

# **REPORTE DE PROYECTO INDUSTRIAL**

**“Desarrollo de un sistema electrónico para  
el control de un robot tipo AGV  
(Automated Guided Vehicle)”**

ESPECIALIDAD TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA

PRESENTA

**ING. JUAN MANUEL BARRERA FERNÁNDEZ**

Tutor Académico

M.C. y T. Julio César Solano Vargas



Santiago de Querétaro, Querétaro. Agosto 2017.

## AGRADECIMIENTOS

---

A las dos grandes instituciones, **CONACYT** y a **CIDESI** que sin su apoyo financieros e infraestructura esto no podría haberse hecho posible.

A mis **padres y hermanos** que han sido un impulso siempre constante durante toda mi vida, ellos que siempre velan por mi bienestar y todo lo que he alcanzado es gracias a ellos, gracias al apoyo, confianza y motivación, por ser las bases que me ayudaron a llegar hasta aquí.

A mi **asesor** por proporcionarme la oportunidad y depositar la confianza de laborar junto a él y su equipo de trabajo.

A **compañeros** de laboratorio por brindarme su apoyo y amistad cada día de trabajo.

Juan Manuel Barrera Fernández.

# RESUMEN

---

## **“Desarrollo de un sistema electrónico para el control de un robot tipo AVG (Automated Guided Vehicle)”**

En presente documento se dará a conocer el desarrollo, implementación y resultados del proyecto realizado en el posgrado de Tecnólogo en Mecatrónica. El desarrollo del circuito eléctrico y electrónico en el vehículo remolcador o tugger es capaz de controlar la tracción y dirección, dicho sistema con el adecuado diseño de protección logra controlar los parámetros principales del vehículo (tracción y dirección) para la posterior adecuación de un vehículo guiado autónomamente AGV.

El sistema eléctrico y electrónico de control para el vehículo remolcador consiste en una tarjeta electrónica capaz de verificar y controlar los parámetros de giro y torque para cada uno de los motores (tracción y dirección); y mediante la implementación de componentes eléctricos crear una interfaz de control, el cual pueda permitir gobernar al vehículo remota o presencialmente, así como también la instalación de sistemas de protección electrónica y de paros de emergencia.

Este desarrollo tecnológico permitirá al vehículo remolcador obtener la primera fase de inicio para la implementación en un vehículo guiado autónomamente (AGV) y posteriormente realizar pruebas de campo donde se observara el comportamiento del diseño electrónico y eléctrico en el vehículo remolcador. Con el desarrollo e implementación de estos sistemas en los vehículos remolcadores se quiere llegar a obtener un vehículo el cual mejore los sistemas de transporte dentro de las áreas de trabajo cerradas, optimizando tiempos de entrega y espacios, así como también reducir el índice de accidentes producidos por el manejo inapropiado de los vehículos remolcadores o tugger.

# CONTENIDO

---

|  |    |
|--|----|
| AGRADECIMIENTOS.....   | 1  |
| RESUMEN.....   | 2  |
| CONTENIDO.....   | 3  |
| LISTA DE FIGURAS.....  | 5  |
| LISTA DE TABLAS.....   | 7  |
| CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES DEL PROYECTO.....                               | 8  |
| 1.1    Introducción.....   | 2  |
| 1.2    Justificación.....  | 3  |
| 1.3    Objetivos.....  | 3  |
| 1.4    Alcances.....   | 4  |
| 1.5    Antecedentes.....   | 4  |
| CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTOS.....  | 12 |
| 2.1 Tipos de locomoción para un robot móvil.....                           | 13 |
| 2.2 Robots móviles con ruedas.....   | 13 |
| 2.3 Motores.....   | 14 |
| 2.3.1 Tipos de motores eléctricos.....                                     | 14 |
| 2.3.2 Principio de funcionamiento.....                                     | 15 |
| 2.4 Grados de libertad de un robot móvil.....                              | 16 |
| 2.5 Automatizar el transporte.....   | 16 |
| 2.6 AGV (Automated Guided Vehicle).....                                    | 18 |
| 2.7 Tipos de AV.....   | 19 |
| 2.7.1 Transpaleta.....   | 19 |
| 2.7.2 Apilador.....  | 20 |
| 2.7.3 Contrapesado.....  | 20 |
| 2.7.4 Retractil.....   | 21 |
| 2.7.5 Transportador de rodillos o cadenas para carga/descarga lateral..... | 22 |
| 2.7.6 Para movimiento de bobinas en horizontal.....                        | 22 |
| 2.7.7 Para movimiento de bobinas en vertical.....                          | 23 |
| 2.7.8 Para movimiento de varios palets en horquillas.....                  | 23 |
| 2.7.9 Tractor.....   | 24 |
| 2.7.10 Transporte de carros de servicio en hospitales.....                 | 24 |
| 2.8 Sensores.....  | 25 |

|   |    |
|---|----|
| 2.8.1 Sensor laser.....   | 26 |
| 2.8.2 Ultrasonicos .....  | 26 |
| 2.8.3 Encores.....  | 27 |
| 2.8.3.1 Encoder incremental.....  | 27 |
| 2.8.3.2 Encoder absoluto.....   | 28 |
| 2.8.4 Sensor de contacto.....   | 29 |
| 2.9 Controladores .....   | 31 |
| 2.9.1 DSP.....  | 31 |
| 2.9.4.1 DSP características .....   | 31 |
| Ancho de palabra.....   | 32 |
| Velocidad.....  | 33 |
| Organización de la memoria .....  | 33 |
| 2.10 Arquitectura de altas prestaciones .....                             | 35 |
| 2.10.1 Arquitectura usual para el control de vehículos remolcadores ..... | 36 |
| CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO.....                                 | 39 |
| 3.1 Características del diseño eléctrico .....                            | 40 |
| 3.2 Diseño eléctrico .....  | 40 |
| 3.3 Selección de componentes .....  | 41 |
| CAPÍTULO 4 – EXPERIMENTACION Y RESULTADOS.....                            | 43 |
| 4.1 Implementación del diseño eléctrico .....                             | 44 |
| 4.2 Pruebas.....  | 46 |
| 4.3 Resultados .....  | 47 |
| CONCLUSIÓN.....   | 48 |
| BIBLIOGRAFÍAS .....   | 48 |
| ANEXOS .....  | 50 |

## LISTA DE FIGURAS

---

| FIGURA | NOMBRE  | Pág. |
|--------|---|------|
| 1      | Primer diseño de un AGV por Barrett Electronics.....  | 5    |
| 2      | Clasificación de los robots móviles según su locomoción.....  | 13   |
| 3      | Configuración de ruedas para distintas aplicaciones.....  | 14   |
| 4      | Sensores que pueden ser encontrados en un AGV comercial.....  | 18   |
| 5      | AGV tipo transpaleta usado para elevar cargas a ras de suelo.....   | 19   |
| 6      | AGV tipo apilador usado para colocar cargas a distintas alturas.....  | 20   |
| 7      | AGV tipo contrapeso con una mayor capacidad que el apilador convencional.....   | 21   |
| 8      | AGV tipo retráctil o telescópico para grandes elevaciones.....  | 21   |
| 9      | AGV transportador para carga/descarga lateral.....  | 22   |
| 10     | Transportador de bobina de papel en forma horizontal.....   | 22   |
| 11     | AGV transportador de bobina de papel de forma vertical.....   | 23   |
| 12     | AGV transportador multipalets para cargas considerables.....  | 23   |
| 13     | AGV tipo tractor para remolcar gran cantidad de peso y volumen.....   | 24   |
| 14     | AGV para uso hospitalario con una carga máxima de 60 Kg de compañía Adept Technology.....   | 25   |
| 15     | Principios de funcionamiento de sensor ultrasónico.....   | 27   |
| 16     | Principio de los codificadores de posición incrementales para posiciones lineales y angulares.....  | 28   |
| 17     | Disco de un codificador digital (a) con pista externa para aumentar la resolución y codificador absoluto (b) basado en un código pseudoaleatorio..... | 29   |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 18 | Configuración de ON/OFF de un bumper común.....  | 30 |
| 19 | DSP marca Texas Instruments.....   | 31 |
| 20 | Relación entre formato numérico y número de bits del DSP.....                            | 32 |
| 21 | Diagrama a bloques de la estructura básica de control de un vehículo remolcador autónomo | 37 |
| 22 | Tarjeta electrónica de pruebas.....  | 44 |
| 23 | Implantación de sistema eléctrico y electrónico de dirección.....                        | 45 |
| 24 | Tarjeta de control para vehículo AGV.....  | 45 |
| 25 | Implementación y cableado del circuito eléctrico.....                                    | 46 |
| 26 | Vehículo AGV.....  | 47 |

