación es cero. Entonces es posible obtener la respuesta $C_R(S)$ a la entrada de referencia $R(S)$ de :

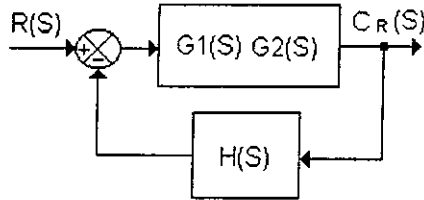


Fig. 3.3.2.4

$$\frac{C_R(S)}{R(S)} = \frac{G_1(S) G_2(S)}{1 + G_1(S) G_2(S) H(S)} \quad \dots\dots(2)$$

La respuesta a la aplicación simultánea de la entrada de referencia y de la perturbación se puede obtener sumando las dos respuestas individuales. En otras palabras, la respuesta $C(S)$ debida a la aplicación simultánea de la entrada de referencia $R(S)$ y la perturbación $N(S)$, está dada por:

$$C(S) = C_R(S) + C_N(S)$$

$$C(S) = \frac{G_2(S)}{1 + G_1(S) G_2(S) H(S)} [G_1(S) R(S) + N(S)] \quad \dots\dots(3)$$

Si aplicamos éste concepto al modelado del motor de D.C.; es decir, si sometemos al motor a una perturbación $T(S)$; tal y como se muestra a continuación :

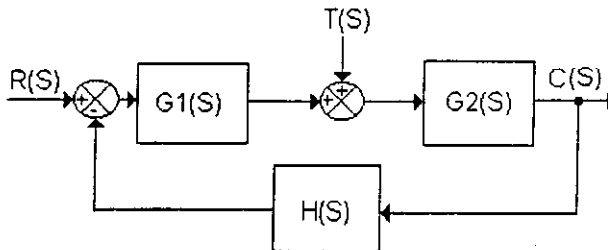


Fig. 3.3.2.5

Aplicando al diagrama de bloques anterior al motor :

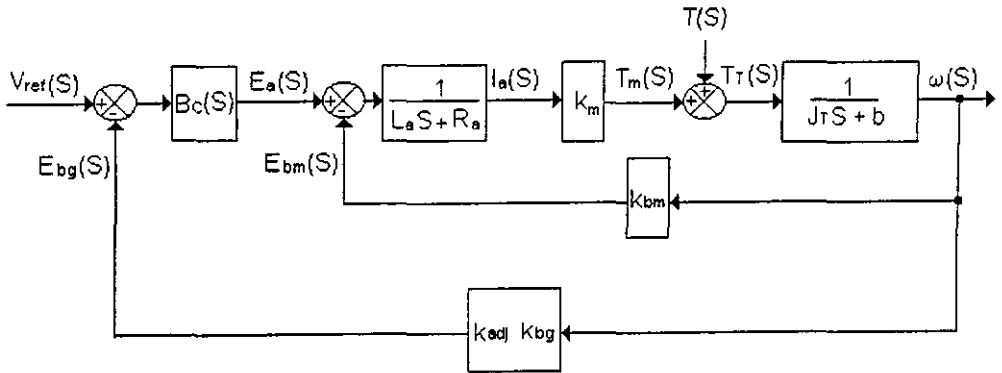


Fig. 3.3.2.6

donde:

e_{bm} : Tensión inducida en la armadura del motor.

e_{bg} : Tensión inducida en la armadura del generador.

k_{bm} : Constante de fuerza contra-electromotriz del motor.

k_{bg} : Constante de la fuerza contra-electromotriz del generador.

k_{adj} : Constante de ajuste de la f.c.e.m. del generador.

J_T : Inercia total reflejada en el rotor

$$\omega(S) = \frac{1}{1 + \frac{k_m k_{bm}}{R_a J_T S}} \left[\frac{k_m}{R_a} E_a(S) + T(S) \right]$$

Suponiendo que: $\frac{k_m E_a(S)}{R_a} \gg T(S)$

$$\omega(S) = \frac{1}{1 + \frac{J_T S}{R_a k_m k_{bm}}} \left[\frac{k_m E_a(S)}{R_a} \right]$$

$$\frac{\omega(S)}{E_a(S)} = \frac{k_m}{R_a J_T S + k_m k_{bm}}$$

$$\frac{\omega(S)}{E_a(S)} = \frac{1}{S \left(\frac{J_T R_a}{k_m k_{bm}} \right) + 1}$$

Si tomamos en cuenta que: $\tau_{sis} = \frac{J_T R_a}{k_m k_{bm}}$

$$\frac{\omega(S)}{E_a(S)} = \frac{1}{k_{bm}} \cdot \frac{1}{S(\tau_{sis}) + 1}$$

Redibujando el diagrama de bloques :

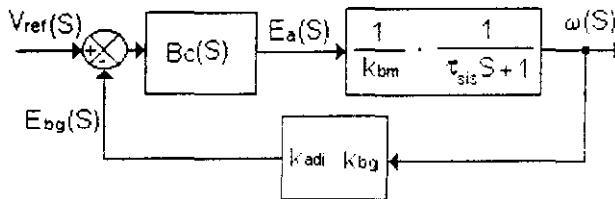


Fig. 3.3.2.7

$$\frac{\omega(S)}{V_{ref}} = \frac{B_c(S) \left[\frac{1}{k_{bm}} \cdot \frac{1}{\tau_{sis} S + 1} \right]}{1 + B_c(S) \left[\frac{1}{k_{bm}} \cdot \frac{1}{\tau_{sis} S + 1} \right] k_{bg} k_{adj}} \dots (4)$$

3.3.3 Diseño del controlador para los motores de c.d. del AGV

Un controlador automático compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (valor deseado), determina el error, y produce una señal de control que reducirá el error a cero, o a un valor muy pequeño. La forma con que el controlador automático produce la señal de control, se denomina acción de control.

De manera general, los controladores analógicos se puede clasificar de acuerdo a sus acciones de control, de la siguiente forma :

1.- Controladores de dos posiciones, o intermitente (ON -OFF).

En un sistema de control de dos posiciones, el actuador tiene sólo dos posiciones fijas, que en muchos casos son simplemente conectado y desconectado.

2.- Controladores proporcionales.

En este tipo de controladores la señal que se aplica sobre el actuador es proporcional a la señal de error, de tal forma que la relación entre la salida del controlador y la señal de error se mantiene constante.

3.- Controladores integrales.

En estos controladores, el valor de la salida varía proporcionalmente a la señal de error.

4.- Controladores derivativos.

En estos controladores, el valor de la salida varía proporcionalmente con la velocidad de variación de la señal de error.

5.- Controladores Proporcional - Integral - Derivativo.

Para este tipo de controladores se intenta reunir los tres tipos de correctores para aprovechar las ventajas de cada uno de ellos :

- El control proporcional es rápido.
- El control derivativo aporta la estabilidad.
- El control integral, la precisión.

Dado que para la implementación de la tracción del AGV, únicamente interesa tener una certidumbre de que el voltaje aplicado a los motores, se traduce en una velocidad angular efectiva; consideramos entonces que es suficiente el incluir un controlador de tipo proporcional a los motores de d.c.

Si en el diagrama de bloques (Fig. 3.3.2.7), sustituimos a $Bc(s)$ por Kp , y además sustituimos el bloque $Kadj Kbg$ por el bloque A , entonces el diagrama se transforma en :

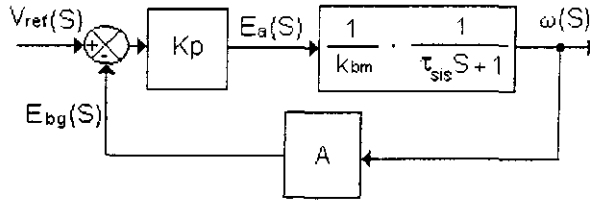


Fig. 3.3.3.1

Del diagrama de bloques resultante, se puede obtener la siguiente función de transferencia:

$$\frac{\omega(S)}{V_{ref}} = \frac{Kp \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ k_{bm} & \tau_{sis} S + 1 \end{bmatrix}}{1 + Kp \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ k_{bm} & \tau_{sis} S + 1 \end{bmatrix} A} \dots\dots\dots (1)$$

Normalizando :

$$\frac{\omega(S)}{V_{ref}} = \frac{Kp G_m}{Kp G_m A + 1} \cdot \frac{1}{\tau_{sis} S + 1} \dots\dots\dots (2)$$

donde :

$$G_m = 1/k_{bm}$$

$$\tau_{sis} = \frac{J_T R_a}{k_m k_{bm}}$$

La función de transferencia (2) nos va a permitir obtener un valor adecuado para la ganancia del controlador proporcional, dependiendo de la constante de tiempo que se desee en todo el sistema. Sin embargo, antes de proponer una constante de tiempo, es necesario ver el comportamiento del sistema en el tiempo sin controlador, de tal manera que podamos tener una idea del valor de dicha constante.

Para observar el comportamiento del sistema sin controlador, es necesario determinar los valores de los parámetros k_{bm} , k_m , J y R_a , los cuales se obtienen a partir de la caracterización de los motores.

La caracterización de los motores de DC comprende básicamente de tres pruebas, las cuales son :

- 1.- Prueba a rotor bloqueado.
- 2.- Prueba a rotor libre.
- 3.- Prueba de respuesta escalón.

Prueba a rotor bloqueado

Esta prueba se realizó aplicando voltajes conocidos a la armadura del motor, y a continuación se medía la corriente consumida por la armadura, así como el par desarrollado por el rotor. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 1, gráfica 1, tabla 2 y gráfica 2 del apéndice.

De acuerdo a la grafica 1 , es posible obtener el valor de R_a , ya que:

$$R_a = dE_a / dI_a = m = 0.932 [\Omega]$$

Por otra parte, con la gráfica 2 obtenemos el valor de K_m ; ya que :

$$K_m = dT_m / dI_a = m = 0.00207 [N/A]$$

Prueba a rotor libre

Esta prueba se realizó aplicando al rotor velocidades angulares conocidas y a continuación se medía la tensión inducida en los bornes de la armadura, la cual corresponde a la fuerza contra electromotriz. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 3, gráfica 3, tabla 4 y gráfica 4.

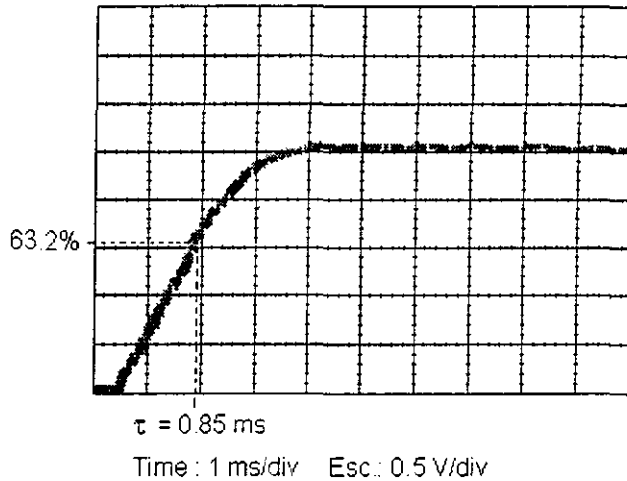
Con las gráficas 3 y 4 obtenemos las constantes K_{bm} y K_{bg} , de la siguiente manera :

$$K_{bm} = d e_{bm} / d \omega_m = m = 0.003099 [v/ rad/seg]$$

$$K_{bg} = d e_{bg} / d \omega_g = m = 0.000648 [v/ rad/seg]$$

Prueba de respuesta escalón

En esta prueba se aplicó un escalón con una amplitud de 4 volts, y a continuación con la ayuda de un osciloscopio con memoria, se procedió a graficar la respuesta. Los resultados obtenidos son los siguientes :



Si conocemos el valor de τ_m , entonces lo único que resta es saber el valor de J_m , el cual se obtiene de la siguiente ecuación :

$$J_m = \frac{\tau_m * k_{bm} * k_m}{R_a} = \frac{8.5 E^{-4} * 3.099 E^{-3} * 2.07 E^{-3}}{0.932}$$

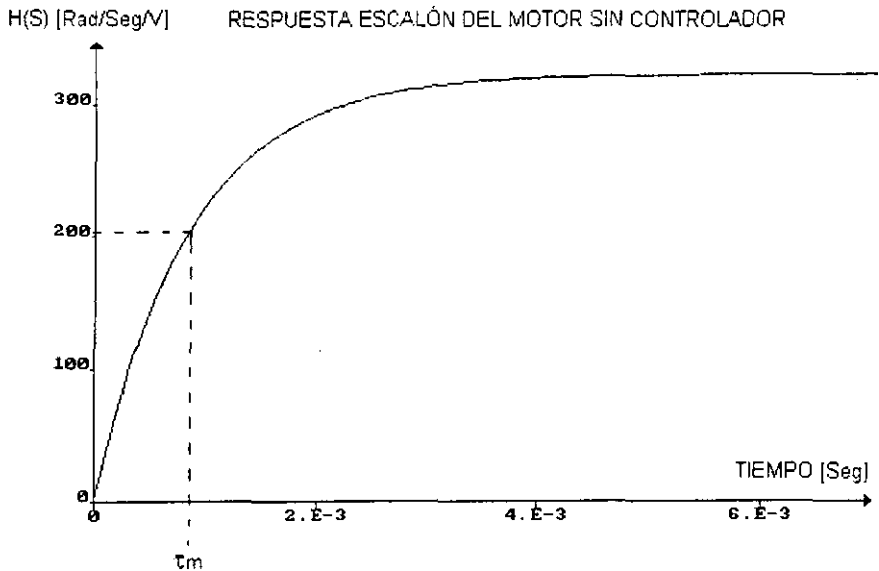
$$\therefore J_m = 5.85 E^{-9} \text{ [kg m}^2\text{]}$$

Una vez que se han obtenido los valores de K_m , K_{bm} , R_a y J_m ; se realizará un análisis del comportamiento en el tiempo del motor, donde observaremos la respuesta de $\omega(t)$ a un cambio en la entrada de referencia. En este caso la entrada de referencia $e_a(t)$, será un escalón unitario $u(t)$. Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

```

CONTINUOUS SYSTEM Motdc
TIME t
OUTPUT y      "Variable de salida
STATE x1      "Variables de estado
DER dx1
dX1 = -a*x1 + b*u
y = x1
a : 1176.609   "Valores de los parámetros
b : 379673.7699
u : 1         "Entrada escalón unitario
x1 : 0        "Condiciones iniciales nulas
END

```



De la simulación podemos observar que el tiempo en que tarda el sistema en alcanzar el 63.2% de la respuesta total, es de aproximadamente 0.85 ms, y por otra parte, la ganancia máxima que tiene el sistema es de aproximadamente 322.684 [rad/seg / v].

De acuerdo a la ecuación (2) de la sección 3.3.3, podemos deducir que el primer miembro del lado derecho corresponde a la máxima ganancia que tendrá el sistema, sin embargo observamos que en este término no conocemos el valor de K_p y A . Lo único que sabemos es que la máxima ganancia será igual a:

$$G_{\max} = \frac{\omega_{\max M} - \omega_{\min M}}{V_{\max M} - V_{\min M}}$$

Donde:

ω_{\max} : velocidad angular máxima que proporcionará el motor

ω_{\min} : velocidad angular mínima que proporcionará el motor

V_{\max} : voltaje máximo que se aplicará al motor

V_{\min} : voltaje mínimo que se aplicará al motor

Para nuestro caso, necesitamos que la velocidad máxima del AGV sea de 4 [cm/seg], y la velocidad mínima sea de 0 [cm/seg]. Esto implica que :

$$\omega_{\max} = 1250 \text{ [rad/seg]}$$

$$\omega_{\min} = 0 \text{ [rad/seg]}$$

$$v_{\max} = 4 \text{ [v]}$$

$$v_{\min} = 0 \text{ [v]}$$

por lo tanto :

Si G_{\max} la igualamos con el primer miembro de la ecuación (2) de la sección 3.3.3, tenemos :

$$\frac{K_p G_m}{K_p G_m A + 1} = G_{\max} \dots\dots(3)$$

Por otra parte, como el término $\frac{\tau_{\text{sis}}}{K_p G_m A + 1}$ de la ecuación (2) de la sección 3.3.3, corresponde a la constante de tiempo total del sistema; entonces es posible plantear la siguiente ecuación :

$$\frac{\tau_{\text{sis}}}{K_p G_m A + 1} = \tau_T \dots\dots(4)$$

donde τ_T es la constante total del sistema.

Resolviendo las ecuaciones (3) y (4) para K_p y A , tenemos :

$$K_p = \frac{G_{\max} * \tau_{\text{sis}}}{G_m * \tau_T} \dots\dots(5)$$

$$A = \frac{\tau_{\text{sis}} - \tau_T}{G_{\max} * \tau_{\text{sis}}} \dots\dots(6)$$

De las ecuaciones (5) y (6) podemos observar que para obtener los valores de K_p y A , es necesario proponer un valor de τ_T ; tal que permita cumplir con la ganancia máxima, y además que al obtener los valores del controlador K_p , así como la ganancia de realimentación A , éstos se puedan implementar físicamente. Ya que no se debe olvidar que el sistema tiene limitaciones propias como las fuentes de alimentación, el voltaje máximo que soportan los motores, el voltaje máximo de referencia, las reducciones mecánicas, etc.

Considerando lo anterior hemos propuesto $\tau_T = 3 \text{ ms}$; lo cual implica que :

de la ec.(14) del capítulo 3.1.2 tenemos :

$$J_e = \frac{i_t^2}{\eta} \left[2mr_d^2 \right] = \frac{\left(\frac{1}{1800} \right)^2 * 2 * 9 \text{kg} * (0.0575)^2}{0.98} = 1.91 \times 10^{-8} \text{ [Kg m}^2 \text{]}$$

donde :

$$i_t = 1/1800$$

$$\eta = 0.98$$

$$rd = 0.0575 \text{ [m]}$$

$$m = 9 \text{ [Kg]}$$

por lo tanto :

$$J_T = J_e + J_m = 1.91 \times 10^{-8} \text{ [kgm}^2 \text{]} + 5.85 \times 10^{-9} \text{ [kgm}^2 \text{]} = 2.49 \times 10^{-8} \text{ [kgm}^2 \text{]}$$

$$\tau_{\text{sis}} = \frac{J_T * R_a}{K_m * K_{\text{bim}}} = \frac{2.49 * 10^{-8} \text{ [Kg m}^2 \text{]} * 0.932 \text{ [\Omega]}}{2.07 * 10^{-3} \text{ [Nm/A]} * 3.099 \text{ [V/rad_seg]}} = 3.62 * 10^{-3} \text{ [seg]}$$

$$K_p = \frac{G_{\text{max}} * \tau_{\text{sis}}}{G_m * \tau_T} = \frac{312.5 * 3.62 * 10^{-3}}{322.684 * 3 * 10^{-3}} = 1.16$$

$$A = \frac{\tau_{\text{sis}} - \tau_T}{G_{\text{max}} * \tau_{\text{sis}}} = \frac{3.62 * 10^{-3} - 3 * 10^{-3}}{312.5 * 3.62 * 10^{-3}} = 5.48 * 10^{-4}$$

en consecuencia :

$$K_{\text{adj}} = \frac{A}{K_{\text{bg}}} = \frac{5.48 * 10^{-4}}{6.48 * 10^{-4}} = 0.845$$

Finalmente, con el objeto de visualizar con mayor claridad los efectos del bloque de control en el motor de DC, mostraremos a continuación una simulación de la respuesta escalón del sistema total :

CONTINUOUS SYSTEM motcontP

TIME t

OUTPUT y "Variable de salida

STATE x1 "Variables de estado

DER dx1

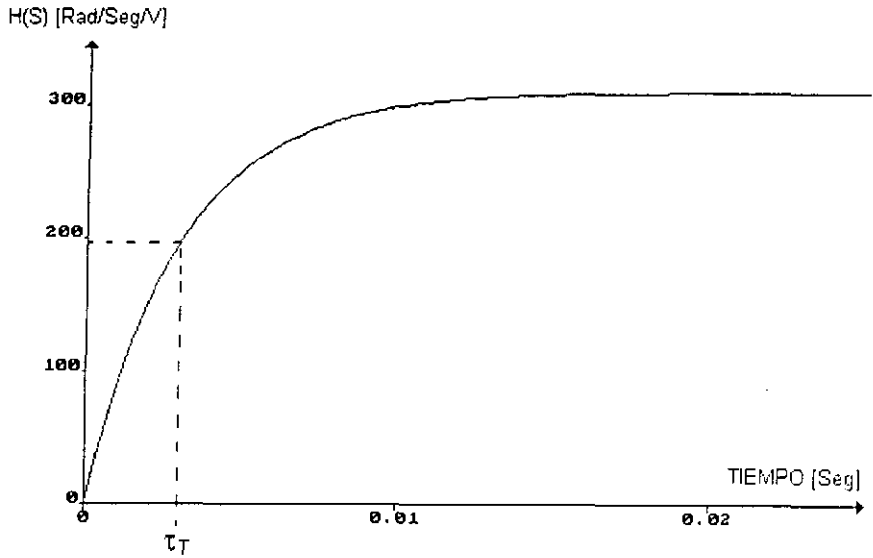
dx1 = -a*x1 + b*u

y = x1

a : 332.911 "Valores de los parámetros

```
y = x1  
a : 332.911      "Valores de los parámetros  
b : 103403.0228  
u : 1           "Entrada escalón unitario  
x1 : 0          "Condiciones iniciales nulas  
END
```

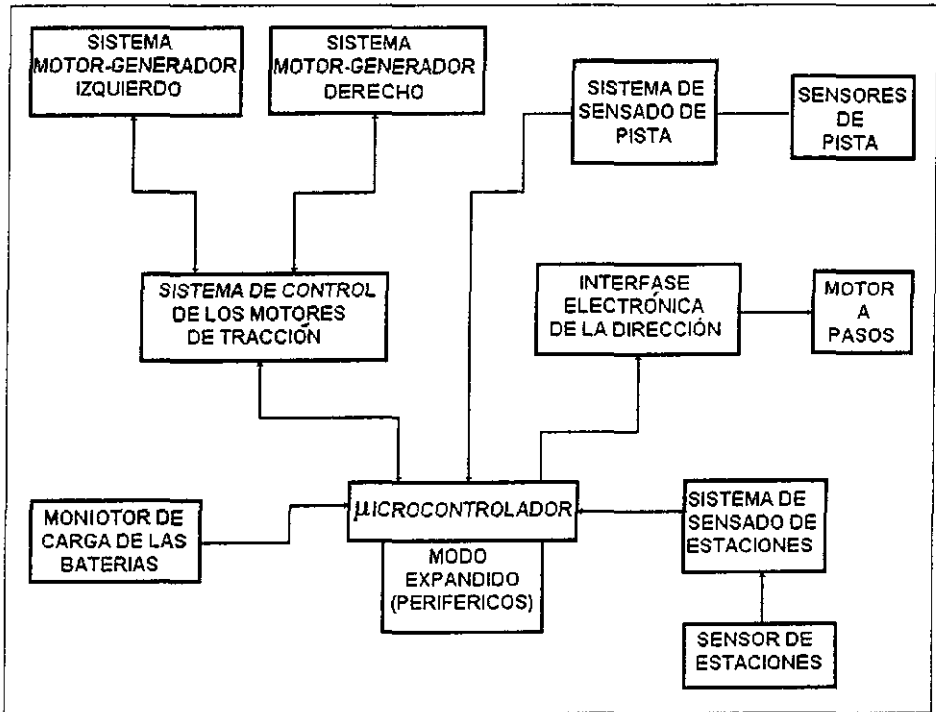
RESPUESTA ESCALÓN DEL MOTOR CON CONTROLADOR PROPORCIONAL



3.4 DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS

En el siguiente diagrama de bloques podemos ver la estructura general del Vehículo de Guía Automática.

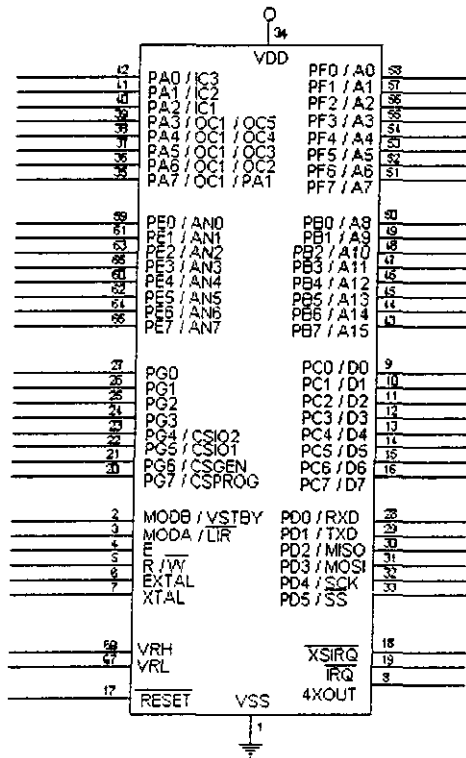
Estructura general del AGV



3.4.1 Diseño e implementación del Microcontrolador MC68HC11F1FN

El microcontrolador MC68HC11F1FN es un semiconductor de metal óxido complementario de alta densidad (HCMOS), que contiene funciones periféricas muy sofisticadas, alta velocidad y baja potencia. Tiene un diseño completamente estático que permite operarlo a bajas frecuencias.

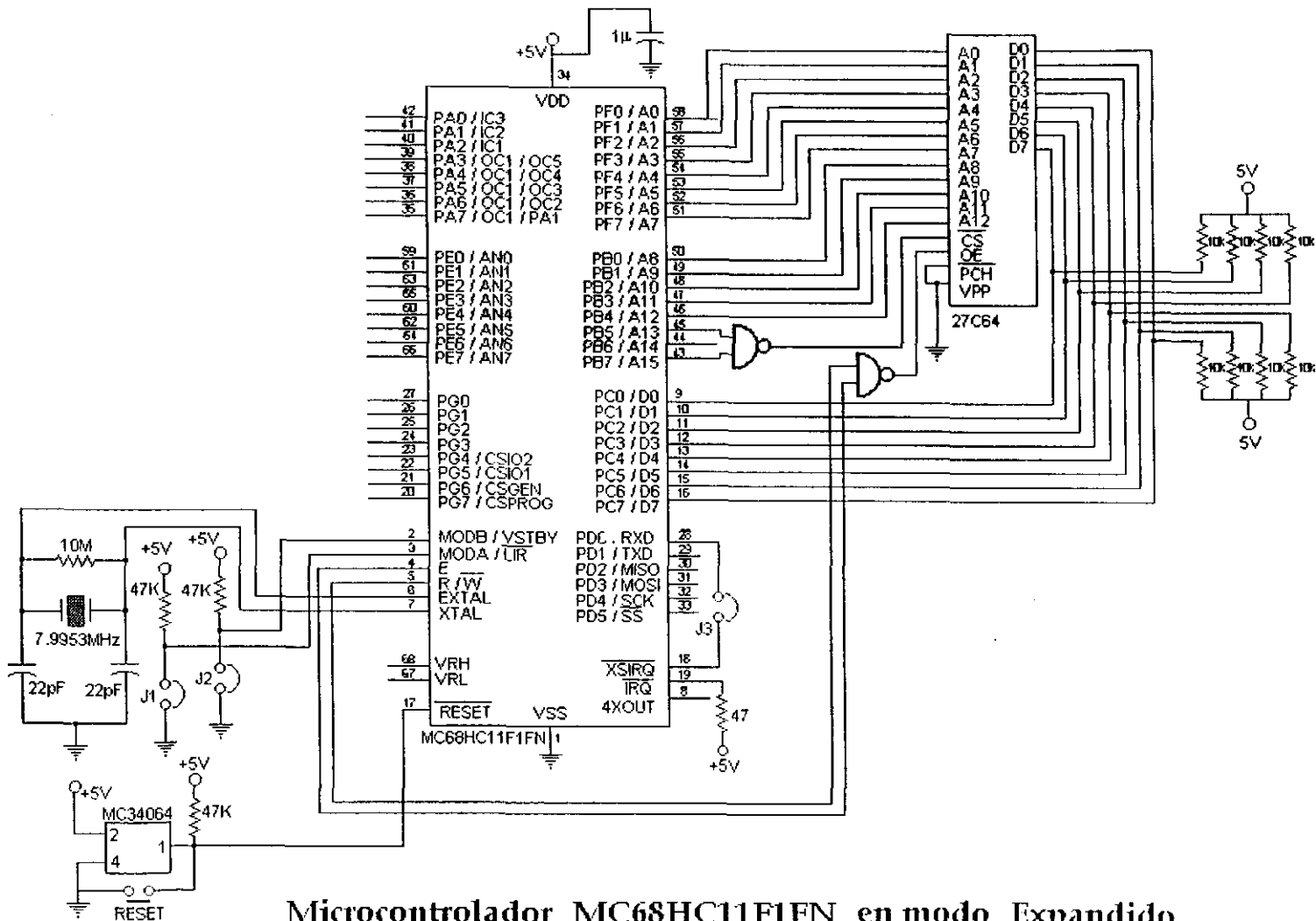
Las características de la familia HC11 de motorola se expusieron en el capítulo 2.5, al igual que para la versión F1.



En el diseño fue necesario utilizar el microcontrolador en modo expandido, pues la capacidad de EEPROM interna no fue suficiente (512 bytes). El único dispositivo periférico que pusimos en el modo expandido del Microcontrolador, fue una memoria EEPROM externa de 8k x 8 Bytes junto con las compuertas necesarias para direccionar la memoria. Esto por que la memoria RAM interna del microcontrolador fue suficiente para satisfacer las necesidades del programa.

Utilizamos la memoria 27C64A que es una UVEPROM de 8k x 8 bytes estándar.

En la siguiente página se muestra un esquema básico de como se implemento el modo expandido del Microcontrolador MC68HC11F1FN sin la memoria RAM externa que no fue necesario colocar. En el se pueden ver las compuertas que sirven para direccionar la memoria UVEPROM externa, la cual quedo direccionada en las localidades \$E000-\$FFFF.



Microcontrolador MC68HC11F1FN en modo Expandido

A continuación se expondrán los cálculos para cada uno de los circuitos transmisores, cuyas frecuencias se fijaron en 300Hz y 3kHz respectivamente, una de ellas diez veces menor a la otra, esto para poder considerarla despreciable o alejada respecto a la otra.

Para el C.I. LM555 :

$$f_0 = \frac{1.44}{(R_a + 2R_b) C} \dots(1)$$

$$\% \text{Duty cycle} = \left[1 - \frac{R_b}{R_a + 2R_b} \right] \times 100 \dots(2)$$

Para $f_0 = 300 \text{ Hz}$:

fijamos : $C_a = 1 \mu\text{F}$

De la ecuación (1)

$$\rightarrow R_a + 2R_b = 4.8 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow R_a = 4.8 \text{ k} - 2R_b$$

Si fijamos R_a o R_b a un valor comercial, por ejemplo $R_a = 1.2 \text{ k}\Omega$

$$\rightarrow R_b = (4.8 \text{ k} - 1.2 \text{ k}) / 2 = 1.8 \text{ k}\Omega$$

Ahora analizaremos el ciclo de trabajo. (ecuación (2))

$$\% \text{Duty Cycle} = [1 - (1.8 \text{ k} / (1.2 \text{ k} + 2(1.8 \text{ k})))] \cdot 100 = 62.5 \%$$

Este valor del ciclo de trabajo no deja de ser adecuado para los fines que perseguimos, que es la transmisión de la señal a través de un led infrarrojo.

Para $f_0 = 3 \text{ kHz}$

fijamos : $C_a = 0.1 \mu\text{F}$

De la ecuación (1)

$$\rightarrow R_a + 2R_b = 4.8 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow R_a = 4.8 \text{ k} - 2R_b$$

Al igual que en el caso anterior fijamos $R_a = 1.2 \text{ k}\Omega$

$$\rightarrow R_b = 1.8 \text{ k}\Omega$$

$$\% \text{Duty Cycle} = 62.5\%$$

El acoplador de impedancias que se encuentra a la salida del LM555, mejor conocido como seguidor unitario, sirve para que la etapa de potencia no demande corriente al C.I., y como sabemos el voltaje de salida es igual al voltaje de entrada.

La etapa que esta a continuación, resulta ser simplemente un amplificador de corriente, en cuya salida conectamos el diodo emisor de infrarrojos, el cual tiene una corriente típica de 100 mA.

$$i_c = 100 \text{ mA} ; V_{cc} = 5 \text{ V}$$

$$i_c = \beta i_b ; \beta = 40 ; V_D = 0.7 \text{ V}$$

$$5v = R_{Dc} + 0.7V$$

$$R_D = (5 - 0.7) / 100m = 43 \Omega ; I_b = 100mA / 40 = 2.5 \text{ mA}$$

$$R_b = (5V - 0.7) / 2.5mA = 1.7 \text{ k}\Omega$$

En la etapa de recepción, el fototransistor se pone en configuración Darlington junto con un BC547, esto ultimo para darle una gran ganancia de corriente a la señal que recibe el fototransistor. Se polariza con una resistencia grande para evitar distorsiones en la señal amplificada.

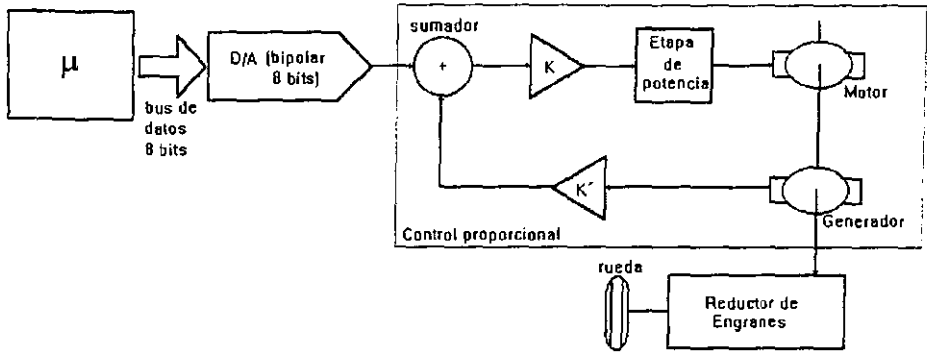
El circuito "Seguidor unitario" es para evitar exigir demasiada corriente a la etapa de recepción, además de evitar que las etapas posteriores distorsionen la señal.

En seguida se colocaron dos inversores "Open Colector" para corregir las distorsiones que sufrió la señal al ser transmitida y reflejada a través del ambiente y la banda reflectora. Al ser transmitida la señal, sufre una serie de modificaciones producidas por las características del medio de transmisión (el medio ambiente), y también se ve alterada por el echo de que es reflejada en una banda de color claro. A fin de cuentas, la señal que recuperamos es muy distinta a la que transmitimos. Los inversores nos ayudan a hacer que la señal tome su forma original, el segundo inversor nos sirve para reafirmar la forma de la señal, además de colocarla finalmente en su amplitud original.

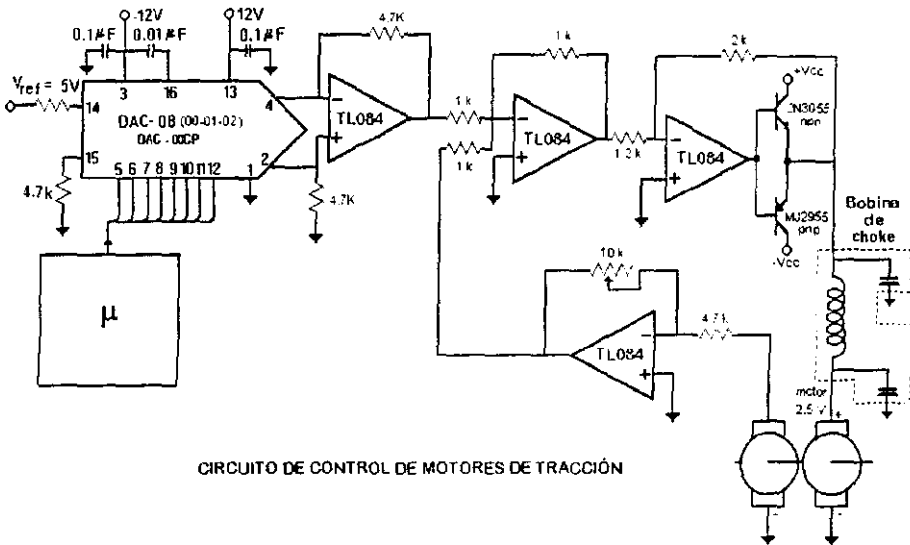
3.4.3 Sistema de control de los motores de tracción

A continuación mostraremos el diseño de los sistemas electrónicos que utilizamos para implementar el sistema de control de la tracción que, como ya se dijo, consta de dos módulos de motor - generador - reductor. Esto para lograr que la tracción sea independiente en cada una de las dos ruedas traseras.

En el capítulo 3.2 expusimos en forma genérica el cómo se diseñó el sistema de tracción, y explicamos bloque a bloque el objetivo que debía cumplir cada subsistema. A continuación se muestra nuevamente el diagrama de bloques.



En el siguiente circuito se muestra el sistema electrónico del control de la tracción independiente.