## LISTA DE TABLAS

---

| TABLA | NOMBRE  | Pág. |
|-------|---|------|
| 1     | Clasificación de los sensores por criterio..... | 26   |
| 2     | Lista de componentes.....                       | 41   |
| 3     | Valores en sensores Hall.....                   | 44   |



## **CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES DEL PROYECTO**

---

## 1.1 Introducción.

Los sistemas electrónicos de control en los vehículos AGV (Automated Guided Vehicle) son extensamente usados en muchas aplicaciones de transporte de materiales en la industria; el mayor consumidor de vehículos AGV's es la industria automotriz, sin embargo los vehículos AGV's también son comunes en otras industrias, incluyendo almacenes y centros de distribución, papel, impresión, textiles y siderúrgicas, donde podemos apreciar un mejoramiento en los tiempos de transporte de material, así como también en el índice de accidentes producidos por este tipo de vehículos <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>. Se ha descubierto que el uso de los vehículos AGV aumentan la flexibilidad de enrutamiento, mejoran la utilización del espacio, garantizan la seguridad y reducen el costo operacional general <sup>[3]</sup>.

Los sistemas de control en los vehículos AGV modernos difieren de los clásicos tal como se describe, por ejemplo, en los libros de Ju'emann y Schmidt (2000) y Tompkins et al. (2003) en varios aspectos. En lugar de usar rutas fijas, muchos AGV modernos son de libre alcance, lo que significa que sus pistas preferidas están programadas por software y se pueden cambiar con relativa facilidad cuando se añaden nuevas estaciones o flujos. Una segunda diferencia está en la forma en que pueden ser controlados <sup>[1]</sup>. La tecnología implantada en los sistemas de control permite tomar decisiones por estos vehículos inteligentes que en el pasado fueron tomadas por los controladores centrales de decisiones binarias (si o no) <sup>[2]</sup>. Estos desarrollos no implican que los tradicionales controladores de toma de decisiones se vuelvan obsoletos. Más bien, llevan a nuevos desafíos para la investigación. Ambos tipos de sistemas de control de toma de decisiones de AGVS tiende a tener su impacto en el uso del vehículo AGV <sup>[1]</sup>.

En el laboratorio de robótica e inspección industrial del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial CIDESI se tiene como objetivo diseñar y fabricar un sistema de control para un vehículo remolcador AGV el cual pueda manipular los parámetros de giro y torque para cada acción (tracción y dirección) en el vehículo basándose primordialmente en los dos tipos de sistemas de control (sistemas inteligentes y de sistemas basados en toma de decisiones).

## **1.2 Justificación.**

Los vehículos remolcadores enfrentan el dilema ante el manejo inapropiado por parte de los operadores, el mal uso que hacen de ellos, así como la probabilidad de accidentes en el área de trabajo por causa de estos vehículos. Además, los vehículos remolcadores cuentan con sistemas de control manual por medio de volantes o pedales los cuales pueden ser optimizados mediante tarjetas electrónicas y dispositivos eléctricos los cuales realicen la misma función. Por lo cual se propone establecer un sistema electrónico que cumpla las expectativas de control principales en estos vehículos remolcadores como lo son: tracción y dirección. Este sistema eléctrico será capaz de establecer los parámetros adecuados para lograr una respuesta óptima del control de dirección y tracción del vehículo, además de contar con los dispositivos de seguridad para garantizar que no ocurran accidentes. Dicho desarrollo tecnológico colocando a este sistema de control electrónico como uno de los más flexibles, exactos y seguros en la industria de fabricación de vehículos remolcadores AGV.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Establecer el diseño propio conceptual de un robot móvil tipo AGV que sea robusto y confiable, capaz de desarrollar el trabajo de transporte de material mediante plataformas móviles con una carga considerable de una estación de trabajo a otra.

### **1.3.2 Objetivo específico.**

- Determinar los parámetros de control de tracción y dirección del vehículo remolcador.
- Diseñar el circuito eléctrico para el control de tracción y dirección del vehículo remolcador.
- Implementar la tarjeta electrónica para el control de tracción y dirección del vehículo remolcador.

- Realizar pruebas de validación para el control de tracción y dirección del vehículo remolcador.
- Documentar los resultados obtenidos.

#### **1.4 Alcances**

Este proyecto es el primer paso hacia la implementación de un sistema automatizado el cual pueda ser instalado en áreas de trabajo de constante movimiento de material, el proyecto se centra en buscar un sistema electrónico capaz de controlar las principales características en un vehículo, como lo son su tracción y dirección. La investigación tuvo una duración de 4 meses conforme al programa de posgrado interinstitucional de CONACYT. A continuación se presentan los alcances del proyecto:

1. Adquirir los parámetros comportamiento de cada motor.
2. Obtener el diseño eléctrico de implementación de la tarjeta control.
3. Diseño eléctrico validado para el control de tracción y dirección del vehículo remolcador.
4. Pruebas de laboratorio exitosas de tarjeta de control.
5. Documentación de Tesina para obtención de grado.

#### **1.5 Antecedentes.**

Un vehículo guiado automático es una clase de robot móvil que sigue líneas o cables enterrados en el suelo de donde desea tener su trayectoria, o más recientemente utiliza la visión o láser para realizar un recorrido. Estos son utilizados en aplicaciones industriales para poder transportar materiales dentro y fuera de una planta según sea requerido, con el paso de las décadas la aplicación de este tipo de robots móviles se ha ampliado enormemente.

El uso de AGV (por sus siglas en inglés Automated Guided Vehicle) tiene un impacto importante en la eficiencia y reducción de costos, ayudando a automatizar procesos de trabajo de una planta. Uno de los primeros modelos fue inventado por Barrett Electronics en 1953 (Figura 1.5) el cual innovaba la forma en la que los materiales se transportaban, este robot móvil se guiaba automáticamente siguiendo el campo magnético generado por el flujo de una corriente en cables

enterrados que servían como guía para el AGV. Se colocaban arreglos de imanes en el suelo para saber dónde están localizadas las estaciones de parada.



Figura 1. Primer diseño de un AGV por Barrett Electronics.

Aplicando tecnologías nuevas para ese entonces en la década de los 70's los AGV de carga unitaria fueron ganando terreno, entre muchos otros tipos de AGV. Tuvieron gran aceptación en el mercado de manejo de materiales debido a sus cualidades.

Hoy en día es muy común encontrar a un sinnúmero de tipos de robots móviles tipo AGV de uso industrial, que desarrollan tareas desde transporte de materiales dentro de una línea de producción, aumentando significativamente la productividad, ya que esta tarea la hace de forma automática con la menor intervención humana posible a excepción de casos en las que el robot móvil llegue a sufrir una avería o algún inconveniente. Una de las causas por la cual el uso de estos robots móviles se encuentra en constante ascenso es consecuencia de su flexibilidad en cuanto a cambios en el papel que desempeñen.

## **CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTOS**

---

## 2.1 Tipos de locomoción para un robot móvil

---

Los robots en general se impulsan o generan su movimiento mediante distintas formas, a causa de esto surge una nueva clasificación según sea el tipo de locomoción o forma en la que se impulsa e inicia movimiento un robot móvil se puede clasificar en los siguientes tipos de locomoción como se puede ver en la Figura 2.