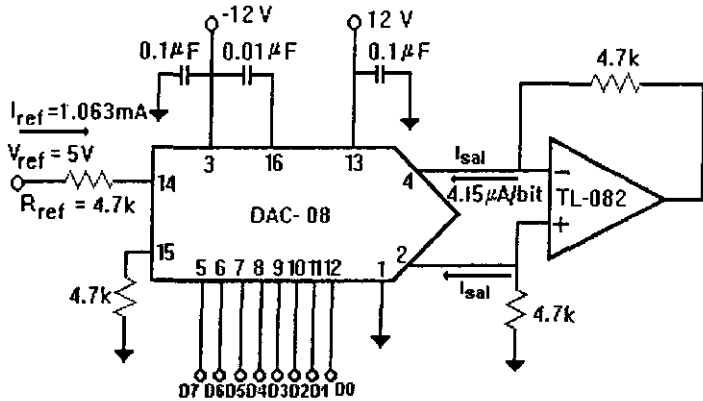


CIRCUITO DE CONTROL DE MOTORES DE TRACCIÓN

Como se explica en la capítulo 3.2 nuestro diseño se basa en la implementación de un control proporcional para motor de corriente directa (CD). El circuito de control de corriente directa es necesario para indicar al motor la velocidad exacta que debe de mantener para ciertas condiciones. El convertidor digital - analógico es quien le indica al control proporcional el voltaje que se le va a inyectar al motor. El microcontrolador es quien le manda las palabras binarias al DAC, para que las convierta en voltaje. En forma general, diseñamos un algoritmo en donde la velocidad de cada rueda depende directamente del ángulo de la dirección así como de las dimensiones del vehículo, nosotros introducimos al microcontrolador este algoritmo, junto con la lectura directa del ángulo de las ruedas delanteras con respecto al vehículo. De esta manera las palabras que el

microcontrolador manda al DAC vienen directamente del algoritmo de desplazamiento que nosotros diseñamos (cap. 2.3). En otras palabras el microcontrolador calcula las velocidades independientes de cada rueda de la dirección, y las manda a los circuitos controladores.

El DAC-08 es un convertidor digital - analógico bipolar de 8 bits. Se calculo para desplegar voltajes de -5 a 5 volts, con palabras binarias que van de 00 a FF. Enseguida explicaremos como se hicieron los cálculos para la implementación del convertidor digital - analógico, así como las características esenciales de este circuito integrado.



DAC-08 cableado para voltaje de salida bipolar

A continuación se expondrán los cálculos para el convertidor analógico digital en configuración bipolar con la siguiente convención:

- Para 00000000 → -5V
- Para 10000000 → 0V
- Para 11111111 → +5V

$$V_0 = +5V \text{ a } -5V$$

$$R_{ref} = 4.7 \text{ k}\Omega$$

$$V_{ref} = 5V$$

$$I_{ref} = \frac{V_{ref}}{R_{ref}}$$

$$I_{ref} = \frac{5V}{4.7 \text{ k}\Omega} = 1.063 \text{ mA}$$

$$\text{resolución} = (\text{valor de 1LSB}) = \frac{V_{ref}}{R_{ref}} \times \frac{1}{2^n}$$

$$= \frac{1.063 \text{ mA}}{2^8} = 1.155 \mu\text{A}$$

$$I_{\text{sal}} = (\text{valor de 1LSB}) \times D$$

D = valor decimal de la palabra de entrada digital

$$I_{\text{fs}} = (\text{valor de 1LSB}) \times 255$$

$$I_{\text{sal}} = I_{\text{fs}} - I_{\text{sal}}$$

$$I_{\text{ref}} = \frac{V_{\text{ref}}}{R_{\text{ref}}}$$

Para -5V

Palabra 00000000

$$I_{\text{sal}} = 0$$

$$I_{\text{fs}} = 1.06 \text{ mA}$$

$$I_{\text{sal}} = 1.06 \text{ mA}$$

$$R_f = \frac{V_0}{I_{\text{sal}} - I_{\text{sal}}} = \frac{5V}{0 - 1.06 \text{ mA}} = 4.7 \text{ k}\Omega$$

$$V_0 = -5 \text{ V}$$

Para 0V

Para 01111111 (cero negativo) = 127_{dec}

$$V_0 = -10.8 \text{ mV}$$

Para 10000000 (cero positivo) = 128_{dec}

$$V_0 = 8.6 \text{ mV}$$

Para 5V

Para 11111111 (escala completa positiva)

$$I_{\text{sal}} = 1.059 \text{ mA}$$

$$I_{\text{sal}} = 0 \text{ mA}$$

$$V_0 = 5 \text{ v}$$

A continuación mostraremos la obtención de los elementos electrónicos que componen el control proporcional del sistema de tracción.

En el capítulo 3.3 se determinaron las ganancias para el controlador K_p y el bloque de realimentación K_{ADJ} . Una vez conocidos dichos valores es posible calcular los elementos de los amplificadores, de acuerdo al siguiente planteamiento:

Cálculos para K_p :

Si en un amplificador inversor; $K_p = -\frac{R_{Fp}}{R_{ip}}$

Entonces; $R_{ip} = -\frac{R_{Fp}}{K_p}$

Si fijamos $R_{Fp} = 2\text{ k}\Omega$ y además sabemos que $K_p = 1.16$; entonces:

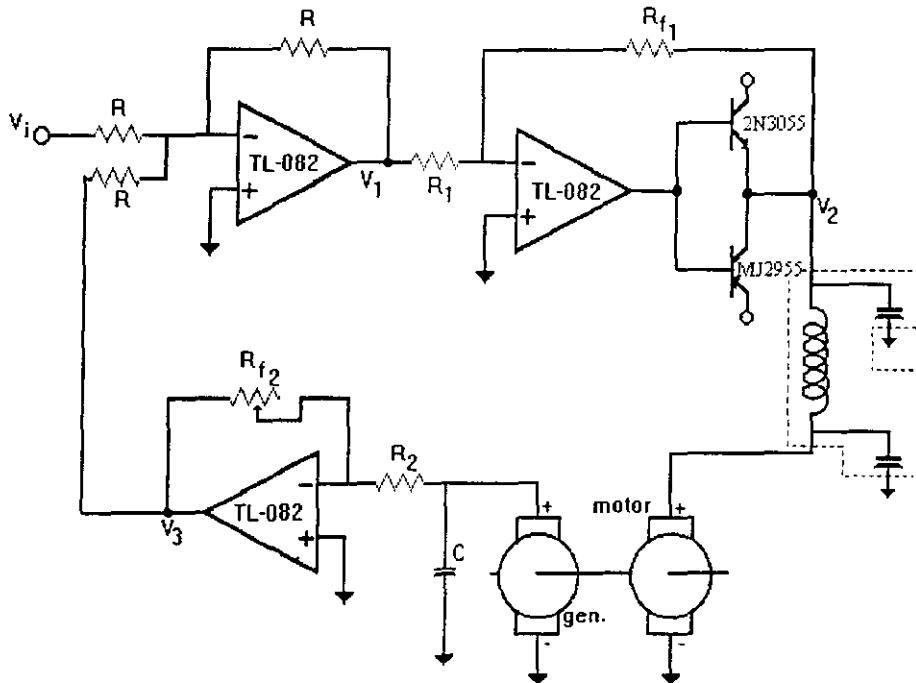
$R_{ip} = 1.72\text{ k}\Omega$

De manera similar, en los cálculos de K_{ADJ} se propuso un amplificador inversor con ganancia de 2.1; con objeto de tener un margen de ajuste a la hora de implementarlo físicamente. Para esto, los valores obtenidos fueron los siguientes:

$R_{FADJ} = 10\text{ k}\Omega$

$R_{iADJ} = 4.7\text{ k}\Omega$

La siguiente figura muestra el circuito correspondiente al bloque de control del sistema de tracción.



El primer circuito del bloque de control es un **sumador de ganancia unitaria** que recibe la señal de estado proveniente del tacogenerador. Simplemente se colocan resistencias del mismo valor para que este circuito sume las señales de entrada. La siguiente expresión muestra las relaciones que existen entre la señal de error, la señal de referencia y la señal de estado:

$$\begin{array}{l} \text{Si:} \\ V_i = V_{ref}, V_1 = V_{error} \text{ y } V_3 = V_{estado}; \text{ entonces:} \\ V_{error} = -(V_{ref} - V_{estado}) \end{array}$$

Aquí se puede ver que la señal sale invertida en su valor, pero en la siguiente etapa la señal se invierte nuevamente.

En la siguiente etapa tenemos un **amplificador inversor** con una cierta **ganancia K_p** , y en la salida un **amplificador de potencia clase B** en configuración simetría complementaria, que sirve para que el amplificador operacional sea capaz de manejar gran cantidad de corriente a la salida. La realimentación incluye el amplificador de potencia por que nos ayuda a corregir algunas deficiencias de este tipo de configuraciones, como lo es el efecto de sobre cruce. Este circuito obedece a la siguiente ecuación.

$$V_2 = -\frac{R_{f1}}{R_1} V_1$$

Hay que hacer notar que la etapa de potencia a la salida del Amplificador Operacional tiene la capacidad de manejar grandes corrientes en ambos sentidos. La corriente que puede manejar este circuito depende directamente de los elementos que lo componen, en este caso dos transistores de aproximadamente $I_c = 3 \text{ A}$.

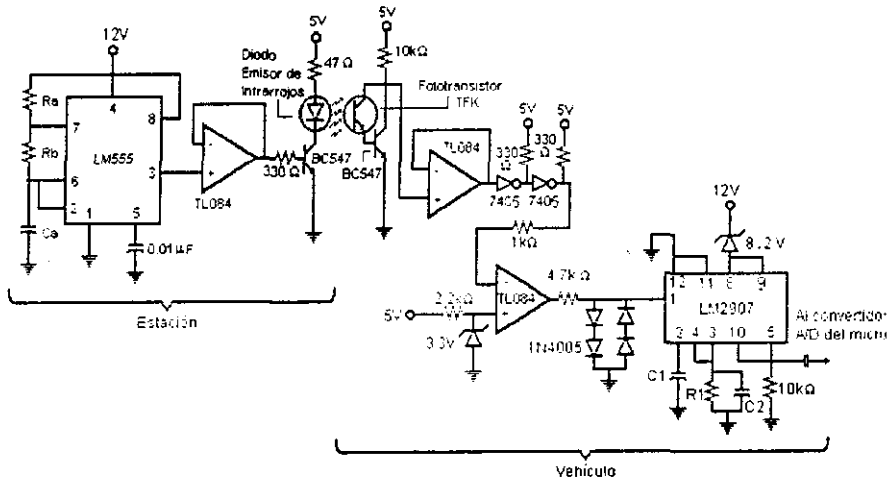
En el lado derecho del circuito aparece una bobina de choke, con un capacitor en cada extremo a tierra, y no es mas que un filtro paso bajas, el cual nos ayudo de manera muy significativa a filtrar el ruido de nuestros motores y generadores.

Tanto el motor como el generador tienen una flecha común, de esta manera las RPM's del motor son las mismas del tacogenerador. Esto es una condición indispensable para el correcto control de la velocidad. La señal que sale del generador no es constante en el estricto sentido, si no que tiene un voltaje de rizo, de manera que el capacitor que esta a su izquierda nos sirve para suavizar de manera significativa estos pequeños picos de la señal generada.

El amplificador de la izquierda, nos sirve para regular la ganancia de la señal de estado que proviene del generador, anteriormente se explica la importancia de tener esta ganancia en un cierto valor, con fines de tener un control mas preciso del motor. La resistencia variable de la realimentación del amplificador (R_{FADJ}) nos sirve para regular de forma practica esta ganancia (K).

3.4.4 Sistema de detección de estaciones

El siguiente circuito muestra la implementación del sistema detector de estaciones, que se basa en la detección de n diferentes frecuencias, una para cada estación en particular. Esto hace posible que el vehículo sea capaz de reconocer en particular cada una de las n estaciones en la ruta que recorre.



Sistema de Transmisión - Detección de estaciones

En el circuito podemos ver que en la estación tenemos un sistema de transmisión de infrarrojos, que es idéntico al sistema de transmisión del circuito de sensado de pista, que ya ha sido explicado con anterioridad. Solamente hay que sintonizar el circuito a la frecuencia deseada dentro del rango que nosotros propusimos (0 -3KHz).

Como se puede ver, sobre el vehículo se monta el circuito detector de infrarrojos (que es parecido al de detección de pista). En este caso se monta un comparador con un voltaje de referencia de 3.3V, que sirve para desplazar la señal salida de los inversores (que es de 0 a 5V) a 12 Vp hacia abajo, para convertirla en señal de CA. Esto se hace por que el circuito LM2907 solo acepta

señal de alterna en la entrada. El arreglo de diodos que se encuentra a la entrada del LM2907 es un sujetador de voltaje, el cual permite que la señal de alterna varíe entre +1.4 V y -1.4 V.

En capítulos anteriores ya hablamos del convertidor de frecuencia a voltaje LM2907, que sirve para que la frecuencia que se capta en la estación sea convertida en un voltaje que oscila entre 0 y 5V, para que pueda ser manejada por el convertidor A/D del microcontrolador.

El LM2907 se rige por las siguientes ecuaciones:

$$C_1 = \frac{I_1}{f_{max} V_{cc}}$$

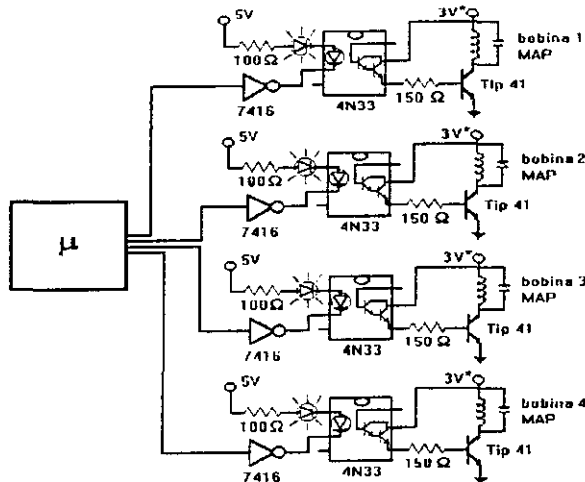
$$R_1 = \frac{V_o}{V_{cc} C_1 f}$$

$$C_2 = \frac{C_1 V_{cc}}{2 \frac{dv}{v}} \left(1 - \frac{V_{cc} C_1 f_{min}}{I_1} \right)$$

Calculamos el convertidor para 3 KHz con los siguientes datos:
 $V_{cc}=8.2V$, $V_o=5V$, $f_{max}=3\text{ KHz}$, $f_{min}=300\text{ Hz}$, $dv=1\%$ de V_o
 $C_1=7.2nF$, $R_1=27k$, $C_2=560\mu F$

3.4.5 Interface electrónica de la dirección

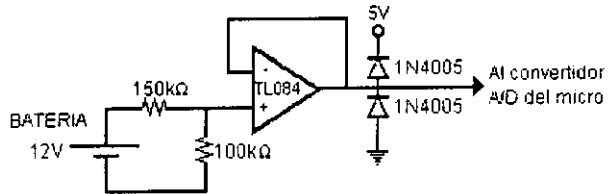
El motor a pasos que controla la dirección es controlado a su vez por el microcontrolador. Entre el microcontrolador y el MAP se encuentra la Interface electrónica de la dirección, que sirve para desacoplar el MAP que maneja una cantidad de corriente considerable (1.2 A). A continuación se muestra este circuito.



El circuito 7416 es una compuerta lógica (inversor), con salida en open-colector; este inversor proporciona un acoplamiento entre el opto-acoplador y el microcontrolador, además de proporcionar un manejo de corriente (es un driver) a

la salida del divisor y la entrada PD7 del microcontrolador. Por otra parte, la función que desempeña el arreglo de diodos es proteger la entrada PD7 contra tensiones mayores a 5V, ó en su defecto, voltajes negativos.

La siguiente ilustración muestra el circuito correspondiente al monitoreo energético de baterías.



3.5 PROGRAMACIÓN

En esta sección expondremos la forma en que se diseñó el programa del prototipo de AGV. Sin embargo es necesario aclarar que para comprobar el funcionamiento en campo del diferencial eléctrico, el sistema de sensado de pista, el sistema de tracción, así como el sistema de dirección; se prescindió del bloque referente al monitoreo energético de baterías, y del bloque de detección y programación de estaciones. Lo anterior es de suma importancia, ya que no hay que perder de vista que los objetivos de este trabajo es presentar un diseño de AGV basado en un diferencial eléctrico; y para comprobar la validez de dicho diferencial, se hace indispensable una construcción física de los sistemas involucrados.

En forma general el AGV es controlado por un microcontrolador de 8 bits (MC68HC11F1) que se puede programar en lenguaje ensamblador propio de Motorola. Este programa se introduce en formato binario en la memoria EEPROM externa que se adicionó al microprocesador. Es pues el microcontrolador quien indica las funciones básicas que debe realizar el AGV como son:

- a) Captar las señales provenientes del sistema detector de trayectoria (pista).
- b) Deducir el ángulo que tiene en cierto momento la dirección.
- c) En base a lo anterior, aplicar la diferencia de velocidades que deben tener en cada momento cada uno de los motores de la tracción independiente, utilizando el algoritmo de control para esto.
- d) Recibir y procesar las señales provenientes de otros sistemas periféricos, tales como el sistema detector de estaciones, sistema detector de obstáculos, sistema detector de carga en baterías, sistema de comunicaciones con el exterior, etc.
- e) Detener o hacer avanzar al vehículo de acuerdo a las señales externas.
- f) Desplegar el estado de los sistemas periféricos como la cuenta del motor de pasos de la dirección, los detectores de pista, de obstáculos, de carga en baterías, etc.

El programa que se diseñó para realizar las funciones listadas anteriormente se explica a continuación, basados en la forma lógica de presentar una documentación de software : Algoritmo, Pseudocódigo, Diagrama de flujo y Listado.

Como primer paso se debe plantear el problema, que en forma general es *que el vehículo siga la trayectoria utilizando el algoritmo previamente establecido, y detecte las señales de los sistemas periféricos*. En este caso se presenta el siguiente algoritmo basados en lo expuesto en los capítulos:

- 3.1 *Diseño de los sistemas de sustentación mecánica.*
- 3.2 *Diseño de los sistemas de actuación y sensado.*
- 3.4 *Diseño de los sistemas electrónicos.*

Algoritmo:

- 1) Detecta el estado de las señales externas de prioridad (baterías, estaciones, pista)
- 2) Realiza un alto total si:
 - i) El estado energético de las baterías no es el óptimo.
 - ii) La estación detectada corresponde con la estación programada.
- 3) Avanza si:
 - i) El estado energético es aceptable
 - ii) La estación le indica que puede reiniciar la marcha.
 - iii) La estación detectada no coincide con la programada.
- 4) Lee el estado de los sensores de pista.
- 5) Corrige la dirección basándose en los sensores de pista (para mantener la trayectoria).
- 6) Corrige la tracción independiente (diferencial eléctrico) basándose en el ángulo de la dirección. (corrige M_1 y M_2).
- 7) Regresa a 1).

El Diagrama de flujo del AGV muestra de manera general una idea de los procesos y subrutinas que sigue el programa para controlarlo.