Figura 2. Clasificación de los robots móviles según su locomoción.

## 2.2 Robots móviles con ruedas

---

Se describe a un robot móvil como un dispositivo electromecánico el cual es capaz de desplazarse dentro de un entorno de trabajo, teniendo un sinnúmero de aplicaciones en áreas muy diversas de trabajo. Para esto existen una serie de configuraciones para distintos tipos de ruedas los cuales tienen aplicaciones especiales.



Figura 3. Configuración de ruedas para distintas aplicaciones.

Esta investigación se centra en el desarrollo de un robot móvil con ruedas capaz de desempeñar actividades programadas dentro de un ambiente industrial, en su mayoría los robots móviles que se encuentran en el mercados son excesivamente caros y cuentan con funciones especializadas (poca flexibilidad), por lo que se espera conseguir modelos más generales y económicos, de tal forma que sean de fácil acceso a compañías que buscan actualizar y mejorar sus métodos de producción.

## 2.3 Motores

---

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes.

### 2.3.1 Tipos de motores eléctricos

Atendiendo al tipo de corriente utilizada para su alimentación, se clasifican en:

#### Motores de corriente continúa

- De excitación independiente.



- De excitación serie.
- De excitación (shunt) o derivación.
- De excitación compuesta (compund).

### **Motores de corriente alterna**

- Motores síncronos.
- Motores asíncronos:
  - Monofásicos.
  - De bobinado auxiliar.
  - De espira en cortocircuito.
  - Universal.
  - Trifásicos.
  - De rotor bobinado.
  - De rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).

Todos los motores de corriente continua así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación anterior tienen una utilización y unas aplicaciones muy específicas. Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo coste de fabricación. Por ello, tanto en esta unidad como en la siguiente nos centraremos en la constitución, el funcionamiento y la puesta en marcha de los motores asíncronos de inducción.

#### **2.3.2 Principio de funcionamiento**

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estatórico sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estatórico corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz). La velocidad

de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento. Como se explica al inicio de la unidad, la velocidad de estos motores, según el principio de funcionamiento y la frecuencia industrial, tiene que ser una velocidad fija, algo menor que la de sincronismo. Gracias a los avances en la electrónica de potencia, actualmente se fabrican arrancadores estáticos que pueden regular la velocidad de estos motores actuando sobre la frecuencia de la alimentación del motor, es decir, convierten la frecuencia industrial de la red en una distinta que se aplica al motor. De ahí que reciban el nombre de convertidores de frecuencia, pudiendo regular la velocidad, amortiguar el arranque e incluso frenarlo.

## 2.4 Grados de libertad de un robot móvil

---

Los grados inmiscuidos en el diseño de un robot móvil y dependen esencialmente del tipo de ruedas que se utilicen; se dividen en dos tipos:

- **Grado de movilidad** ( $\delta_m$ ): es llamada así el grado de libertad que está ligado a una variable de velocidad del robot móvil.
- **Grado de direccionalidad** ( $\delta_s$ ): es el grado de libertad asociado a una variable de dirección del robot.

El número total de grados de libertad de un robot móvil está dado por la suma directa entre los grados de la movilidad y los grados de direccionalidad.

## 2.5 Automatizar el transporte

---

El desarrollo de la automatización y la robótica está permitiendo que las empresas medianas y pequeñas puedan incorporar sistemas de guiado automático de vehículos AGV en sus procesos productivos. Las compañías están exigiendo manejar los materiales necesarios con más rapidez, con más precisión y con más exactitud. El conocimiento del proceso productivo y el control de su gasto resultan imprescindibles si se quiere mantener una posición dentro del mercado. Cada vez

más se tiende a centrar todas las energías en crear negocio y expandirlo, sin olvidar que el proceso productivo debe proporcionar por sí mismo una alta calidad, a un coste bajo.

En numerosas ocasiones, estar primero es mejor que ser más grande. Numerosos productos tienen ciclos de vida muy cortos y no dejan lugar para los errores. Todo tiene que ir rápido, y a un costo más bajo. Esto exige mantener un control completo con acceso constante a información del sistema de producción y procesar y manejar esta información para obtener el máximo rendimiento de los recursos de la empresa.

Uno de los problemas para resolver es el propio movimiento de las mercancías dentro del proceso productivo, resulta imprescindible tener que trasladar de un lado a otras materias primas y productos semielaborados. Si se observa el movimiento de esas mercancías, muchas de ellas siguen rutas comunes, y se necesita personal para trasladarlas de un lugar a otro. Este personal realiza tareas repetitivas y monótonas, están desmotivados por falta de objetivos en el trabajo, no tienen metas que cumplir, a menudo tienen exceso de confianza en los vehículos que manejan, y un error en estos procesos genera pérdidas económicas, y en algunos casos, desgracias personales. De la misma forma que se tiende a automatizar procesos complejos, se puede plantear automatizaciones de transporte.

Hasta hace poco, el desarrollo de la robótica no podía cubrir la necesidad de automatizar estas tareas, con los últimos avances en este campo, en ASTI se puede abordar este problema con garantías de éxito, además, automatizar tareas de transporte mediante vehículos autónomos, es más flexible que los sistemas de transporte tradicionales, como cintas, cadenas y demás ingenios de instalación fija, y sobre todo, permitiendo de esta forma disponer de una máquina que en modo manual se comporta como una máquina convencional, y en modo automático es capaz de realizar tareas de transporte sin necesidad de conductor.

Una automatización de este tipo sólo obliga a trabajar de una forma más disciplinada, pero la cantidad de información y capacidad de reacción que crea, compensa con creces el ‘esfuerzo’ de ‘disciplinar’ la producción. No sólo se obtienen mejoras en el transporte; se pueden enumerar algunas de las ventajas obtenidas de este tipo de instalaciones:

1. Aumentar la velocidad y productividad en la manipulación y manejo de los materiales.

2. Aumento de la seguridad para el personal que trabaja en planta; este sistema permite definir qué niveles de seguridad adicionales se requieren.
3. Ahorro considerable en el costo de los daños causados al género transportado.
4. Ahorro en el mantenimiento de los vehículos, ya que la conducción programada es la óptima en cada momento.
5. Ahorro energético en planta, ya que las fugas térmicas se reducen considerablemente.
6. Valorar económica y objetivamente todos los puntos mencionados es difícil, dependen mucho de la empresa y de la solución planteada.

## 2.6 AGV (Automated Guided Vehicle)

---

Los AGV (Automatic Guided Vehicle) son vehículos diseñados para mover género y productos dentro de un establecimiento, conectando máquinas diferentes dentro del área dedicada al almacenaje con lo cual se ahorra tiempo, energía y espacio en la logística empresarial.

Por todo ello, la opción de emplear un sistema automático de mantenimiento debidamente dimensionado es, a la larga, la mejor inversión.

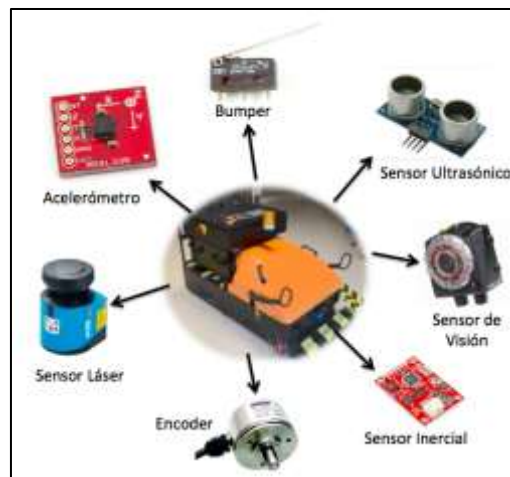


Figura 4. Sensores que pueden ser encontrados en un AGV comercial.

Hoy, los AGV se han integrado en los procesos productivos y se emplean para el transporte y el traslado de productos así como para su almacenaje.