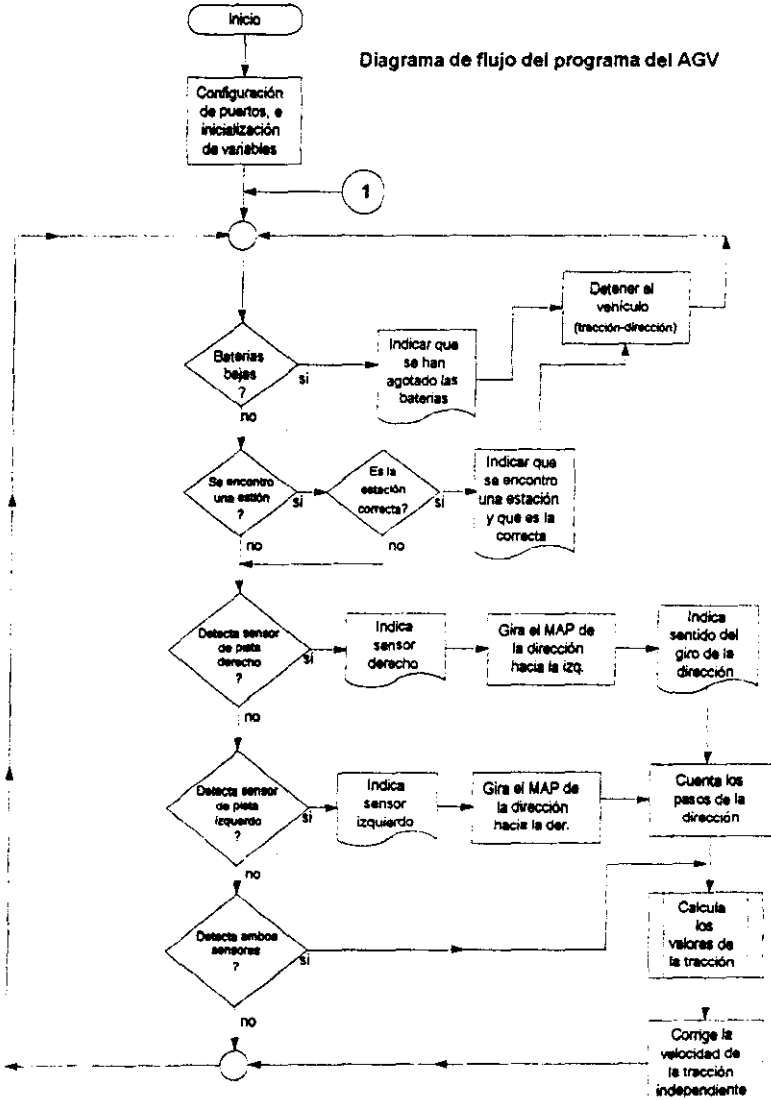
El primer proceso que se lleva a cabo es el de configurar los puertos y periféricos, inicializar las variables, y configurar registros de control específicos del Microcontrolador.

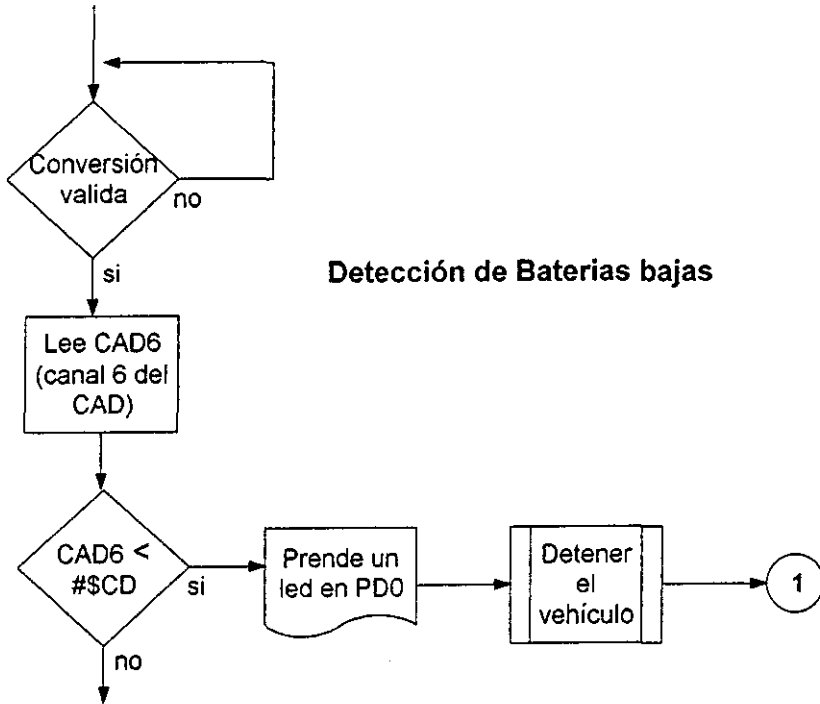
Los siguientes tres pasos que realiza el programa son el consultar a las señales externas que provengan de los circuitos de detección periférica, como son el detector de carga en las baterías y el detector de estaciones. Es obvio que si alguna de éstas señales (que pueden ser muchas más de las que aquí se mencionan) resulta ser positiva (1 lógico) el auto entra en una subrutina de frenado, además de indicar mediante un led la señal que está impidiendo que el vehículo continúe su marcha, como por ejemplo que encontró una estación que se le pidió al vehículo buscar.

Como se puede observar en el diagrama de flujo 3, el programa permite indicar al vehículo que encuentre una estación en particular. además de ser capaz de distinguir una estación de otra. Esto se logra, como ya se explicó, asignando una señal de cierta frecuencia a cada estación, de tal manera que por medio del detector de estaciones, el microcontrolador pueda diferenciar frecuencias asociadas a cada estación.

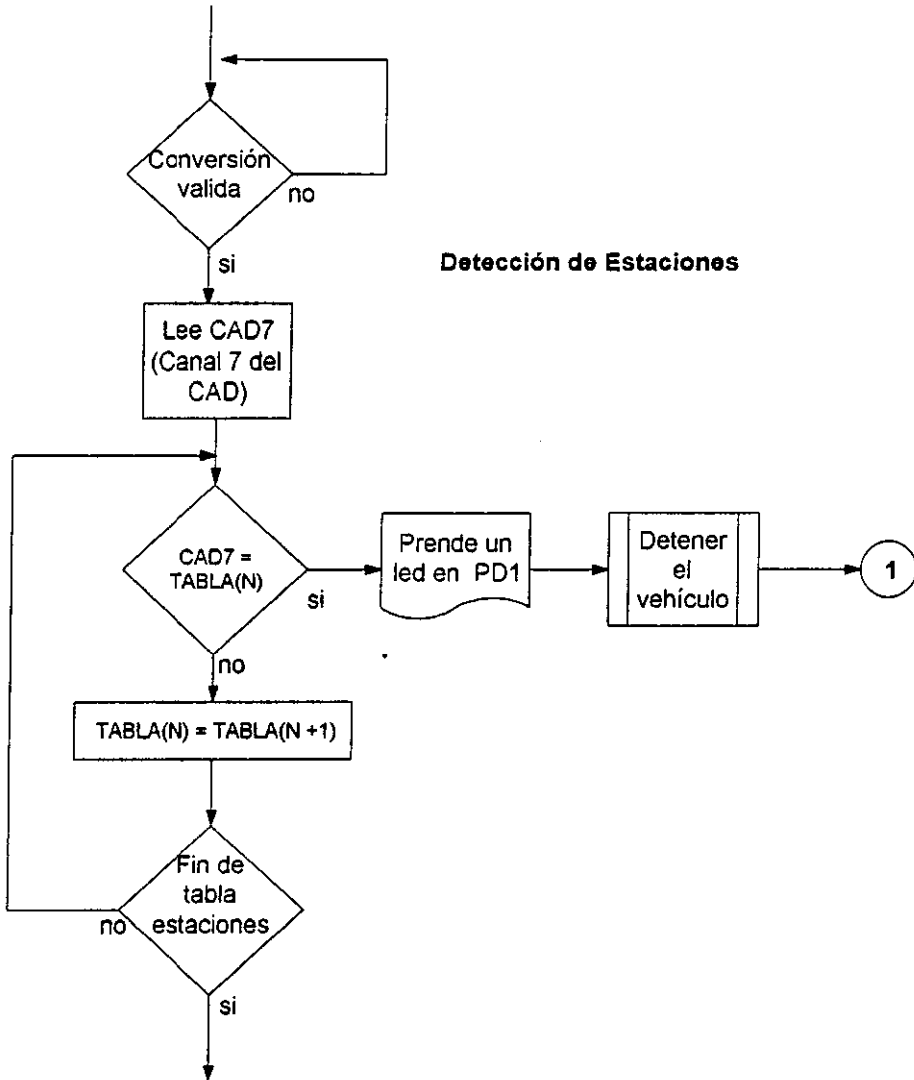
La subrutina de paro (que se explicará a detalle posteriormente) es muy simple, y permite que el propio vehículo detecte cuando la señal que lo ha detenido desaparezca, por ejemplo, cuando la estación deja de emitir señal para que el vehículo continúe su recorrido.

Como se puede ver en el diagrama, después de pasar por la detección de las señales externas, el programa comienza con la sección de detección y seguimiento de pista. Primero lee los sensores de pista y los compara con 1-0, 0-1 o 1-1, esto para saber si se encuentra en cada momento sobre la pista o hacia donde se desvía (derecha o izquierda).



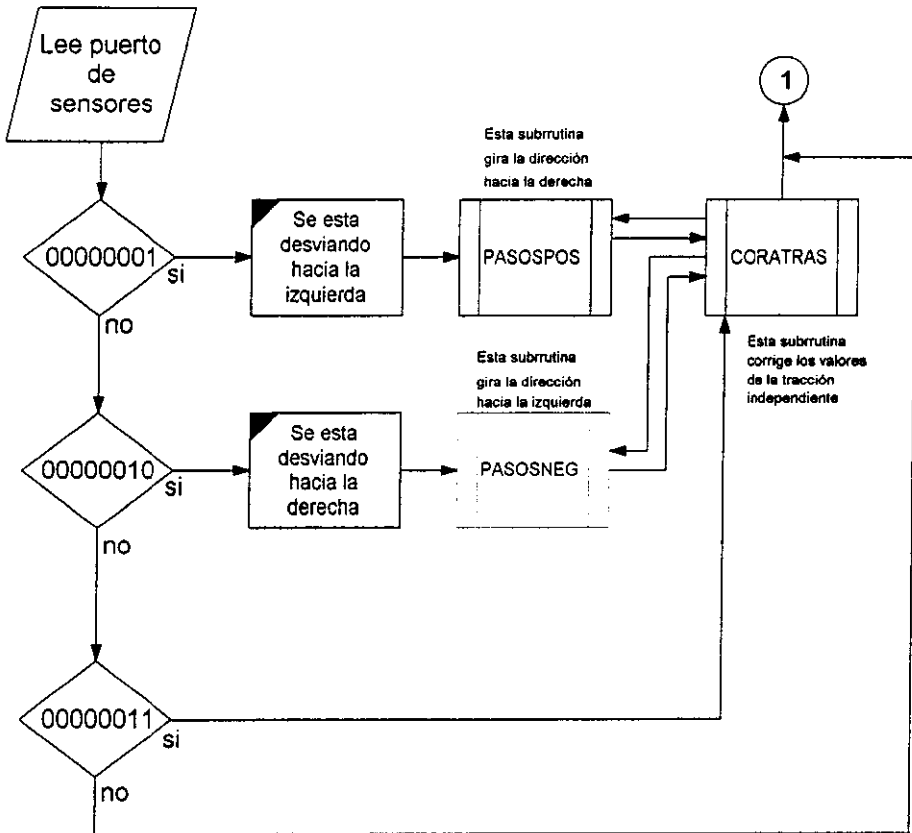


El circuito detector de baterías se reduce a un divisor de tensión conectado entre la batería y un canal de CAD del Microcontrolador. El divisor de tensión nos da un voltaje proporcional al de las baterías. El programa compara el valor obtenido de CAD con un valor preestablecido por nosotros como valor de batería baja. Si el valor es menor que el de batería baja, entonces el vehículo entra en una subrutina de paro, además de indicar por medio de un led que la batería tiene que ser recargada o cambiada.



Para detectar una estación en particular anexamos a la memoria una tabla donde indicamos cada una de las estaciones que el vehículo debe encontrar para detenerse. El programa es capaz de leer una palabra asociada a la frecuencia de cada una de las estaciones a través de un canal del CAD. Como se observa en este diagrama el programa lee cada uno de los valores de la tabla de estaciones y lo compara rápidamente con el valor de la estación detectada; si coinciden, entonces el vehículo se detiene, de lo contrario éste sigue su marcha. Si el vehículo está detenido en una estación válida, espera a que la estación deje de emitir señal, entonces el programa indica que debe reiniciar su recorrido.

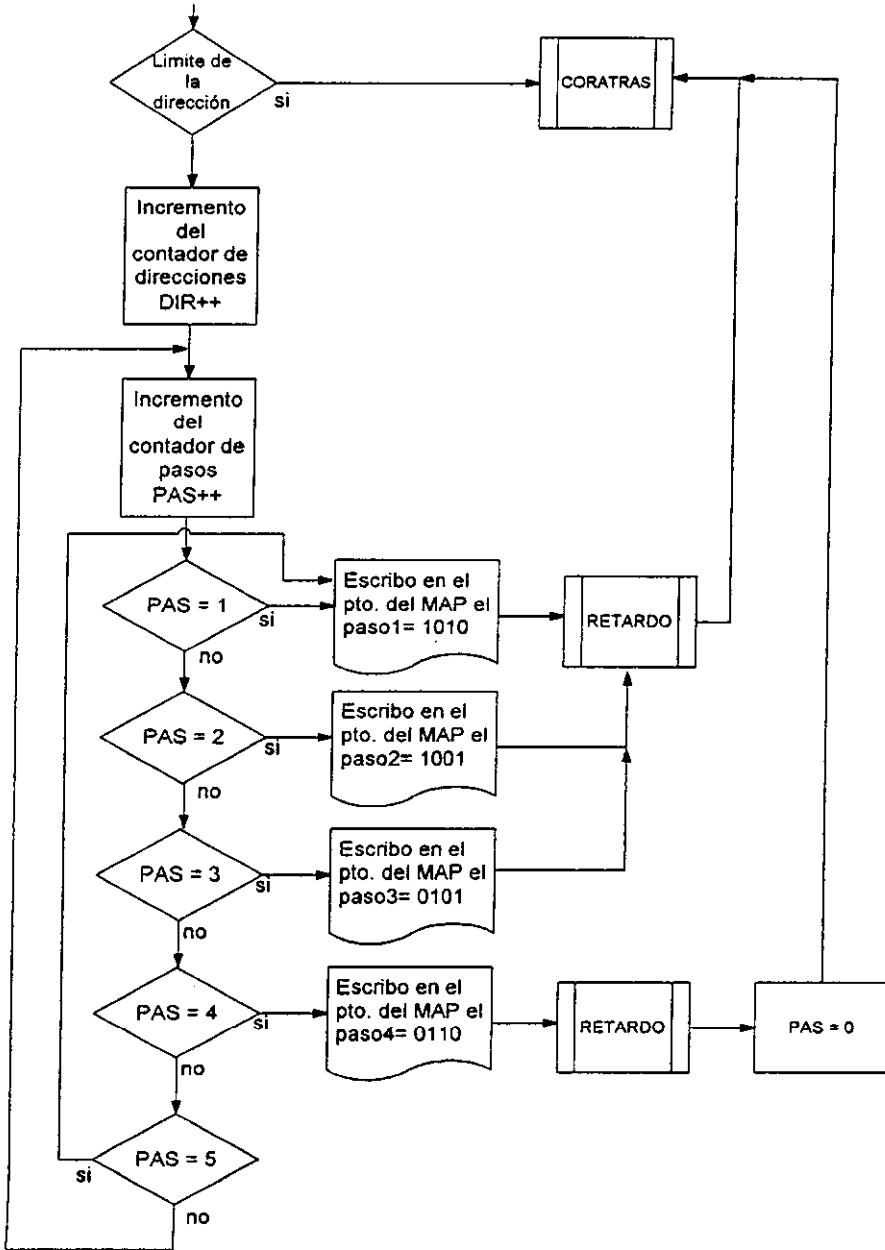
Lectura de sensores



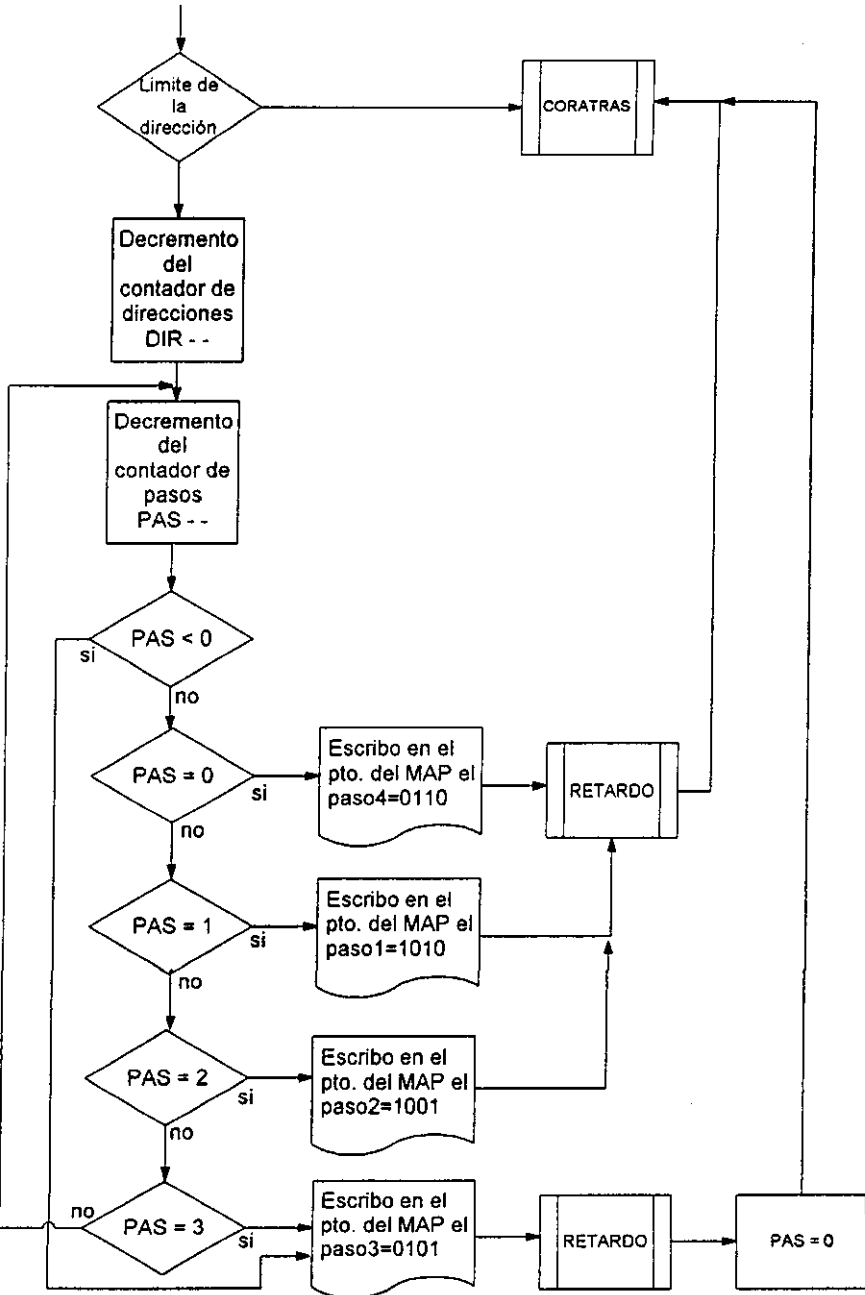
Para que el AGV sea capaz de seguir la pista, el programa lee los datos del sistema detector de pista, que consta de dos sensores, dependiendo de los valores leídos, el programa decide si debe girar la dirección hacia la derecha, izquierda o la mantiene fija. Después de esto, el programa entra a la subrutina de corrección de la tracción independiente (CORATRAS), y regresa al inicio.