Los AGV se mueven automáticamente, sin necesitar de un operador ni de estructuras fijas en el suelo; además, para poder responder fácilmente al futuro desarrollo del establecimiento, son muy flexibles. Los vehículos pueden dialogar con otros robots o sistemas de automatización para que el producto se mueva en el almacén con fluidez, se almacene para usarse con posterioridad o se coloque directamente en la zona de expedición. La instalación se diseña en todos sus detalles mediante un sistema de simulación que permite comprobar los trayectos, el número de operaciones posibles y la cantidad de vehículos necesarios.

Existen modelos y tipos de vehículos diferentes según el empleo y el sector: de horquillas, de rodillos y con plataforma; para mover medios pesados, cajas con rodillos, plataformas de almacenaje y paletas al final de la línea; de acero inoxidable para trabajar en el sector alimentario.

## 2.7 Tipos de AV

---

Hay muchos tipos de AGV y muchos tipos de accesorios que les harán idóneos para cubrir las necesidades de los clientes, estos se pueden clasificar principalmente por el tipo de trabajo que realizan, dependiendo de las configuraciones, electrónica, capacidad de carga/arrastre entre otros factores.

### 2.7.1 Transpaleta

AGV transpalé es utilizado para el movimiento de cargas paletizadas a ras del suelo (peso máximo de carga: 24.000 kilos). Asimismo, el AGV transpalé bobinas está equipado con un implemento de pinza que permite el movimiento de bobinas, (peso máximo de carga: 3.500 kilos).



Figura 5. AGV tipo transpaleta usado elevar cargas a ras de suelo.

### 2.7.2 Apilador

AGV apilador aplicado para movimiento de cargas paletizadas en altura, con un peso máximo carga de 2.000 kilos y una altura máximo elevación de 5,4 metros. Los modelos son en función de la mecánica base utilizada, adecuada a la carga máxima a transportar y a la altura de elevación requerida. A partir de la mecánica base del apilador, se pueden incluir diversos implementos en función de la carga a transportar o de las necesidades del cliente: rodillos, en vez de palés, para recoger la carga; horquillas dobles o triples, para el transporte de varios palés simultáneamente; horquillas curvas, para el transporte de bobinas en horizontal y vertical; y horquillas ajustables, para palés de dimensiones distintas que el europalé.



Figura 6. AGV tipo apilador usado para colocar cargas a distintas alturas.

### 2.7.3 Contrapesado

Un AGV apilador contrapesado, para movimiento de cargas paletizadas en altura, con la característica, de que goza de mayor manejabilidad que un apilador normal. Su peso máximo de carga es de 1.200 kilos y la altura máxima de elevación de 4,5 metros.



**Figura 7. AGV tipo contrapeso con una mayor capacidad que el apilador convencional.**

#### **2.7.4 Retractable**

AGV retráctil es muy práctico para el apilado de cargas muy pesadas y a grandes alturas de elevación. Ofrece un peso máximo de carga de 2.500 kilos y una altura máxima elevación de 10 metros. A partir de la mecánica base del retráctil, se pueden incluir diversos implementos en función de la carga a transportar o de las necesidades del cliente: rodillos, en vez de palés, para recoger la carga; horquillas dobles o triples, para el transporte de varios palés simultáneamente; horquillas curvas, para el transporte de bobinas en horizontal y vertical, horquillas ajustables, para palés de dimensiones distintas que el europalé.



**Figura 8. AGV tipo retráctil o telescópico para grandes elevaciones.**

### 2.7.5 Transportador de rodillos o cadenas para carga/descarga lateral

Empleado en muy específicas en la que se requiera realizar la carga lateral de las *palets* (Figura 9). Puede basarse en uno de los AGV's anteriores con un implemento que incorpora el transportador. Se utiliza al final de una línea de producción para el transporte fácil, continuo y seguro del producto finalizado a la zona de bodega o de transporte. Este tipo de robots móviles son menos complejos ya que solo debe soportar cierto límite de carga y sin necesidad de elevar, simplemente transportar lateralmente la carga.



Figura 9. AGV transportador para carga/descarga por medio de rodillos.

### 2.7.6 Para movimiento de bobinas en horizontal

Este tipo de AGV son muy utilizado es la metalurgia para transportar rollos de aluminio, en la industria textil, el en las imprentas de periódicos para cargar los rollos de papel periódico, ya que se usa en toda aplicación en que se requiera manipular bobinas de eje horizontal (figura 10). Este también se puede basar en uno de los AGV's anteriores transformando sus horquillas para la manipulación de bobinas.



Figura 10. Transportador de bobina de papel en forma horizontal.



### 2.7.7 Para movimiento de bobinas en vertical

Empleado en aquellas aplicaciones en que se requiera manipular bobinas de eje vertical (Figura 11). Al igual que los pasados, este también puede basarse en uno de los AGV's anteriores equipándolo con un implemento de pinza que permita manipular las bobinas.



Figura 11. AGV transportador de bobina de papel de forma vertical.

### 2.7.8 Para movimiento de varios palets en horquillas

Empleado para el movimiento de varias *palets* o medias *palets* de forma simultánea (Figura 12). Puede basarse en uno de los AGV's anteriores equipándolo con un sistema de horquillas que permita manipular varios *palets* simultáneamente.



Figura 12. AGV transportador multipalets para cargas considerables.

### **2.7.9 Tractor**

AGV tractor, como su nombre lo indica son robot móviles que tiene como principal característica una gran fuerza de arrastre, ya que pueden llegar a arrastrar desde unas cuantos cientos de kilogramos hasta varias decenas de toneladas, todo depende de la aplicación que se requiera, son altamente usados en fábricas para trasladar materiales de un área de trabajo a otra.

Estos vehículos necesitan de motores muy potentes para generar el torque necesario para poder generar la fuerza de arrastre necesaria, pueden ser de motores eléctrico con distintas configuraciones de las ruedas todo depende de las necesidades del cliente (Figura 13).



**Figura 13.1 AGV tipo tractor para remolcar gran cantidad de peso y volumen.**

### **2.7.10 Transporte de carros de servicio en hospitales**

AGV para hospitales, destinados a automatizar todos los procesos logísticos del hospital, como por ejemplo: servicio de cocina, para reparto y recogida de los contenedores de comida; servicio de lavandería, con servicio de reparto de ropa limpia y recogida de contenedores de ropa sucia;

servicio de farmacia, con reparto de los medicamentos y productos de farmacia; y servicio de archivos, para el reparto de historiales médicos, etc. A partir de una plataforma de transporte a medida, los modelos variarán en función del número de ruedas motrices y de la carga a transportar (capacidad máxima de carga: 750 kilos).



Figura 14. AGV para uso hospitalario con una carga máxima de 60 Kg de la compañía Adept Technology.

## 2.8 Sensores

---

De forma similar a los seres vivos, los sensores facilitan la información necesaria para que los robots interpreten el mundo real. Todo robot debe tener al menos un sensor con el que interactuar. La mayoría de los sistemas robóticos incluyen al menos sensores de obstáculos (bumpers) y algún sensor de guiado por infrarrojos o ultrasonidos. Los sensores avanzados, además de detectar algo, son capaces de reportar una medida de lo detectado, como puede ser un sensor de temperatura, o un medidor de distancias ultrasónico por ejemplo.

Para entender un poco mejor describiremos lo que es un sensor; es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida.

El número de sensores disponibles para las distintas magnitudes físicas es tan elevado que no se puede proceder racionalmente a su estudio sin clasificación previamente de acuerdo con algún criterio.

**Tabla 1. Clasificación de los sensores por criterio.**

| <b>Criterio</b>            | <b>Clases</b>    | <b>Ejemplos</b>             |
|----------------------------|------------------|-----------------------------|
| <b>Aporte de energía</b>   | ▪ Moduladores    | ✓ Termistor                 |
|                            | Generadores      | ✓ Termopar                  |
| <b>Señal de salida</b>     | ▪ Analógicos     | ✓ Potenciómetro             |
|                            | ▪ Digitales      | ✓ Codificador de posición   |
| <b>Método de operación</b> | ▪ De deflexión   | ✓ Acelerómetro de deflexión |
|                            | ▪ De comparación | ✓ Servoacelerómetro         |

Desde el punto de vista de ingeniería electrónica, es más atractiva la clasificación de los sensores de acuerdo con el parámetro variable: resistencia, capacitivo, inductancia, añadiendo luego los sensores generadores de tensión, carga o corriente, y otros tipos. Este tipo de clasificación permite reducir en pocos grupos y se puede hacer un buen estudio de los acondicionadores ordinarios para las magnitudes más frecuentes.

### **2.8.1 Sensor laser**

Un sensor de este tipo es un dispositivo que permite detectar con una gran precisión la posición en la que se encuentra un objeto en relación a un punto; tiene una importante aplicación al detectar la presencia significativa de pequeños objetos que pierden.

### **2.8.2 Ultrasonicos**

El sensor ultrasónico emite cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración. Este impulso se propaga a la velocidad del sonido por el aire. Al encontrar un objeto, es reflejado y vuelve como eco al sensor ultrasónico. Este último calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción de la señal de eco.

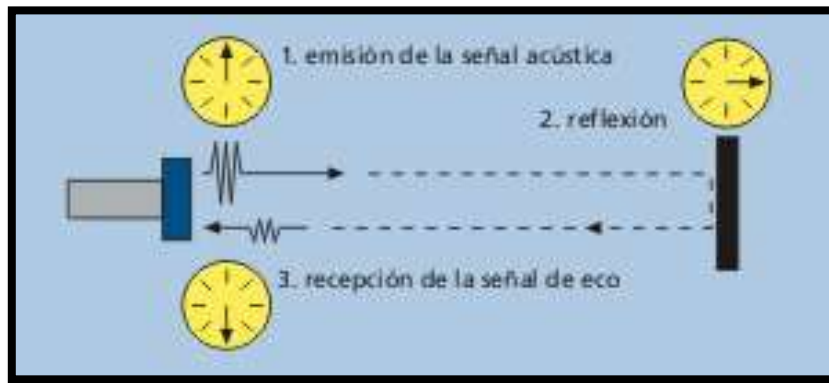


Figura 15. Principios de funcionamiento de sensor ultrasónico.

### 2.8.3 Encoders

La medida de posiciones lineales y angulares ha sido hasta el momento el único campo con abundantes desarrollos comerciales de sensores con salida digital, incluso antes de la era del microprocesador. Aun así, un grupo de estos sensores, solos denominados encoders incrementales, es de tipo “casi digital”, pero por razones de afinidad exponen aquí.

#### 2.8.3.1 Encoder incremental

En un codificador de posición incremental hay un elemento lineal o un disco con poca inercia que se desplaza solidario a la pieza cuya posición se desea determinar. Dicho elemento posee dos tipos de zonas o sectores, con una propiedad que las diferencia, dispuestas de forma alternativa y equidistante (Figura 16), de este modo, un incremento de posición produce un cambio definido en la salida si se detecta dicha propiedad cambiante con la posición mediante un dispositivo o cabezal de lectura fijo. La resolución, de un sensor angular dada como número de impulsos de salida, es:

$$N = \frac{\pi D}{2X} \dots\dots\dots \text{Ec. (2.1)}$$

dónde: D es el diámetro del disco.

X la anchura de cada sector codificado.

La simplicidad y economía de esta técnica no admiten duda, pero tienen una serie de inconvenientes que conviene señalar. Como primer punto, la información sobre la posiciones pierde en cuanto falla la alimentación del sistema, o simplemente cuando se desconecta, y en presencia de interferencias fuertes. El segundo punto es necesario un contador bidireccional para tener una señal digital compatible con un ordenador.

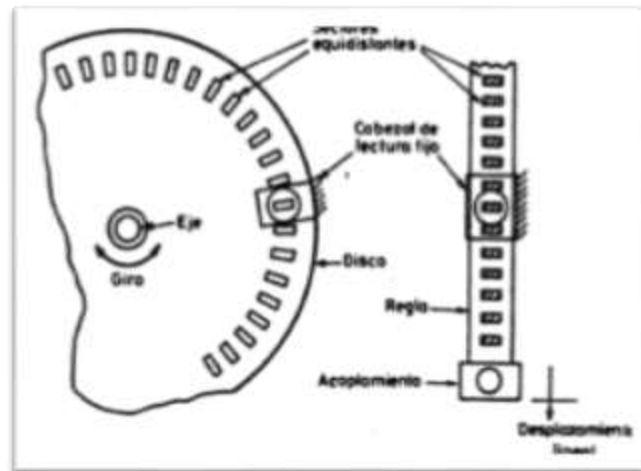


Figura 16. Principio de los codificadores de posición incrementales para posiciones lineales y angulares.

### 2.8.3.2 Encoder absoluto

Los codificadores de posición absolutos ofrecen a su salida una señal codificada correspondiente a la posición de un elemento móvil, regla o disco, con respecto a una referencia interna. Para ello, el elemento móvil dispone de zonas con una propiedad que distingue, y a las que asigna un valor binario "0" o "1". Pero, a diferencia de los codificadores incrementales, hay varias pistas con zonas diferenciales y están agrupadas de tal forma que el sistema de lectura obtiene directamente, en cada posición del elemento móvil, el número codificado que da una posición (Figura 17). Cada pista representa un bit de salida, siendo la pista más interior la correspondiente al bit de mayor

peso. Los tipos de sensores más empleados en este caso son los ópticos, con zonas opacas y transparentes y, en menor medida, los de contacto como el TSL214.

Estos codificadores tienen inmunidad intrínseca frente a las interrupciones e interferencias electromagnéticas, pero ello es a costa de uno de los cabezales de lectura que son mucho más complejos que en los codificadores incrementales. Consecuencia al gran número de elementos de lectura como pistas y a la necesidad de que todos ellos estén bien alineados, pues, de lo contrario el código de bits correspondiente a la salida puede estar formado por bits correspondientes a dos posiciones contiguas.

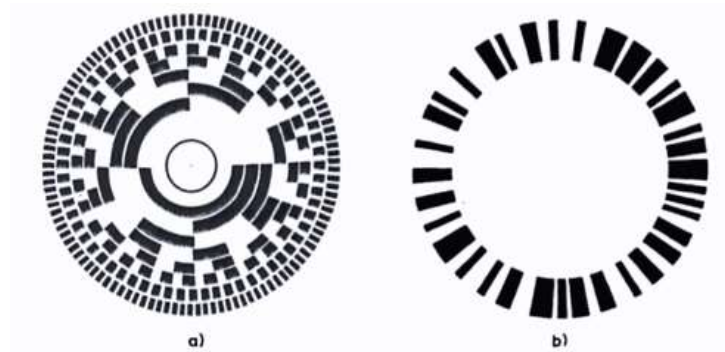


Figura 17. Disco de un codificador digital (a) con pista externa para aumentar la resolución y codificador absoluto (b) basado en un código pseudoaleatorio.

#### 2.8.4 Sensor de contacto

Los sensores de contacto son los dispositivos más simples de todos los sensores que podemos encontrar, ya que son interruptores que se activan o desactivan si se encuentran en contacto con un objeto, por lo que de esta manera reconoce la presencia de un objeto en un determinado lugar.

Su simplicidad de construcción añadido a su robustez, los hacen muy empleados en la construcción de robótica móvil. La descripción de este tipo de sensores es muy simple, el bumper es un conmutador de 2 posiciones con muelle de retorno a la posición de reposo y con una palanca de accionamiento más o menos larga según el modelo elegido.