Para hacer girar la dirección (subrutina PASOSPOS), el programa escribe en el MAP cada uno de los pasos de la secuencia de paso completo. Estos pasos se guardan en un contador que sirve para saber en que paso se debe regresar en un cambio del sentido de giro. Después de aplicar cada uno de los pasos el programa entra en una subrutina de retardo que tiene que ver con el tiempo mínimo de respuesta del MAP, pues se debe cuidar que este sobrepase su frecuencia de operación, sin caer en una lentitud extrema. La subrutina PASOSNEG hace algo equivalente para girar el MAP en sentido contrario.

Subrutina PASOSPOS



Subrutina de PASOSNEG



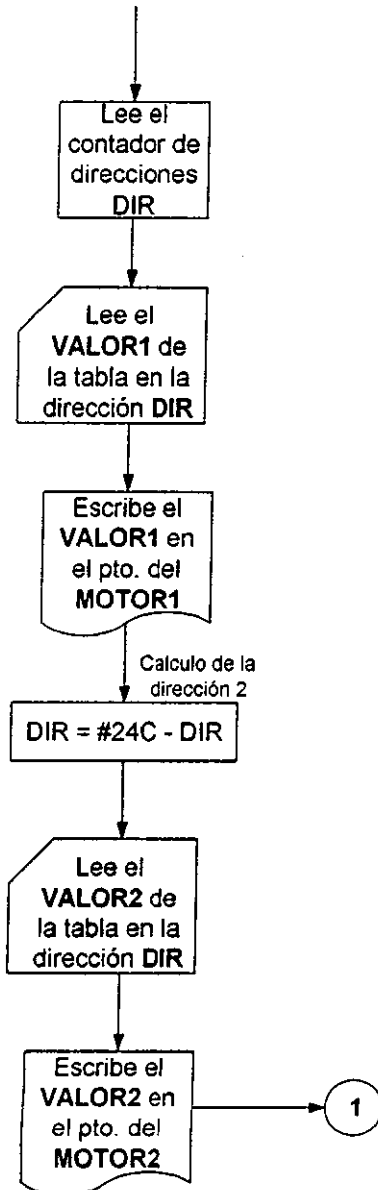
Subrutina CORATRAS

En esta subrutina indicamos como es que el programa toma los valores previamente calculados (colocados en una tabla), y los aplica a cada uno de los motores del diferencial eléctrico.

En primer lugar se tiene un "contador de direcciones" (direcciones de la tabla) que contiene la dirección donde está colocado el valor de velocidad correspondiente al ángulo que tiene en ese momento la dirección. El programa toma ese valor del número de pasos que ha dado el MAP. En seguida lee y escribe el primer valor de la tabla en el puerto del Motor1. Aquí debemos aclarar que la tabla tiene los valores de velocidad desde el mayor, hasta el menor, con la velocidad cruceo colocada a la mitad de ésta. Cuando el vehículo arranca el programa debe iniciar en la velocidad cruceo y sobre la pista, esto es, debe escribir en ambos motores el valor medio de la tabla.

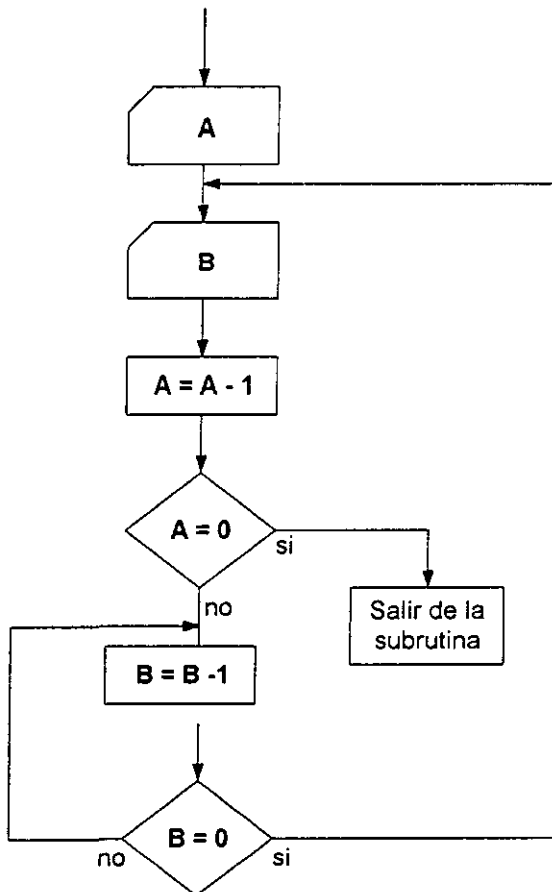
Para obtener el Valor 2 de velocidad, el programa calcula en base al Valor1, la dirección simétrica respecto al centro de la tabla. Se hace de esta manera por que si el centro de la tabla es la velocidad cruceo, entonces conforme la dirección gira un mayor ángulo, la diferencia de velocidad se incrementa, es decir se desplaza hacia los extremos de la tabla. Una vez calculado y leído el Valor2, se escribe en el puerto del Motor2 y se regresa al inicio.

Cabe aclarar que la obtención de la tabla de velocidades del vehículo se explicará a detalle en el apéndice B.



El siguiente diagrama de flujo muestra la subrutina de retardo, que se aplica cada vez que el MAP da un paso. Lo que se hace es entrar en dos ciclos de decremento, cada uno para una variable de entrada distinta, y sale del retardo cuando ambas variables llegan a cero. Del valor de cada una de éstas variables, depende el retardo en milisegundos que se tiene para dar tiempo al MAP de dar un paso. Se debe aclarar que a este retardo se le suma todo el tiempo que tarda el programa en procesar el resto de las subrutinas y procesos.

SUBROUTINA DE RETARDO



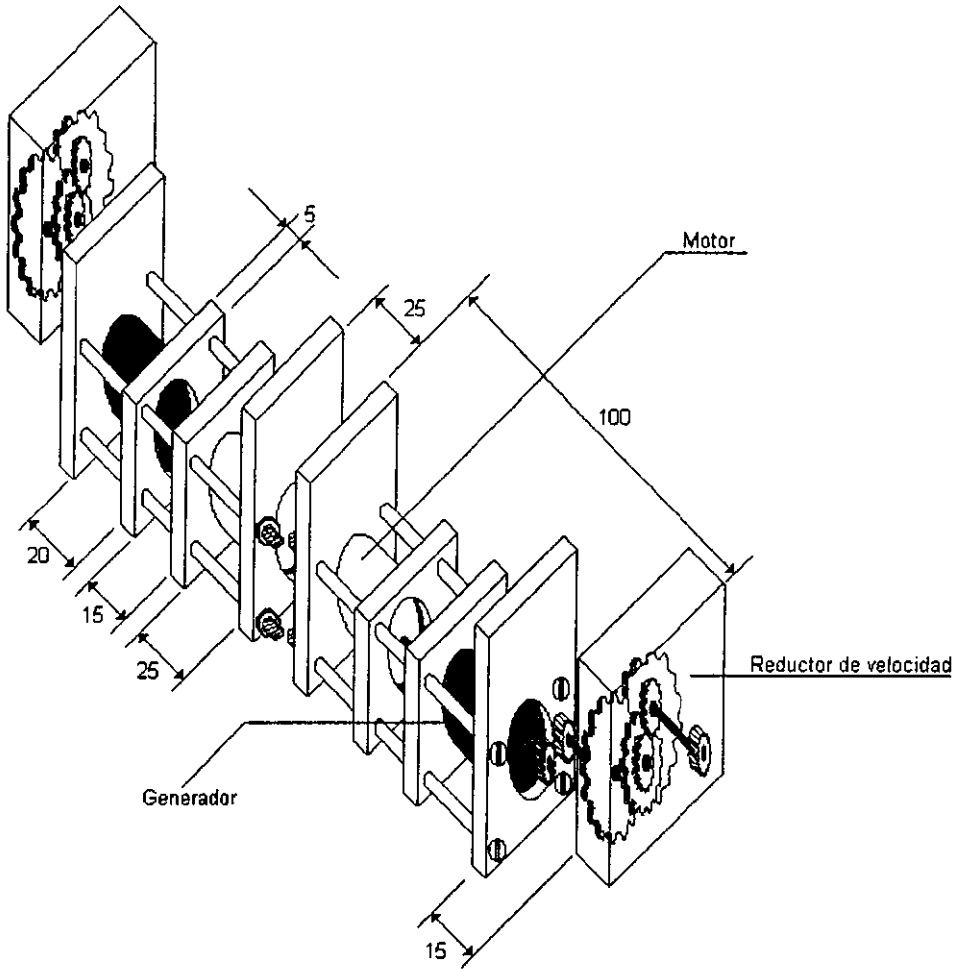
4

CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLADO Y PRUEBAS DE SUBSISTEMAS

4.1 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLADO DE SUBSISTEMAS

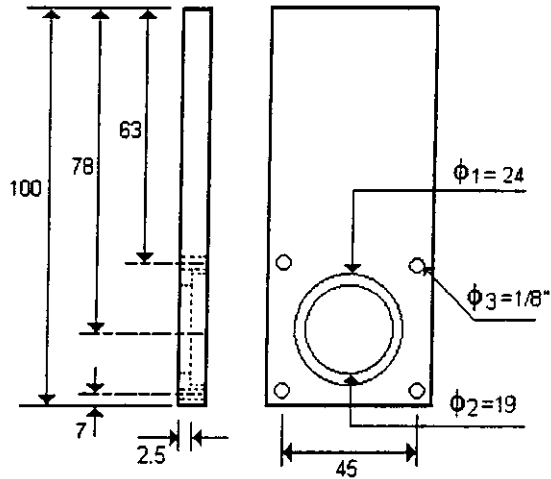
El primer paso que se dio para la construcción física de algunos sistemas del AGV, fue hacer un diseño del sistema de tracción, ya que como se mencionó en el capítulo 3.1; el diferencial depende de la geometría del vehículo; es decir de la distancia que exista entre las ruedas tractoras y directoras.

Debido a que se tiene que unir mecánicamente los rotores del motor y generador, con el eje del reductor mecánico, se propuso un sistema mecánico que fuera simple en su fabricación y a la vez que tuviera un bajo costo; lo que dio como resultado el siguiente sistema mecánico :

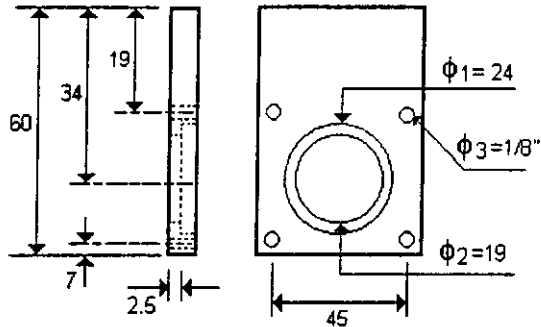


Croquis 1

Cabe mencionar que todos los croquis de construcción están acotados en milímetros.

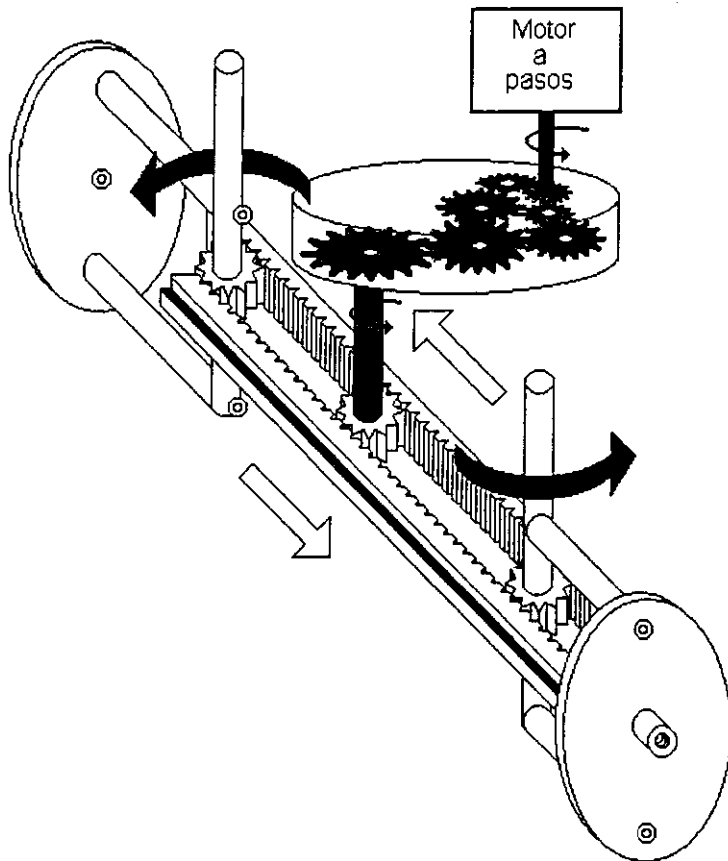


Croquis 2

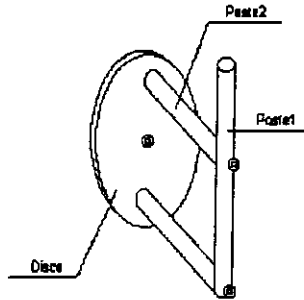


Croquis 3

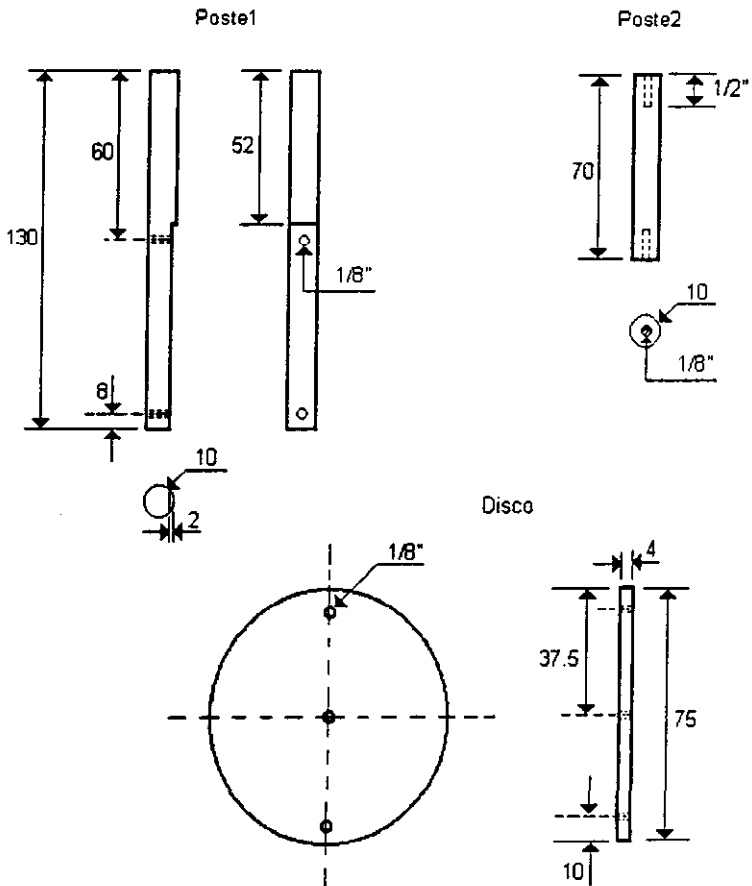
Inmediatamente después de que se tuvo el diseño para la tracción; atacamos el sistema mecánico para la dirección, tomando en cuenta que dicho sistema tenía que ser capaz de proporcionar una resolución de hasta 1.8 grados, ya que esa magnitud corresponde a la del motor a pasos; todo esto trajo como consecuencia el plantear el siguiente diseño :



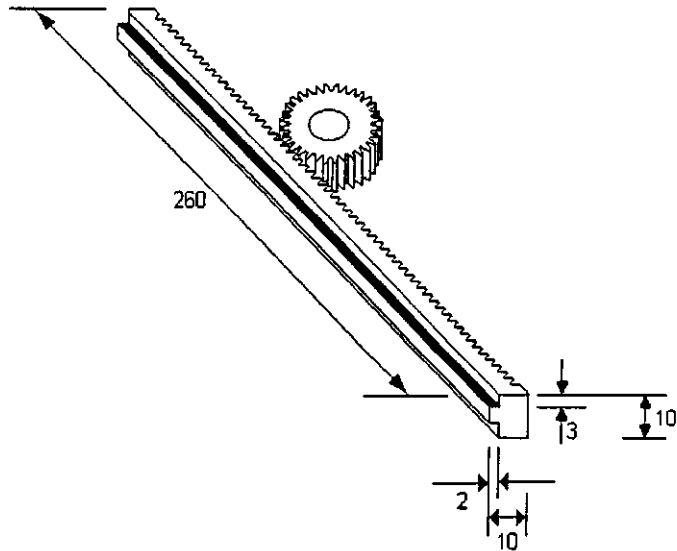
Croquis 4



Croquis 5



Croquis 6



Croquis 7

Desde luego; a excepción del reductor de velocidad, el cual fue adquirido; se realizaron algunos cálculos para la fabricación de los engranes, los cuales también sirvieron para la construcción de las cremalleras. Cabe mencionar que para el cálculo se tomaron en cuenta los cortadores disponibles en el taller donde se fabricaron.

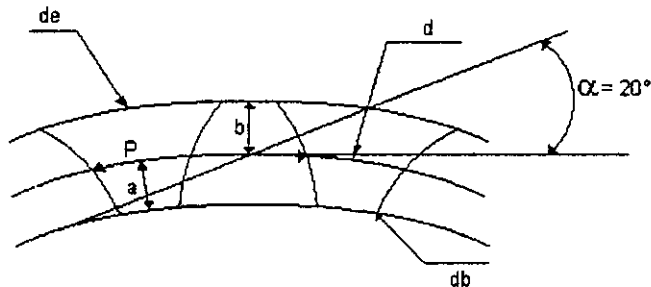


Fig. 4.1.1

Donde :

α : ángulo de presión

d_e : diámetro exterior $d_e = m \times (z + 2)$

d : diámetro primitivo $d = m \times z$
 db : diámetro base $db = d \cos \alpha$
 a : addendum (cabeza del diente) $a = 1 \times m$
 b : dedendum (base del diente) $b = 1.25 \times m$
 m : módulo $m = d / z$
 z : número de dientes $z = d / m$
 h : profundidad del diente $h = 2.25 \times m$
 P : paso circular del diente $P = \pi \times m = \pi \times (d / z)$

Cálculos :

Como se mencionó anteriormente, los cálculos se realizaron a partir del cortador a emplear, el cual es del número 3 y paso diametral de 28.