En cuanto a su funcionamiento de un bumper, es muy sencillo (Figura 18): en estado de reposo la

patilla común (C) y la de reposo (R) están en contacto permanente hasta que la presión aplicada a la palanca del bumper hace saltar la pequeña pletina acerada interior y entonces el contacto pasa de la posición de reposo a la de activo (A), se puede escuchar cuando el bumper cambia de estado, porque se oye un pequeño clic, esto sucede casi al final del recorrido de la palanca.

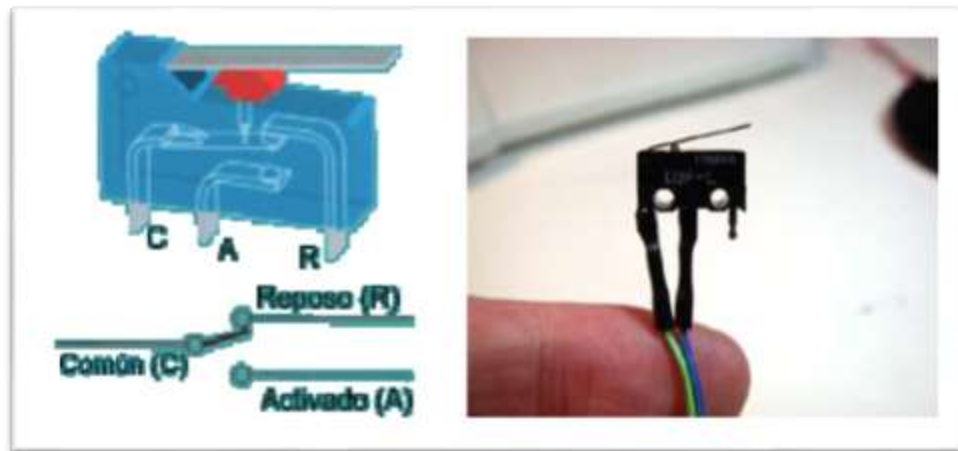


Figura 18. Configuración de ON/OFF de un bumper común.

Como la distancia hacia el objeto es medida por medio del tiempo de recorrido del sonido, y no por una medición de la intensidad, los sensores ultrasónicos son insensibles hacia el ruido de fondo. Prácticamente todos los materiales que reflejan el sonido son detectados, independientemente de su color. Aún materiales transparentes o láminas delgadas no presentan problemas para los sensores ultrasónicos.

Los sensores funcionan en medio polvoriento o en una niebla de pintura. Depósitos delgados sobre la membrana del sensor tampoco influyen sobre la función. Los sensores con una zona ciega de sólo 20 mm y con un haz acústico extremadamente delgado abren en la actualidad un abanico de aplicaciones completamente nuevas: Las mediciones de estado de llenado en pocillos de placas microtiter y tubos de ensayo como también el escaneado de botellas pequeñas en la industria de los embalajes pueden llevarse a cabo sin problemas.



## 2.9 Controladores

---

### 2.9.1 DSP

Un DSP (*Digital Signal Processor*) o Procesador Digital de Señales es un microprocesador especializado en el análisis de señales en tiempo real. Se caracteriza por poseer un set de instrucciones que permiten manejar de manera eficiente el procesamiento de una señal. Un DSP proporciona una rapidez y baja latencia, que permite el procesamiento de señales en tiempo real, y aun así siendo una herramienta de bajo consumo.



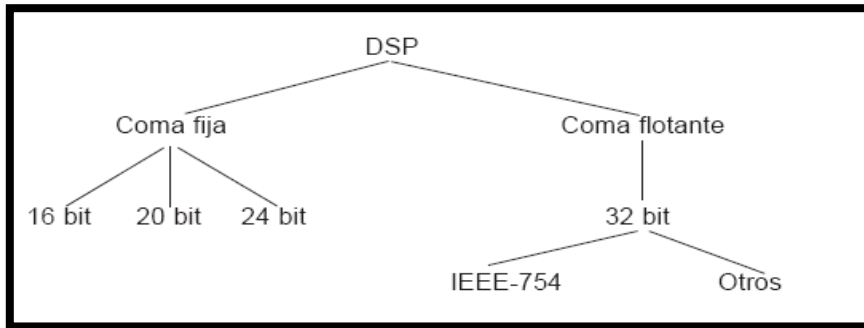
Figura 19. DSP marca Texas Instruments.

#### 2.9.4.1 DSP características

La elección de un DSP que posea unas ciertas características estará muy condicionada a la aplicación que se quiera destinar. En este apartado se presenta un conjunto de aspectos característicos de los DSP sin que se pretenda con ello hacer una lista exhaustiva. Dichos aspectos deberán tenerse en cuenta a la hora de su elección para una aplicación en particular.

#### **Formato aritmético**

Una de las características fundamentales de los DSP es el tipo de formato aritmético utilizado por el procesador.



**Figura 20. Relación entre formato numérico y número de bits del DSP**

La figura muestra la estrecha relación entre formato numérico y número de bits del DSP. Para un mismo tamaño en número de bits, el formato en coma fija proporciona una mejor resolución que el formato en coma flotante. Sin embargo, es este último quien posee un margen dinámico superior. En consecuencia, los DSP de coma flotante son generalmente más fáciles de programar que los de coma fija, pero son usualmente más caros. El mayor coste es resultado del requisito de una mayor complejidad circuital que se traduce en un mayor tamaño de chip. Sin embargo, el mayor margen dinámico facilita su programación pues el programador no debe preocuparse por el margen dinámico ni por la precisión. Por el contrario, en los DSP de coma fija el programador a menudo debe escalar las señales en sus programas para asegurar una adecuada precisión numérica con el limitado margen dinámico de DSP de coma fija. Por lo general, las aplicaciones con un gran volumen de unidades y/o bajo consumo utilizan los DSP de coma fija al ser la prioridad en este tipo de aplicaciones el bajo coste. Los programadores determinan el margen dinámico y la precisión necesarias de la aplicación, ya sea analíticamente o a través de simulaciones, y entonces aplican operaciones de escalado dentro del código de la aplicación en los puntos en donde sea necesario. En aplicaciones donde el coste no sea un requisito crítico o que demanden un margen dinámico y precisión elevadas, o donde la facilidad de desarrollo sea vital, los DSP de coma flotante poseen ventaja.

### **Ancho de palabra**

Los DSP de coma flotante utilizan un bus de datos de 32 bits. En los DSP de coma fija, el tamaño más común es de 16 bits. El tamaño del bus de datos tiene un gran impacto en el coste, ya que influye notablemente en el tamaño del chip y el número de patillas del encapsulado. Por lo tanto, se intenta utilizar el integrado con el menor tamaño de palabra que la aplicación pueda tolerar. La

mayoría de los DSP utilizan un ancho de la palabra de instrucción igual a la de los datos, pero no todos lo hacen.

## **Velocidad**

La medida clave para saber si un DSP es o no apropiado para una aplicación es su velocidad de ejecución. Existen varias formas para medir la velocidad de un procesador, aunque quizás el parámetro más usual es el tiempo de ciclo de instrucción: tiempo necesario para ejecutar la instrucción más rápida del procesador. Su inverso dividido por un millón da lugar a la velocidad del procesador en millones de instrucciones por segundo o MIPS. En la actualidad todos los DSP ejecutan una instrucción por ciclo de instrucción.

El parámetro MIPS, se miden de forma muy precisa aunque su valor no necesariamente dice mucho de lo que un determinado DSP es capaz de hacer. Dichos valores sirven para ubicar cada DSP en una categoría amplia en cuanto a prestaciones pero uno se debería preguntar si se trata de valores de pico o sostenidos. Además, también nos deberíamos preguntar cómo se ven afectadas las prestaciones del DSP cuando muchos de los datos se encuentran fuera del chip, en la memoria externa.

Una solución a estos problemas consiste en decidir una operación básica y utilizarla como referencia al comparar distintos DSP. La operación que suele tomarse como referencia es la MAC. Desafortunadamente, los tiempos de ejecución de la MAC proporcionan, a veces, poca información. La mayoría de ellos esta instrucción se ejecuta en un solo ciclo de instrucción. En este sentido, una buena referencia pueden ser los tests que efectúa la Berkeley Design Technology, Inc., pionera en utilizar distintas porciones de algoritmos y funciones para medir las prestaciones de los diferentes DSP.

## **Organización de la memoria**

La organización del subsistema de memoria de un DSP puede tener un gran impacto en sus prestaciones. Como se ha mencionado anteriormente, la instrucción MAC, así como otras, son fundamentales en muchos de los algoritmos de procesado de señal. Una ejecución rápida de la instrucción MAC requiere que la lectura en memoria del código de la instrucción y de sus dos operando se haga en un ciclo de instrucción. Existe una variedad de formas de hacerlo, utilizando

memorias multipuerto para permitir múltiples accesos a memoria en un ciclo de instrucción, mediante memorias de datos e instrucciones separadas (arquitectura Harvard), y memorias caches de instrucciones para permitir el acceso a la memoria para la obtención de datos mientras que las instrucciones se obtienen de la cache en lugar de la memoria.

La mayoría de los DSP de coma fija poseen memorias internas, en el propio chip, de tamaño pequeño medio, entre 256 y 32k palabras, y un bus externo de direcciones pequeño, limita la cantidad de memoria externa de acceso directo. Por el contrario, la mayoría de los DSP de coma flotante proporcionan poca o ninguna memoria interna, pero se caracterizan por tener buses de direcciones externos de gran tamaño, para soportar una gran cantidad de memoria externa.

### **Segmentación**

“Pipelining” es una técnica para incrementar las prestaciones de un procesador, que consiste en dividir una secuencia de operaciones en otras de más sencillas y ejecutar en lo posible cada una de ellas en paralelo. En consecuencia se reduce el tiempo total requerido para completar un conjunto de operaciones. Casi todos los DSP del mercado incorporan el uso de la segmentación en mayor o menor medida.

Aunque la mayoría de los DSP utilizan la técnica de segmentación, su profundidad o número de etapas varía de un procesador a otro. En general, cuanto mayor sea el número de etapas menor tiempo tardará el procesador en ejecutar una instrucción.

### **Consumo**

El uso cada vez más extendido de los DSP en aplicaciones portátiles como la telefonía celular hace que el consumo sea un factor a tener muy en cuenta en el momento de decidirse por un DSP u otro. Conscientes de esta necesidad, los fabricantes de DSP ya fabrican DSP para tensiones bajas de trabajo (3,3 V -3 V) que incorporan prestaciones para la gestión de energía, como pueden ser los modos “sleep” o “idle” que inhiben el reloj del DSP a todas o sólo algunas partes del mismo, divisores programables del reloj para permitir la realización de determinadas tareas a velocidad inferior o en control directo de periféricos, lo que permite la desactivación de algunos de ellos si no se prevé su aplicación.

### **Coste**

Generalmente el coste del DSP es el principal parámetro en todos aquellos productos que se van a fabricar en grandes volúmenes. En tales aplicaciones, el diseñador intenta utilizar el DSP con coste inferior y que satisfaga las necesidades de la aplicación aun cuando ese dispositivo pueda ser considerado poco flexible y más difícil de programar que otros DSP más caros. De entre las familias de DSP, el más barato será aquel que tenga menos características funcionales, menos memoria interna y probablemente menos prestaciones que otro más caro. Sin embargo, una diferencia clave en el precio está en el encapsulado.

## **2.10 Arquitectura de altas prestaciones**

---

Hablar de DSP obliga a hacer referencia a las nuevas arquitecturas VLIW (Very Long Instruction Word) que están siendo adoptadas por los DSP de muy altas prestaciones. Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) demandan cada vez más recursos para poder procesar grandes volúmenes de datos. Hasta ahora, los avances en la capacidad de cómputo de los procesadores se han basado en el aumento de la velocidad del reloj y en innovaciones en la planificación, por parte del hardware, de la ejecución de instrucciones. Este modelo actual presupone que cada nueva generación de procesadores es capaz de ejecutar más instrucciones y será difícil que las arquitecturas tradicionales continúen doblando prestaciones cada 12-18 meses sin que se emigre a una nueva tecnología. El número de instrucciones por ciclo aumenta y también lo hace el número de interdependencias entre instrucciones a comprobar para determinar qué instrucciones pueden ejecutarse de forma simultánea. La lógica compleja requerida para la correcta planificación de instrucciones ocupa una gran parte del silicio del procesador y empieza a no tener sentido dedicar una gran parte de los recursos del procesador a la planificación de instrucciones.

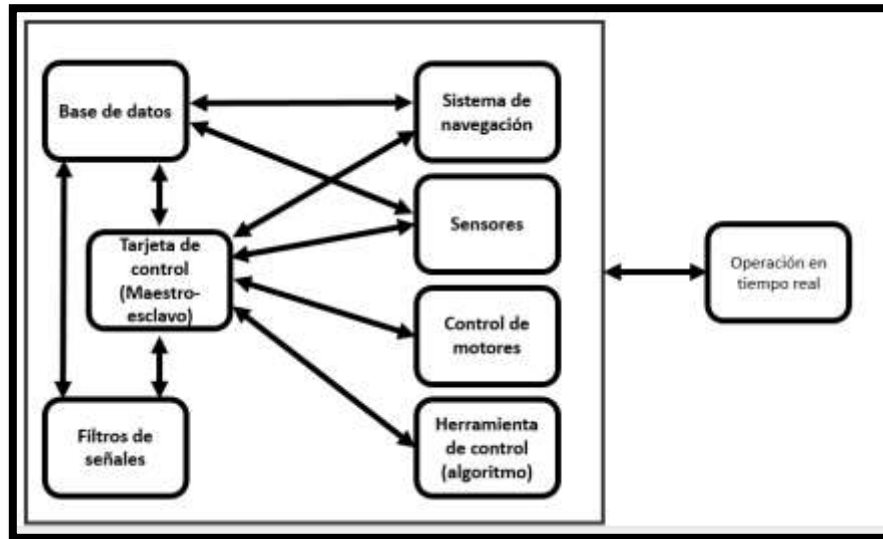
En su lugar, parece tener más sentido utilizar ese silicio para poder ejecutar más instrucciones por ciclo, incorporando más unidades funcionales y aumentar así el paralelismo de ejecución, mientras que la planificación de instrucciones se realiza por el compilador. Éste es el principio en que se basa la arquitectura VLIW. Esta reducción de complejidad, hardware más sencillo y menor número de transistores, permite incrementar la velocidad del reloj y al mismo tiempo reducir el consumo.

El concepto de arquitectura VLIW no es nuevo ya que desde 1975 han ido apareciendo procesadores VLIW pero siempre más a un nivel de prototipo que a nivel comercial. Sin embargo, no ha sido hasta hace relativamente poco, aproximadamente en 1997, que los esfuerzos

en la mejora del compilador, en aspectos de paralelismo ha hecho que estos procesadores sean realmente eficientes. Tradicionalmente, las ventajas asociadas con la arquitectura VLIW eran difíciles de conseguir y su futuro era cuestionable. La falta de compiladores eficientes a menudo significaba que el programador tuviera que pasar muchas horas tratando de optimizar, la mayoría de las veces sin éxito, su extenso código para mejorar las prestaciones de la aplicación.