A continuación como todos los cálculos se basan en el sistema módulo, entonces decidimos proponer un valor típico de módulo m ; así como el número de dientes z . Es importante citar que por razones del tamaño que tomaría el engrane, se decidió elegir a 35 como el número de dientes.

Para el engrane :

$m = 0.907$
 $z = 35$
 $de = 0.907 \times (35 + 2) = 33.559 \text{ mm}$
 $d = 0.907 \times 35 = 31.745 \text{ mm}$
 $db = 31.745 \cos 20^\circ = 29.830 \text{ mm}$
 $a = 1 \times 0.907 = 0.907 \text{ mm}$
 $b = 1.25 \times 0.907 = 1.133 \text{ mm}$
 $h = 2.25 \times m = 2.040 \text{ mm}$
 $P = \pi \times 0.907 = 2.849 \text{ mm}$

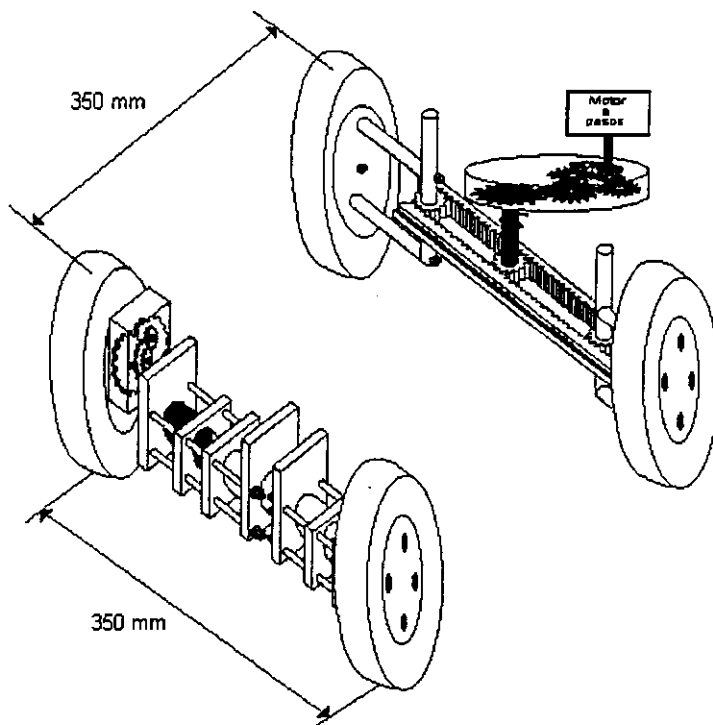
Cremallera :

En este caso, solo se le dió la dimensión del largo, además del área de la sección transversal; y se utilizaron los mismos cálculos del engrane, dado que la cremallera se considera un engrane pero con radio infinito.

$L : 260 \text{ mm}$
 $A : 1 \text{ cm}^2$

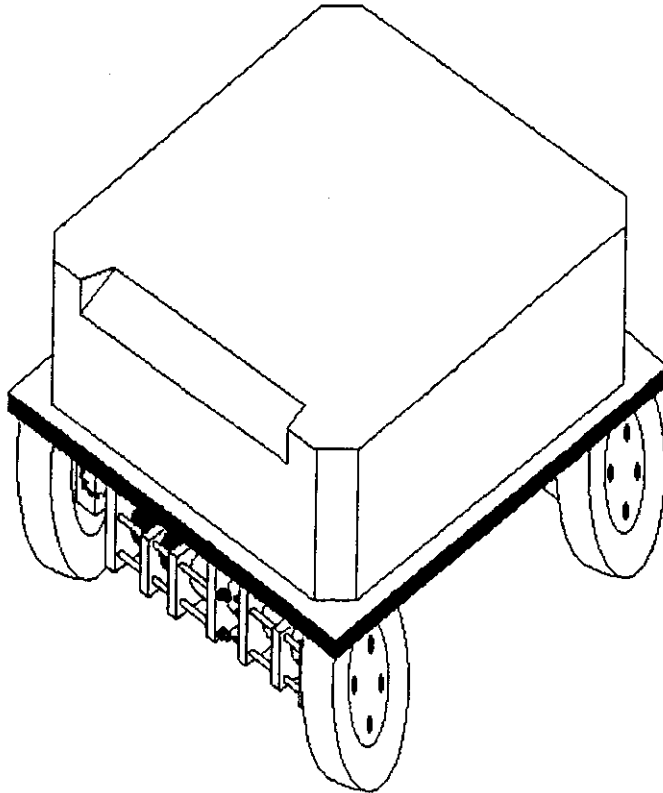
Como se podrá observar en el croquis 8; cuando ya se disponía de los sistemas de tracción y dirección, lo que hicimos fue dimensionar la distancia que existiría entre todas las llantas. Es importante mencionar que con éstas dimensiones y tomando en cuenta las ecuaciones 3.1.1, el vehículo es capaz de

dar una vuelta mínima aproximada de 16 centímetros, respecto al punto central que existe entre las dos ruedas tractoras (Rc) y el centro de la rotación (o).



Croquis 8

Lo último que se construyó fue una base sobre la cual se fijaron los sistemas de tracción y dirección, así como un chasis; lo que trajo como consecuencia la siguiente presentación final del vehículo.



Croquis 9

4.2 Pruebas realizadas a cada subsistema

En esta sección, abordaremos las dificultades que se tuvieron al implementar y probar los subsistemas; así como la manera en que se dio solución. Para esto lo dividiremos en las siguientes partes :

1) Sistema de sensado de pista :

El problema en este sistema consistía en que debido al alto ruido generado por los motores, la etapa de recepción de la señal reflejada por la pista; no respondía el circuito LM567. En principio éste circuito fue concebido para proporcionar un drenaje de corriente como respuesta a una frecuencia previamente fijada en su entrada.

Naturalmente, como no había un drenaje de corriente proporcionado por este dispositivo, por lo tanto el transistor encargado de suministrar estados lógicos al microcontrolador, estaba siempre en estado de corte. Es por lo anterior que se decidió colocar un convertidor de frecuencia a voltaje, el cual es menos susceptible al ruido y además se calculo de tal manera que al momento de detectar la frecuencia de interés, éste proporcionara un nivel lógico de "1" y en caso contrario un "0" lógico.

A continuación se muestran los cálculos del convertidor de frecuencia a voltaje:

Partiendo de las siguientes ecuaciones:

Calculamos el convertidor para 300 Hz con los siguientes datos:

$V_{cc}=8.2V$, $V_o=5V$, $f_{max}= 300$ Hz, $f_{min}=30$ Hz, $dv= 1\%$ de V_o

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{I_1}{f_{max} V_{cc}} \\ R_1 &= \frac{V_o}{V_{cc} C_1 f} \\ C_2 &= \frac{C_1 V_{cc}}{2dV} \left(1 - \frac{V_{cc} C_1 f_{min}}{I_1} \right) \end{aligned}$$

$C_1=72nF$, $R_1=27k$, $C_2=5.6uF$

Finalmente calculamos el convertidor para 3 KHz con los siguientes datos: $V_{cc}=8.2V$, $V_o=5V$, $f_{max}= 3$ KHz, $f_{min}=300$ Hz, $dv= 1\%$ de V_o

$C_1=7.2nF$, $R_1=27k$, $C_2=560uF$

En el diagrama del circuito general se pueden ver éstas modificaciones que comentamos con anterioridad.

2) Sistema de tracción :

El problema básico en este sistema fueron los motores de D.C., ya que éstos viciaban de ruido a las líneas de alimentación; y en muchos casos era la causa del mal funcionamiento de los circuitos electrónicos, entre los cuales estaban el microcontrolador.

En un principio se pensó solucionar este problema aislando completamente al microcontrolador; sin embargo esto implicaba que algunos puertos fueran aislados ópticamente, ya que se conectaban directamente con etapas analógicas. También este aislamiento obligaba a incluir una fuente de alimentación extra, lo cual traería como consecuencia un aumento en el peso del vehículo.

Lo que decidimos finalmente fue colocar unas bobinas de choke en los bornes de los motores, conectar un supresor de ruido en la fuente de

alimentación del microcontrolador, así como el de colocar algunos capacitores en las pines de alimentación de los circuitos que eran mas sensibles al ruido.

3) Sensores de pista :

El problema de los sensores de pista era la ubicación, ya que cuando se ponía en marcha al vehículo, éste no tenía la capacidad de seguir la pista sin salirse. Esto era debido a que los sensores estaban fijos en el chasis de la dirección; de tal forma que cuando el vehículo se desviaba considerablemente de la pista, los sensores también lo hacían y terminaban por abandonarla completamente; por lo tanto no había forma de que los sensores encontrarán nuevamente la pista.

Después de realizar varias pruebas en la ubicación de los sensores, se llegó a la conclusión de que deberían ser móviles; es decir, se deberían mover junto con la dirección, de tal manera que cuando el vehículo se desvíe demasiado de la pista, éstos no necesariamente se tengan que salir y así el vehículo tenga la posibilidad de retomar la pista. Con éstas modificaciones se consigue no sólo que los sensores detecten una desviación; sino que además busquen en todo momento a la pista. En la figura 4.2.1 se muestra la disposición final de los sensores de pista.

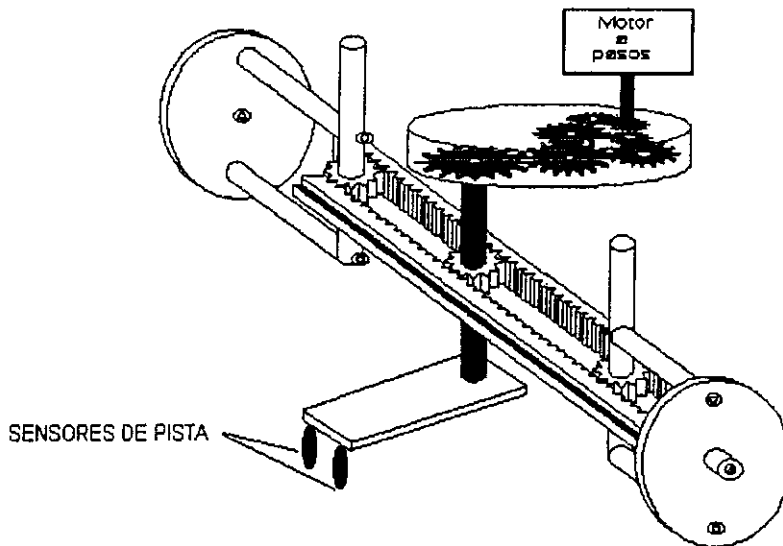


Fig. 4.2.1

CONCLUSIONES

Como se planteó en los objetivos de la tesis, este trabajo pretendió sentar las bases para el desarrollo y construcción de un Vehículo de Guía Automática basado en un Diferencial Eléctrico, y por supuesto plantear el modelo matemático del comportamiento del diferencial, el cual no estaba documentado de manera adecuada.

En primera instancia podemos manifestar que el objetivo planteado en este trabajo se ha cumplido. Se desarrolló ampliamente el modelo matemático del comportamiento cinemático del vehículo, y se construyó un modelo que demostró que las ecuaciones se pueden aplicar en la realidad, con resultados suficientemente satisfactorios.

Además de incluir en el modelo del vehículo el diferencial eléctrico, se implementaron también otros sistemas electrónicos y de control que arrojaron los resultados ya comentados en el capítulo cuatro.

Algunos sistemas resultaron con un funcionamiento por completo satisfactorio, como lo fue el sistema de detección de pista y el diferencial en sí mismo. Este trabajo incluye el desarrollo del sistema de dirección, el diferencial eléctrico, el sistema detector de pista, sustentación mecánica y el microcontrolador. Los otros sistemas periféricos como el detector de estaciones, el monitor de carga en baterías se diseñaron como un complemento del presente trabajo, y no estaban contemplados en los objetivos de la tesis.

Se puede notar que los sistemas de detección de estaciones y de pista se basan en transmisión y detección de rayos infrarrojos, estos funcionaron muy bien, pero son susceptibles a ser afectados por factores ambientales, como el ruido electromagnético y la iluminación. Es por esta razón que se colocaron filtros tanto para el ruido electromagnético, como para la luz visible en los detectores.

El sistema de detección de estaciones se probó de manera general para dos estaciones, y el vehículo logró detectar y reconocer cada una de las estaciones en particular. Debido a que los sensores de estación tienen un ancho de banda limitado, se debe considerar que el número máximo de estaciones que se puedan reconocer será limitado.

Algo que resultó especialmente satisfactorio dentro de la tesis, fue el lograr desarrollar temas en los que se había abordado de manera escasa en la bibliografía que esta disponible para el público en general, y que son de considerable importancia para el desarrollo de un vehículo.

Debemos comentar que originalmente se pretendía construir un AGV que tuviera las características propias de los modelos comerciales, y también

contemplábamos la posibilidad de que el vehículo se aplicara en un sistema de manufactura flexible real, pero por supuesto se pretendía algo demasiado ambicioso (por lo menos para el número de personas que participo en la tesis). Posteriormente los objetivos de este trabajo se replantearon de manera más realista, de forma que se logaran alcanzar y desarrollar metas más significativas, desde el punto de vista de investigación y desarrollo.

Una ventaja que podemos mencionar de nuestro trabajo sobre los que se hacen en otros países, es la sencillez con que se puede implementar un vehículo funcional, contra los sofisticados sistemas de tracción que tienen los AGV's comerciales. El costo de un AGV en el extranjero es muy variado, y depende del objetivo que deba cumplir y la calidad con que desempeña sus labores. La propuesta de construcción que se hace en esta tesis para un vehículo simple tiene un costo de algunos miles de pesos, cuando los AGV's importados cuestan algunos miles de dólares.

Debemos mencionar que nuestro modelo de AGV queda muy lejos de cumplir con estándares de calidad básicos, pues no pretendíamos que este se aplicara a un SMF real. Los recursos con que se contaron para la realización de esta tesis fueron escasos en realidad, y nunca se pretendió que el vehículo fuera más que un modelo funcional de nuestra teoría. Es por esta razón que se puede notar que el AGV fue construido con materiales no apropiados, cuidando siempre que no resultara excesivamente caro. La base del vehículo fue hecha de acrílico, los motores son de uso genérico y no para robótica, etc. Todo esto fue causa de que el modelo no tuviera un desempeño perfecto. Lo deseable hubiese sido contar con más recursos económicos y un taller mecánico que construyera las piezas mas complicadas.

Es importante comentar que debido a nuestra poca experiencia en diseño mecánico, nuestra mayor dificultad fue la construcción de la parte mecánica del modelo como son la base, la dirección y, sobre todo, la tracción independiente, la cual incluía la caja de los motores y engranes. Por el contrario, de los sistemas electrónicos podemos decir que cumple perfectamente con los objetivos que se plantearon; incluso se diseño de tal manera que las ampliaciones y adiciones de sistemas periféricos, se pueden realizar sin mayor dificultad, además de que se puede mejorar el desempeño del AGV simplemente con modificaciones de software.

Se pueden hacer innumerables mejoras al modelo que se construyó, como lo es el sistema de corrección de la tracción independiente. Ya se comentó que este sistema se basa en la medición del ángulo de las ruedas de la dirección, con el cual se corrige la velocidad de las ruedas tractores. El ángulo de la dirección se basa en la cuenta de pasos del motor paso a paso que controla la dirección. Lo que se debe hacer en lo sucesivo es aplicar una medición real del ángulo de las

ruedas frontales con respecto al vehículo, pues la medición del ángulo a través de la cuenta de pasos conlleva una gran incertidumbre. Por supuesto que el hecho de medir el ángulo de las ruedas no es algo fácil, pues hay que implementar algún sistema electrónico o mecánico, lo cual significa invertir más tiempo en el desarrollo del vehículo.

Por las propias limitaciones físicas de la dirección, el ángulo que puede girar el modelo del AGV es limitado (68° de la dirección). Sin embargo la teoría planteada en esta tesis, establece que la dirección se puede girar hasta un ángulo menor de 90° , con lo cual el eje de la tracción giraría sobre su punto medio, en otras palabras con el diferencial eléctrico, el vehículo puede girar sobre su propio eje. Para esto las ruedas tractoras son capaces de girar en ambos sentidos. Esto permite radios de giro muy pequeños, y poco espacio para dar vuelta. Un vehículo convencional, con diferencial mecánico es incapaz de hacer esto.

Existen mejores configuraciones para que el vehículo realice giros pequeños y con más estabilidad, como lo es que además de tener una tracción independiente, se tenga dirección independiente en las ruedas tractoras, esto permite un mejor desempeño en vueltas muy cerradas y a mayor velocidad, pero por supuesto es mucho más complicado tanto la implementación del algoritmo de seguimiento de trayectoria como la construcción del vehículo.

Este trabajo está orientado a dar herramientas suficientes para que otras personas que requieran información para desarrollar o mejorar este tipo de vehículos, puedan construir un AGV real, orientado a aplicarse a un Sistema de Manufactura Flexible funcional. Por tanto esta tesis debe ser un principio para el desarrollo posterior de otros temas de aplicación a vehículos de todos tipos, y no solo a AGV's.

Por último podemos decir que la satisfacción dejada por este trabajo es el simple hecho de que en México se encuentren personas trabajando de manera formal en el desarrollo de vehículos de Guía automática. Esto necesariamente conlleva a una menor dependencia de la tecnología extranjera; y el contribuir aunque de forma muy modesta a tal independencia es para nosotros muy grato y estimulante. De antemano sabemos que en el presente trabajo no se pretende competir en calidad y precio contra los vehículos Alemanes o Japoneses, pero si en un momento dado se logran aplicar algunos conceptos del mismo en la industria de vehículos de fabricación nacional, habrá valido la pena todo nuestro esfuerzo al abordar temas de tan escaso desarrollo e investigación en el ámbito nacional.

APÉNDICE A

PRUEBAS APLICADAS A LOS MOTORES DEL AGV

Tabla 1

PRUEBA A ROTOR BLOQUEADO	
I_a [A]	V_{in} [V]
0,43	0,50
0,76	0,80
0,98	1,00
1,27	1,30
1,58	1,50
1,85	1,80
1,98	2,00
2,34	2,30
2,50	2,50
2,77	2,80
3,00	3,00
3,45	3,30
3,70	3,50
3,91	3,70
4,23	4,00
4,55	4,30
4,76	4,50
5,08	4,80
5,29	5,00

Gráfica 1

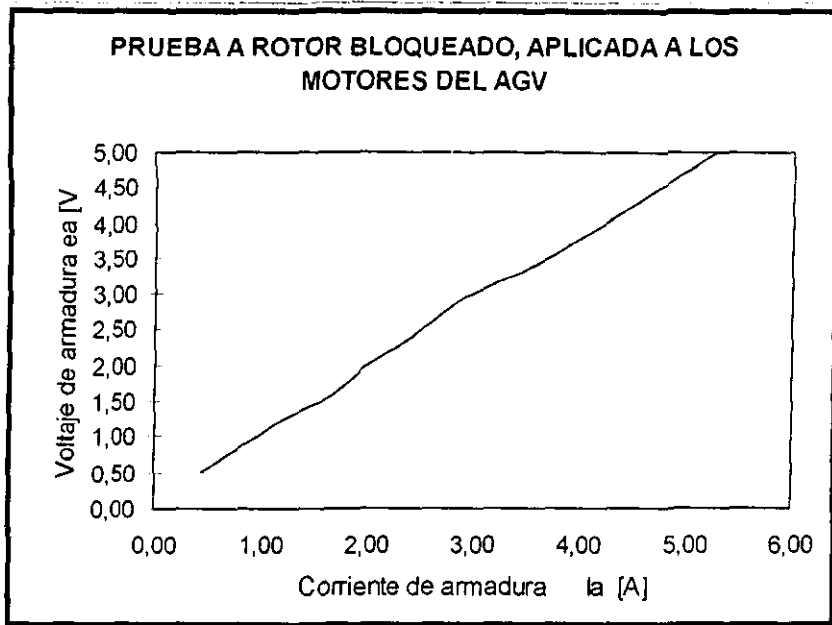


Tabla 2

PRUEBA A ROTOR BLOQUEADO	
I_a [A]	$T_m \times EXP(-3)$ [N]
0,43	0,75
0,76	1,80
0,98	2,25
1,27	3,15
1,58	3,75
1,85	4,35
1,98	5,25
2,34	5,70
2,50	6,00
2,77	6,45
3,00	6,75
3,45	7,20
3,70	7,95
3,91	8,40
4,23	9,10
4,55	9,80
4,76	10,20
5,08	10,90
5,29	11,40

En esta prueba, los datos que aparecen con fondo obscuro, fueron obtenidos con las siguientes ecuaciones de extrapolación :

$$I_e = \left(\frac{V_e}{V_p} \right) I_p$$

donde :

I_e : corriente extrapolada

V_e : voltaje de extrapolación

I_p : corriente de la prueba

V_p : voltaje de la prueba

T_e : par extrapolado

T_p : par de la prueba

$$T_e = \left(\frac{V_e}{V_p} \right) T_p$$

Gráfica 2

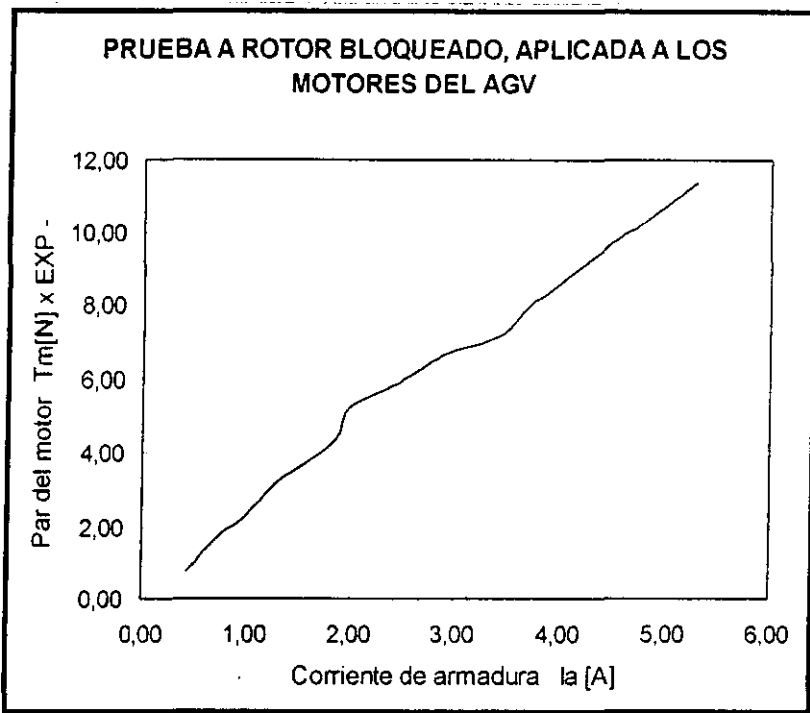


Tabla 3

PRUEBA A ROTOR LIBRE DEL MOTOR		
f [Hz]	ω [rad/seg]	ebm [V]
10,00	62,83	0,34
15,00	94,25	0,52
30,00	188,50	0,70
42,00	263,89	0,84
55,00	345,58	1,04
66,00	414,69	1,21
75,00	471,24	1,41
85,00	534,07	1,60
98,00	615,75	1,84
108,00	678,58	2,05
115,00	722,57	2,25
130,00	816,81	2,49
140,00	879,65	2,79
148,00	929,91	2,92
154,00	967,61	3,12
165,00	1036,73	3,40
178,00	1118,41	3,50
182,00	1143,54	3,75
196,00	1231,50	3,91
213,00	1338,32	4,10

Gráfica 3

PRUEBA A ROTOR LIBRE, APLICADA AL MOTOR

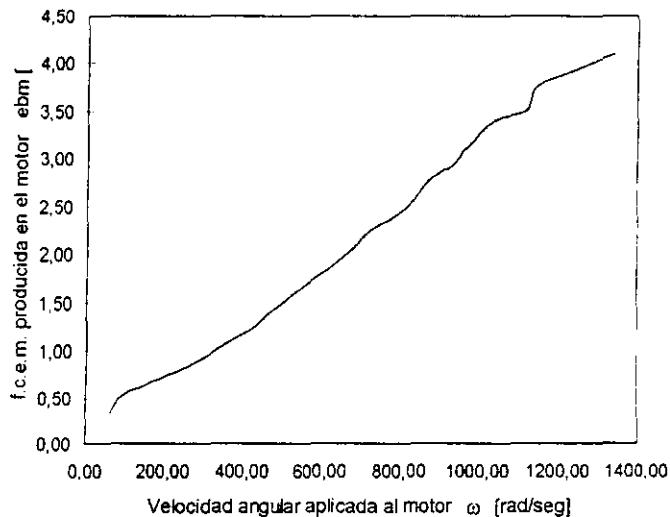
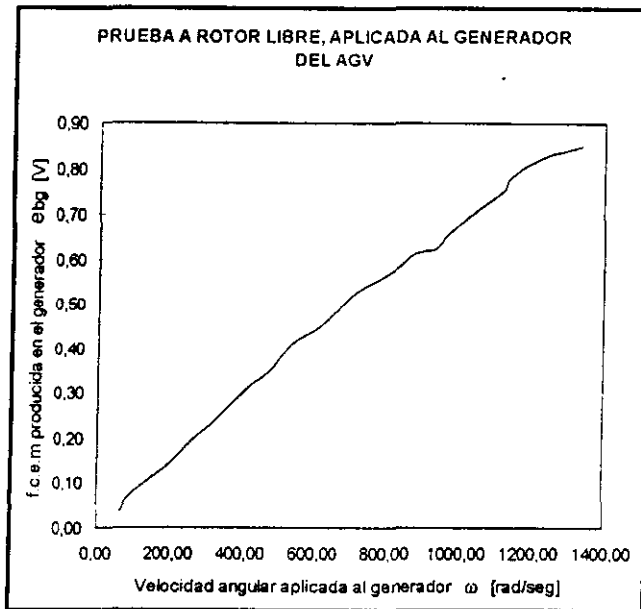


Tabla 4

PRUEBA A ROTOR LIBRE DEL GENERADOR		
f [Hz]	ω [rad/seg]	e _{bg} [V]
10,00	62,83	0,04
15,00	94,25	0,08
30,00	188,50	0,14
42,00	263,89	0,20
55,00	345,58	0,26
66,00	414,69	0,31
75,00	471,24	0,35
85,00	534,07	0,41
98,00	615,75	0,45
108,00	678,58	0,50
115,00	722,57	0,53
130,00	816,81	0,58
140,00	879,65	0,62
148,00	929,91	0,62
154,00	967,61	0,66
165,00	1036,73	0,70
178,00	1118,41	0,75
182,00	1143,54	0,78
196,00	1231,50	0,82
213,00	1338,32	0,85

Gráfica 4



FALTA PAGINA

138

No.

APÉNDICE B

OBTENCIÓN DE LA TABLA DE VELOCIDADES PARA EL DIFERENCIAL ELÉCTRICO

El cálculo de los valores de la tabla que utiliza el programa del AGV se obtuvieron de acuerdo al siguiente planteamiento:

1) Primero se determinó cuál es el ángulo máximo de la dirección, así como la resolución de la misma:

Ángulo máximo = 64.8°

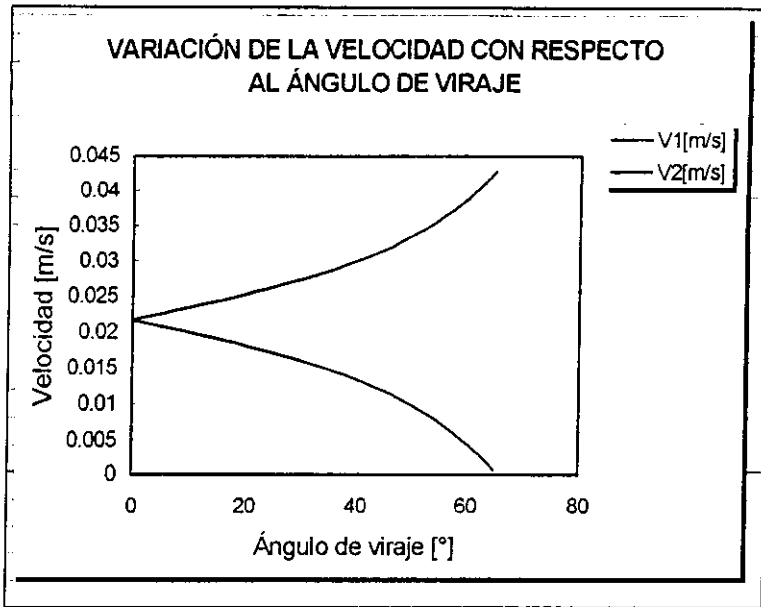
Resolución = 1.8°

2) Una vez dimensionado todo el sistema de sustentación mecánica, aplicamos las ecuaciones (12) y (13) obtenidas en la sección 3.1.1, a cada incremento de 1.8° que presente la dirección. Como consecuencia se generó la siguiente tabla :

TABLA 1

ANGULO [°]	V1[m/s]	V2[m/s]
0,00	0,02167000	0,02167000
1,80	0,02135868	0,02198132
3,60	0,02104675	0,02229325
5,40	0,02073358	0,02260642
7,20	0,02041855	0,02292145
9,00	0,02010100	0,02323900
10,80	0,01978027	0,02355973
12,60	0,01945568	0,02388432
14,40	0,01912650	0,02421350
16,20	0,01879196	0,02454804
18,00	0,01845125	0,02488875
19,80	0,01810352	0,02523648
21,60	0,01774782	0,02559218
23,40	0,01738317	0,02595683
25,20	0,01700846	0,02633154
27,00	0,01662250	0,02671750
28,80	0,01622397	0,02711603
30,60	0,01581144	0,02752856
32,40	0,01538328	0,02795672
34,20	0,01493770	0,02840230
36,00	0,01447266	0,02886734
37,80	0,01398590	0,02935410
39,60	0,01347481	0,02986519
41,40	0,01293643	0,03040357
43,20	0,01236738	0,03097262
45,00	0,01176371	0,03157629
46,80	0,01112088	0,03221912
48,60	0,01043352	0,03290648
50,40	0,00969536	0,03364464
52,20	0,00889889	0,03444111
54,00	0,00803517	0,03530483
55,80	0,00709334	0,03624666
57,60	0,00606019	0,03727981
59,40	0,00491939	0,03842061
61,20	0,00365053	0,03968947
63,00	0,00222782	0,04111218
64,80	0,00061807	0,04272193

Grafica 1



3) De la prueba a rotor libre aplicada a los motores y considerando la reducción mecánica, se generó la siguiente tabla:

Tabla 2

Vin [V]	Vsal. reductor [m/seg]
0,3	0,00200
0,5	0,00310
0,7	0,00602
1	0,00843
1,3	0,01104
1,5	0,01325
1,7	0,01505
2	0,01706
2,3	0,01967
2,5	0,02168
2,7	0,02308
3	0,02609
3,3	0,02810
3,5	0,02971
3,7	0,03091
4	0,03312
4,3	0,03573
4,5	0,03653
4,7	0,03934
5	0,04275

4) Con la tabla 2 se obtuvo la siguiente ecuación de regresión lineal :

$$V_{in} = 118.84749 V_{sal\ reductor} - 0.0054516$$

5) Aplicamos los valores de las velocidades de la tabla 1, a la ec. de regresión lineal, generándose las siguientes valores :

Tabla 3

V1[m/s]	VOLTAJE [v]	V2[m/s]	VOLTAJE [v]
0,02167	2,569973508	0,02167	2,569973508
0,021358682	2,532974196	0,021981318	2,60697282
0,021046749	2,495901731	0,022293251	2,644045286
0,02073358	2,458682377	0,02260642	2,68126464
0,020418545	2,421241233	0,022921455	2,718705784
0,020100998	2,383501616	0,023239002	2,756445401
0,019780275	2,345384427	0,023559725	2,794562589
0,019455683	2,306807467	0,023884317	2,83313955
0,019126498	2,267684696	0,024213502	2,872262321
0,018791958	2,227925434	0,024548042	2,912021582
0,018451253	2,187433465	0,024888747	2,952513551
0,018103518	2,146106037	0,025236482	2,993840979
0,017747824	2,103832738	0,025592176	3,036114279
0,017383167	2,06049421	0,025956833	3,079452806
0,017008456	2,015960679	0,026331544	3,123986338
0,016622495	1,970090246	0,026717505	3,16985677
0,016223973	1,92272691	0,027116027	3,217220107
0,015811439	1,873698234	0,027528561	3,266248783
0,01538328	1,822812606	0,02795672	3,31713441
0,014937695	1,769855979	0,028402305	3,370091038
0,014472662	1,714587968	0,028867338	3,425359048
0,013985897	1,656737171	0,029354103	3,483209846
0,013474808	1,595995478	0,029865192	3,543951538
0,012936434	1,53201115	0,030403566	3,607935867
0,012367379	1,464380294	0,030972621	3,675566722
0,011763714	1,392636316	0,031576286	3,747310701
0,011120877	1,316236739	0,032219123	3,823710278
0,010433524	1,234546599	0,032906476	3,905400418
0,009695358	1,146817316	0,033644642	3,9931297
0,008898893	1,052159546	0,034441107	4,087787471
0,008035167	0,949507882	0,035304833	4,190439134
0,007093343	0,837574438	0,036246657	4,302372579
0,006060191	0,714786947	0,037279809	4,42516007
0,004919386	0,579205036	0,038420614	4,56074198
0,003650533	0,428405106	0,039689467	4,711541911
0,00222782	0,259319166	0,04111218	4,880627851
0,000618071	0,068004618	0,042721929	5,071942398

6) Con la siguiente ecuación, los valores de voltaje se transformaron a palabras decimales, de tal forma que pudieran ser manejadas por el convertidor D/A :

$$P_{DEC} = \frac{V_o}{RF} + IFS$$

$$2 \times 1LSB$$

Aplicando los valores del convertidor D / A, la ecuación queda como :

$$P_{DEC} = \frac{V_o}{4700} + 1.06 \times 10^{-3}$$

$$2 \times 4.155 \times 10^{-6}$$

Sin embargo, como el microcontrolador no maneja palabras decimales, entonces las palabras decimales se convirtieron a hexadecimales, obteniéndose la siguiente tabla final :

Tabla 4

ANGULO [°]	V1[m/s]	VOLTAJE [v]	PALABRA DECIMAL V1	PALABRA HEXADECIMAL
0	0,02167	2,569973508	193	C1
1,8	0,021358682	2,532974196	192	C0
3,6	0,021046749	2,495901731	191	BF
5,4	0,02073358	2,45882377	191	BF
7,2	0,020418545	2,421241233	190	BE
9	0,020100998	2,383501616	189	BD
10,8	0,019780275	2,345384427	188	BC
12,6	0,019455683	2,306807467	187	BB
14,4	0,019126498	2,267684696	186	BA
16,2	0,018791958	2,227925434	185	B9
18	0,018451253	2,187433465	184	B8
19,8	0,018103518	2,146106037	183	B7
21,6	0,017747824	2,103832738	181	B5
23,4	0,017383167	2,06049421	180	B4
25,2	0,017008456	2,015960679	179	B3
27	0,016622495	1,970090246	178	B2
28,8	0,016223973	1,92272691	177	B1
30,6	0,015811439	1,873698234	176	B0
32,4	0,01538328	1,822812606	174	AE
34,2	0,014937695	1,769855979	173	AD
36	0,014472662	1,714587968	171	AB
37,8	0,013985897	1,656737171	170	AA
39,6	0,013474808	1,595995478	168	A8
41,4	0,012936434	1,53201115	167	A7
43,2	0,012367379	1,464380294	165	A5
45	0,011763714	1,392636316	163	A3
46,8	0,011120877	1,316236739	161	A1
48,6	0,010433524	1,234546599	159	9F
50,4	0,009695358	1,146817316	157	9D
52,2	0,008898893	1,052159546	154	9A
54	0,008035167	0,949507882	152	98
55,8	0,007093343	0,837574438	149	95
57,6	0,006060191	0,714786947	146	92
59,4	0,004919386	0,579205036	142	8E
61,2	0,003650533	0,428405106	139	8B
63	0,00222782	0,259319166	134	86

ANGULO [°]	V1[m/s]	VOLTAJE [v]	PALABRA DECIMAL V2	PALABRA HEXADECIMAL
64,8	0,000618071	0,068004618	129	80
0	0,02167	2,569973508	193	C1
1,8	0,021981318	2,60697282	194	C2
3,6	0,022293251	2,644045286	195	C3
5,4	0,02260642	2,68126464	196	C4
7,2	0,022921455	2,718705784	197	C5
9	0,023239002	2,756445401	198	C6
10,8	0,023559725	2,794562589	199	C7
12,6	0,023884317	2,83313955	200	C8
14,4	0,024213502	2,872262321	201	C9
16,2	0,024548042	2,912021582	202	CA
18	0,024888747	2,952513551	203	CB
19,8	0,025236482	2,993840979	204	CC
21,6	0,025592176	3,036114279	205	CD
23,4	0,025956833	3,079452806	206	CE
25,2	0,026331544	3,123986338	208	D0
27	0,026717505	3,16985677	209	D1
28,8	0,027116027	3,217220107	210	D2
30,6	0,027528561	3,266248783	211	D3
32,4	0,02795672	3,31713441	212	D4
34,2	0,028402305	3,370091038	214	D6
36	0,028867338	3,425359048	215	D7
37,8	0,029354103	3,483209846	217	D9
39,6	0,029865192	3,543951538	218	DA
41,4	0,030403566	3,607935867	220	DC
43,2	0,030972621	3,675566722	222	DE
45	0,031576286	3,747310701	224	E0
46,8	0,032219123	3,823710278	225	E1
48,6	0,032906476	3,905400418	228	E4
50,4	0,033644642	3,9931297	230	E6
52,2	0,034441107	4,087787471	232	E8
54	0,035304833	4,190439134	235	EB
55,8	0,036246657	4,302372579	238	EE
57,6	0,037279809	4,42516007	241	F1
59,4	0,038420614	4,56074198	244	F4
61,2	0,039689467	4,711541911	248	F8
63	0,04111218	4,880627851	253	FD
64,8	0,042721929	5,071942398	257	FF

APÉNDICE C

LISTADO DEL PROGRAMA

; Programa para control del AGV II del CDM (control de dirección, velocidad, sensado de pista, sensado de estaciones)

; POR:

; Saúl Xartuni T.

; Jorge Salinas A.

*****CONFIGURACIONES DE PUERTOS Y LOCALIDADES*****

;LA TABLA QUEDA EN 77 LOCALIDADES DESDE E000 HASTA E04C

ORG \$E100	
LDS #03FF	;Inicializar el stack pointer.
LDAB #00	
STAB \$105D	;Se deshabilita el (CHSPROG) CARGANDOLE UN 00.
LDAA #03F	
STAA \$1009	;CONFIGURAR EL PUERTO "D" COMO SALIDAS (MAP)
LDAA #0FF	
STAA \$1001	;CONFIGURAR EL PTO. "A"(MOT.1)COMO SALIDAS
LDAA #0FF	
STAA \$1003	;CONFIGURAR PTO. "G" (MOT.2) COMO SALIDAS
LDY #0E026	;CARGAR CONTADOR DE DIRECCIONES (\$200 Y \$201)
STY \$200	;CON VAL INICIAL DE #0E026
CLR \$202	;LIMPIAR CONT. PARA SEC. POS.(\$202)
CLR \$203	;DIR AUXILIR DEL ADC (AQUI SE ALMACENAN LAS LECTURAS)
CLR \$205	
CLR \$207	;LIMPIA CONTADOR DE DIEZ PASOS(\$207)
CLR \$1008	;LIMPIAR PUERTO D AL INICIO

*****PROGRAMA PRINCIPAL*****

*****LECTURA DE SENSORES DE PISTA*****

INICIO LDAB \$100A	;LEER PUERTO DE SENSORES (PTO.E)
ANDB #00000011	
CMPB #3	;SOLO PARA PRUEBA COMPARA PORTE CON 11
BEQ CEROS	;SI ES ASI APAGA EL PORTD (CEROS)
CMPB #0	;COMPARA LO QUE HAY EN SENSORES CON 00
BEQ CORATRAS	;SI ES IGUAL, VETE A CORR LLANTAS SIN MOVER MAP
CMPB #1	;COMPARA LO QUE HAY EN SENSORES CON 01
BEQ PASOSPOS	;SI ES IGUAL, VETE A PASOSPOS(CORRIGE A LA DERECHA)
CMPB #2	;COMPARA LO QUE HAY EN SENSORES CON 02 (10 BIN)
BEQ PASOSNEG	;SI ES IGUAL, VETE A PASOSNEG(CORRIGE A LA IZQUIERDA)

```
CEROS   LDAA #0           ;Si se da el 1-1
        STAA $1008       ;en los sensores se apaga portD
        BRA    INICIO
```

*****CALCULA Y ESCRIBE LOS DATOS EN LOS PUERTOS DE M1 y M2*****

```
CORATRAS2 CLR $207
        LDX $200
        LDAA $0,X       ;CARGA LA DIRECCION QUE LLEVA EL CONT. DE DIR.
        STAA $1002      ;MANDA DAT. DE TABL. AL PTO.G (MOT. 2)

        LDD #$E026     ;CALCULO DIR. PARA MOT. 2
        SUBD $200       ;A #$E026 LE QUITO LO QUE HAY EN CONT. DIR.Y AL RESULT.
        ADDD #$E026     ;LE SUMO #$E026
        STD $205        ;LO ALMACENO EN DIR.AUX.($5)
        LDX $205
        LDAA $0,X       ;LEO EL RESULTADO DE LA RESTA
        STAA $1000     ;ESCRIBE DAT. EN PTO.A (MOT. 1)
        JMP  INICIO    ;SALTA AL PROGRAMA PRINCIPAL
```

*****CALCULA LOS PASOS QUE DEBE DAR EL MAP*****

```
PASOSPOS LDAA $1000     ;ESTO Y LAS SIG.2 INST. SON PARA QUE EL MAP
        CMPA #$D8       ;SE DETENGA CUANDO LLEGA AL MAXIMO (DER),#FF ES EL VALOR
MAXIMO DE LA TABLA
        BEQ  CORATRAS
        INC $201        ;INCREMENTA CONTADOR DE DIRECCIONES
```

```
DIEZ   INC $202        ;INCREMENTO DEL CONTADOR DE SEC POS
        LDAA $202      ;EXTRAE EL INCREMENTO DEL CONTADOR
        CMPA #01
        BEQ  PASO1D    ;SI ES PRIMERA VEZ VETE A PASO1D
        CMPA #02
        BEQ  PASO2D    ;SI ES SEGUNDA VEZ VETE A PASO2D
        CMPA #03
        BEQ  PASO3D    ;SI ES TERCERA VEZ VETE A PASO3D
        CMPA #04
        BEQ  PASO4D    ;SI ES CUARTA VEZ VETE A PASO4D
        CMPA #05
        BEQ  PASO1D    ;SI ES LA 5ª VETE A PASO1D (OJO)
```

```
PASOSNEG BRA    PASOSNEG2
CORATRAS BRA    CORATRAS2
-----SECUENCIAS DE PASOS POSITIVAS Y NEGATIVAS-----
```

```
PASO1D LDAB #$28       ;PRIMER SECUENCIA DE PULSOS
        STAB $1008     ;ESCRIBE LA SECUENCIA EN EL PTO DEL MAP
        JSR  CONVAD
        LDAA #01
        STAA $202

        INC $207        ;INCREMENTO CONTADOR DE DIEZ PASOS
        LDAA $207
        CMPA #$A
```

BNE DIEZ ;SI NO HA DADO 10 PASOS REGRESAS A PASOSPOS(DIEZ)

JMP CORATRAS ;VETE A CORATRAS PARA CALCULAR DIRECCIONES

PASO2D LDAB #24 ;DE MOTORES1 Y 2

STAB \$1008

JSR CONVAD

INC \$207 ;INCREMENTO CONTADOR DE DIEZ PASOS

LDAA \$207

CMPA #A

BNE DIEZ ;SI NO HA DADO 10 PASOS REGRESAS A PASOSPOS(DIEZ)

JMP CORATRAS ;IDEM

PASO3D LDAB #14

STAB \$1008

JSR CONVAD

INC \$207 ;INCREMENTO CONTADOR DE DIEZ PASOS

LDAA \$207

CMPA #A

BNE DIEZ ;SI NO HA DADO 10 PASOS REGRESAS A PASOSPOS(DIEZ)

JMP CORATRAS ;IDEM

PASO4D LDAB #18

STAB \$1008

JSR CONVAD

CLR \$202

;LIMPIA AL CONTADOR DEL MAP CUANDO SE HAN MANDADO LAS

4 SECUENCIAS

INC \$207 ;INCREMENTO CONTADOR DE DIEZ PASOS

LDAA \$207

CMPA #A

BNE DIEZ ;SI NO HA DADO 10 PASOS REGRESAS A PASOSPOS(DIEZ)

JMP CORATRAS

*****SUBRRUTINA DE RETARDO*****

RETARDO LDX #555

CICLO2 LDY #4

DEX

BEQ SALIDA

CICLO1 DEY

BEQ CICLO2

BRA CICLO1

SALIDA RTS

PASOSNEG2 LDAA \$1002 ; IDEM (IZQ)

CMPA #D8

BEQ CORATRAS

DEC \$201

DIEZ2 DEC \$202

```

BLT PASO3I ;SI ES MENOR QUE CERO VE A PASO3I
LDAA $202
CMPA #0
BEQ PASO4I
CMPA #01
BEQ PASO1I
CMPA #02
BEQ PASO2I
CMPA #03
BEQ PASO3I
    
```

```

-----
PASO1I LDAB #$28 ;PRIMER SECUENCIA DE PULSOS
      STAB $1008 ;ESCRIBE LA SECUENCIA EN EL PTO DEL MAP
      JSR CONVAD
    
```

```

-----
      INC $207 ;INCREMENTO CONTADOR DE DIEZ PASOS
      LDAA $207
      CMPA #SA
      BNE DIEZ2 ;SI NO HA DADO 10 PASOS REGRESAS A PASOSPOS(DIEZ)
-----
      JMP CORATRAS ;VETE A CORATRAS PARA CALCULAR DIRECCIONES
    
```

```

PASO2I LDAB #$24 ;DE MOTORES1 Y 2
      STAB $1008
      JSR CONVAD
    
```

```

-----
      INC $207 ;INCREMENTO CONTADOR DE DIEZ PASOS
      LDAA $207
      CMPA #SA
      BNE DIEZ2 ;SI NO HA DADO 10 PASOS REGRESAS A PASOSPOS(DIEZ)
-----
      JMP CORATRAS ;IDEM
    
```

```

PASO3I LDAB #$14
      STAB $1008
      JSR CONVAD
      LDAA #3
      STAA $202
    
```

```

-----
      INC $207 ;INCREMENTO CONTADOR DE DIEZ PASOS
      LDAA $207
      CMPA #SA
      BNE DIEZ2 ;SI NO HA DADO 10 PASOS REGRESAS A PASOSPOS(DIEZ)
-----
      JMP CORATRAS ;IDEM
    
```

```

PASO4I LDAB #$18
      STAB $1008
      JSR CONVAD
      LDAA #4
      STAA $202
-----
    
```

```

INC $207                ;INCREMENTO CONTADOR DE DIEZ PASOS
LDAA $207
CMPA #$A
BNE   DIEZ2            ;SI NO HA DADO 10 PASOS REGRESAS A PASOSPOS(DIEZ)
;-----
JMP   CORATRAS        ;MANDADO LAS CUATRO SECUENCIAS

;*****ENTRADA A LA DETECCION DE ESTACIONES Y MONITOREO ENERGETICO DE BATERIAS*****

;*****CONFIGURACION DEL CONVERTIDOR
A/D*****
CONVAD LDAA #$90        ;Activa el convertidor
STAA $1039
LDAA #$37              ;Configura el CAD con 4 canales y conv. continua
STAA $1030
JSR   CHCACONV        ;Checa si ya termino la conversiøn

;*****CHECA EL ESTADO ENERGETICO DE
BATERIAS*****
LDAA $1033            ;Checa el estado de las baterias
CMPA #$CD            ;Si el nivel es menor que #$CD, entonces bat. baja
BHI   RECLISTA        ;Si el nivel es mayor, entonces bat.lista

;*****ENCIENDE UN LED Y CHECA LAS BATERIAS HASTA QUE ESTEN
LISTAS*****
LDAB #$3F            ;Configura el Pto D como salida
STAB $1009
LDAA #$01            ;Enciende el led de recarga en PD0/Rx
STAA $1008
CHCANUEV JSR   CHCACONV ;Checa si ya termino la conversion del CAD,
LDAA $1033            ;para poder efectuar una lectura en el canal utilizado por las
CMPA #$FF            ;baterias.Si la lectura en ADR4 es menor que #$FF, entonces
bat.
BEQ   LEDFLASH        ;baja.En caso contrario la bateria esta lista
BRA   CHCANUEV

;***** FIN DE LA CARGA *****
LEDFLASH LDX #$04        ;Este bloque sirve para indicar visualmente el fin de la
CONTADOR DEX            ;recarga, y a su vez proporciona tiempo para desconectar la
CPX #$00                ;fuente de alimentaciøn.
BEQ   RECLISTA
LDAA #$01
STAA $1008
JSR   RETARDAR
LDAA #$00
STAA $1008
JSR   RETARDAR
BRA   CONTADOR
RETARDAR LDY #$0F
LOOP DEY
CPY #$00
BNE   LOOP

```

RTS
 ;*****CHECA EL FIN DE CONVERSIONES EN LOS CANALES DEL
 CAD*****

CHCACONV LDAA \$1030 ;Este bloque sirve para checar el fin
 ANDA #\$80 ;de una conversin del CAD.
 CMPA #\$80
 BNE CHCACONV
 RTS

;***CHECA LA ESTACION DETECTADA CON LOS RANGOS DE LAS ESTACIONES
 PROGRAMADAS*****

RECLISTA JSR CHCACONV
 LDAB \$1034 ;Compara la lectura proveniente de la estación detectada
 CMPB #\$B3 ;con los rangos superiores de las estaciones programadas
 BMI RINFE1 ;en el AGV.
 CMPB #\$FF
 BMI RINFE2
 JMP OFFCA/D
 RINFE1 CMPB #\$80 ;Si en la comparación coinciden un rango inferior y superior,
 BMI OFFCA/D ;entonces a la estación detectada se le asigna un número,
 LDAA #\$01 ;el cual permite al AGV saber qu, estación es. En caso de que al
 STAA \$1064 ;menos un rango no coincida, entonces quiere decir que se trata de
 BRA NUMEST ;una estación que no est contemplada en las visitas del AGV,
 RINFE2 CMPB #\$CC ;y por lo tanto el programa se va a un bloque etiquetado con
 OFFCA/D;
 BMI OFFCA/D ;donde deshabilita el convertidorAD y permite que el AGV siga en
 marcha
 LDAA #\$02
 STAA \$1064
 BRA NUMEST

;*****DESHABILITA EL CONVERTIDOR*****

OFFCA/D LDAA #\$00 ;Este bloque se utiliza únicamente cuando la estación
 STAA \$1039 ;detectada no coincide con la programada. La función de este
 JMP SALIDA1 ;bloque es deshabilitar el CAD, y seguir con la marcha del AGV

;**CALCULA LA PRIMERA EST. A VISITAR(EN CASO DE QUE EL AGV SE PONGA EN MARCHA POR PRIMERA VEZ)**

NUMEST LDAA \$1066 ;Este bloque ser utilizado únicamente cuando el
 CMPA #\$00 ;AGV se ha puesto en marcha por primera vez; y su
 BNE SEGVEZ ;función es calcular la dirección donde se encuentra el
 LDAB \$FFF5 ;número de la primera estación que va a visitar el AGV.
 DECB
 STAB \$1066
 LDD #\$FFF5
 SUBD \$1065
 STD \$106A
 LDY \$106A
 LDAA \$0,Y
 STAA \$1068

;***COMPARA LA ESTACION DETECTADA CON LA ESTACION
 PROGRAMADA*****

```

SEGVEZ LDAB $1068 ;Este bloque realiza la tarea de comparar el número asignado
          CMPB $1064 ;a la estación detectada, con el número de la estación que est
          BEQ PUERTOS ;programada para ser visitada por el AGV, si no coinciden, entonces
          JMP OFFCA/D ;se va a la subrutina OFFCA/D. En caso contrario se va a la
                    ;subrutina PUERTOS, donde se apagan los motores.

```

DETENER EL AGV SI COINCIDEN ESTACIONES DETECTADA Y PROGRAMADA**

```

PUERTOS LDAA #$00 ;DETENER MOTORES M1 Y M2
          STAA $1000
          STAA $1002
CHCAOTRA JSR CHCAONV ;Estas 5 instrucciones realizan la tarea de
          LDAB $1034 ;monitorear la lectura del convertidor, de tal manera que
          CMPB #$34 ;si existe un cambio de lectura menor a #$34, entonces
quiere decir
          BMI CALNVAEST ;que la estación ya no requiere al AGV, y por lo tanto
          BRA CHCAOTRA ;puede ponerse en marcha.

```

CALCULA LA SIGUIENTE ESTACION A SER VISITADA**

```

CALNVAEST DEC $1066 ;Antes de ponerse en marcha el AGV, se tiene que realizar
          LDAA $1066 ;el calculo de la nueva estación a ser visitada por el AGV.
          CMPA #$00 ;En caso de que las estaciones a ser visitadas se terminen,
ronda de ;este bloque tiene la capacidad de volver a ejecutar una nueva
          BEQ NUMEST1 ;visitas, empezando nuevamente por la primera estación en lista.
CALCULO LDD #$FFF5
          SUBD $1065 ;Cabe mencionar que siempre que se cumpla una visita, el
programa ;calcula la nueva estación a ser visitada, justamente antes de
          STD $106A ;ponerse en marcha.
          LDY $106A
          LDAA $0,Y
          STAA $1068
          BRA SALIDA1

```

-----CONTROL DE LAS RONDAS DE VISTAS-----

```

NUMEST1 LDAB $FFF5 ;Este bloque realiza la tarea de recargar datos necesarios para
          DECB ;que se lleve a cabo una nueva ronda de visitas de estaciones.
          STAB $1066
          BRA CALCULO

```

*****SALIDA DE DETECCION DE ESTACIONES Y MONITOREO DE BATERIAS*****

```

SALIDA1 JSR RETARDO
          RTS
          END

```


BIBLIOGRAFÍA

- **INDUSTRIAL ELECTRONICS**
James Maas
Edit. PRENTICE HALL
NY, 1995
- **ELEMENTOS DE ROBÓTICA**
P. Coiffet & M. Chirouze
Edit. Gustavi Gili S.A.
México, 1992
- **ELECTRÓNICA TEORÍA DE CIRCUITOS**
Robert Boylestad & Louis Nashelsky
Edit. PRENTICE HALL
México, 1989
- **AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES**
Driscoll & Coughlin
Edit. PRENTICE HALL
México, 1990
- **SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL**
Ramón Pallás Areny
Edit. MARCOMBO
Barcelona, 1994
- **PRUEBAS DE EQUIPO ELÉCTRICO 2**
Victor Pérez Amador
Edit. LIMUSA
México, 1983
- **ENGRANAJES**
Nociones Fundamentales Para el Proyectista
Giuseppe Pollone
Edit. Blume
Barcelona, 1972
- **MÁQUINAS (PRONTUARIO)**
Nicolás Larburu Arrizabalaga
Edit. Paraninfo
Madrid 1990

- **INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA**
Katsuhiko Ogata
Edit. PRENTICE HALL
México, 1990
- **DINÁMICA DE SISTEMAS FÍSICOS**
Francisco Rodríguez Ramírez
Edit. TRILLAS
México, 1989
- **ASYNCHRONOUS CONTROL OF ORIENTATION AND DISPLACEMENT IN A ROBOT VEHICLE.**
James L. Crowley; LIFIA (IMAG) I.N.P.G.
46 Ave; Felix Viallet
Grenoble, France
October 24, 1988
- **1988 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION**
Local Path Control for an Autonomous Vehicle
Winston L. Nelson
April 24-29, 1988
Franklin Plaza Hotel
Philadelphia, Pennsylvania
- **TRAJECTORY PLANNING FOR A MOBILE ROBOT**
Barry Steer
Robotics Research Group; Department of Engineering Science
University of Oxford, U.K.; October 1989.
- **DIGITRON AG**
Especificaciones Técnicas para AGV's
- **HARRY MAZAL S.A. de C.V.**
Especificaciones Técnicas para AGV's
- **FLEXIBLE ASSEMBLY SYSTEMS**
M. Myrup Andreasen & T. Ahm
Edit. Prentice Hall