Las arquitecturas VLIW están estrechamente relacionadas con los procesadores superescalares. Ambos tratan de aumentar la velocidad computacional mediante paralelismo a nivel de instrucciones en el que se utilizan múltiples copias de algunas etapas de la “pipeline” o unidades de ejecución trabajando en paralelo. Las dos diferencias principales recaen en cómo se formulan las instrucciones y en cómo se realiza su planificación o secuenciación. En una arquitectura VLIW, las instrucciones poseen un formato grande de palabra compuesto por múltiples instrucciones independientes que incluye un campo de control para cada una de las unidades de ejecución. El tamaño de la instrucción depende de dos factores: el número de unidades de ejecución disponibles y la longitud de código requerida para cada una de ellas. Una consecuencia de ello es que los buses internos de datos y de instrucciones son de mayor tamaño. Por otro lado, a diferencia de los procesadores superescalares en los que la planificación de las instrucciones para buscar el máximo paralelismo la realiza el propio procesador, en las arquitecturas VLIW esta tarea la realiza el compilador. Esta planificación es conocida como estática (“static scheduling”). Una ventaja inmediata de este tipo de planificación es que permite dedicar más tiempo a encontrar la mejor optimización, aunque esto hace que el compilador sea más complejo ya que sobre él recae la responsabilidad de agrupar de la mejor forma posible las instrucciones.

### **2.10.1 Arquitectura usual para el control de vehículos remolcadores**



**Figura 21.** *Diagrama a bloques de la estructura básica de control de un vehículo remolcador autónomo [2].*

Con referencia a la Figura 21, se muestra un diagrama de bloques de la arquitectura de hardware principal para una realización de un vehículo remolcador autónomo. El hardware incluye un sistema operativo en tiempo real, un módulo de gestión de base de datos, un módulo de programa de control maestro, un módulo de detección y resolución de fallos, un módulo de navegación, un módulo de gestión de sensores, un módulo de control de motor de accionamiento y un módulo de control de herramientas. El sistema operativo en tiempo real crea el entorno para que el resto de módulos funcionen.

## **CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO**

---



### **3.1 Características del diseño eléctrico**

El diseño eléctrico debe cumplir con diferentes condiciones para su implementación en el vehículo remolcador, ya que necesita elementos de seguridad, así como también establecer los parámetros de control y dirección del vehículo, a continuación se presentan los objetivos principales para el desarrollo y validación del sistema eléctrico para el control de dirección y tracción en el vehículo remolcador:

- Establecer los parámetros de control de tracción mediante los sensores Hall del motor trifásico en el vehículo remolcador.
- Diseñar un diagrama eléctrico de paro de emergencia el cual inhabilite el vehículo hasta su reinicio total
- Diseñar un circuito de protección de corto circuito.
- Diseñar e Implementar una interfaz de control manual de tracción y dirección.
- Implementar sensores ultrasónicos para la detección de objetos.
- Implementar sistema de posicionamiento del motor de dirección.
- Implementación de botonera o interfaz de cambio manual/automático, así como también un botón de START que se utilizara en el sistema de control automático.
- Implementación de torreta guía.

### **3.2 Diseño eléctrico**

En el anexo 1, se puede observar el diseño eléctrico implementado en el vehículo AGV, donde podemos explicar lo siguiente:

El diseño electrónico cuenta con paros de emergencia los cuales cumplen con la función de cortar la alimentación del vehículo, así como también un apago total del vehículo, recalcando que al momento de quitar el suministro de corriente al vehículo, este desactiva el freno eléctrico del motor de tracción haciendo que este detenga súbitamente el vehículo, haga saber que se usó la palabra desactivar, ya que el freno eléctrico al ser encendido este libera el motor de tracción y al ser apagado este anula el movimiento del motor. Además el circuito eléctrico cuenta con un accionamiento por llave y una memoria de enclave, lo cual significa que este tiene un sistema de

retardo al momento de apagar el vehículo, esto fue requerido ya que el sistema de localización controlado por un computador requiere de cierto tiempo para apagar sus sistema correctamente, este tiempo es proporcionado al desactivar el contactor de llave. Además el circuito cuenta con las protecciones pertinentes en caso de un corto circuito así como también un relevador termo magnético el cual permite al sistema de dirección estar protegido en caso de un corto circuito, este sistema permite posicionar el contactor a su posición de activación sin necesidad de cambiar su fusible, así como lo es en los casos de los fusibles de 3, 8 y 10 Amperes.

### 3.3 Selección de componentes

La selección de componentes y herramientas se hizo a partir de la necesidad básica de la implementación del circuito eléctrico y electrónico en el vehículo, a continuación se presenta la lista de componentes que se cotizaron y utilizaron.

Tabla 2. Lista de componentes

| #  | Componente o herramienta   |
|----|--|
| 1  | AMPHENOL INDUSTRIAL 97-3101A-20-27S Circular Connector, Receptacle, 14, Socket, Solder |
| 2  | AMPHENOL INDUSTRIAL 97-3106B-20-27P Circular Connector, Pin, Solder, Cable Mount       |
| 3  | AMPHENOL INDUSTRIAL 97-3057-12 Circular Connector Clamp,y, 19.05 mm                    |
| 4  | AMPHENOL INDUSTRIAL 97-3057-1012 Circular Connector Clamp, , 19.05 mm                  |
| 5  | AMPHENOL INDUSTRIAL 97-79-513-12 Circular Connector Cable Clamps                       |
| 6  | WEIDMULLER 1760490000 Wire-To-Board Terminal Block, 2, 300 V, 16 A, 24 AWG, 14 AWG     |
| 7  | TE CONNECTIVITY / POTIER & BRUMFIELD K10P-11D15-24 DPDT, 24 VDC, 15 A                  |
| 8  | TE CONNECTIVITY / POTIER & BRUMFIELD 27E487 RELAY SOCKET                               |
| 9  | TE CONNECTIVITY / POTIER & BRUMFIELD 20C297 RELAY SOCKET HOLD-DOWN CLIP                |
| 10 | BOURNS 3296W-1-103LF TRIMMER POTENTIOMETER, 10K OHM 25 TURN THROUGH HOLE               |
| 11 | BOURNS 3006P-1-103LF TRIMMER, 10 KOHM, 15 TURN, THROUGH HOLE                           |
| 12 | BRADY M21-375-595-WT LABELING TAPE, VINYL, 9.53MM X 6.4M, BLACK/WHITE                  |
| 13 | BRADY BMP21-AC AC PLUG-IN ADAPTER  |
| 14 | XCELITE XP600 PRECISION SLOTTED PHILLIPS SCREWDRIVER SET, ESD SAFE                     |
| 15 | KESTER SOLDER 24-6040-0027 SOLDER WIRE, 60/40 SN/PB, 190°C, 1LB                        |
| 16 | WELLER TC205 REPLACEMENT SPONGE  |
| 17 | WELLER EIS Soldering Iron Tip, Conical, 0.38 mm  |
| 18 | DURATOOL 908-366A-F DESOLDERING GUN  |
| 19 | EXCELTA 7-SA-SE PRECISION TWEEZER, 4.5IN   |
| 20 | TE CONNECTIVITY / POTIER & BRUMFIELD K10P-11D15-24 Power Relays, PDT, 24 VDC, 15 A     |
| 21 | TE CONNECTIVITY / POTIER & BRUMFIELD 27E487 RELAY SOCKET                               |
| 22 | TE CONNECTIVITY / POTIER & BRUMFIELD 20C297 RELAY SOCKET HOLD-DOWN CLIP                |

|    |   |
|----|---|
| 23 | <b>WEIDMULLER 1760490000 Wire-To-Board Terminal Block,2, 300 V, 16 A, 24 AWG, 14 AWG</b>          |
| 24 | <b>BUSSMANN BYEATON AGU-40 FUSE, 40A, 32V, FERRULE, FASTACTING</b>                                |
| 25 | <b>BUSSMANN BYEATON C10G32 FUSE, 32A, 10X38, 400V</b>   |
| 26 | <b>BUSSMANN BYEATON BAF-30 FUSE, 30A, 125V, FASTACTING</b>  |
| 27 | <b>LITTELFUSE L60030MIC FUSEBLOCK, 10.3 X 38MM, SCREW MOUNT</b>                                   |
| 28 | <b>LITTELFUSE 0312035.MXP FUSE, FASTACTING, 32V, 35A, 3AG</b>                                     |
| 29 | <b>LITTELFUSE 03420004H FUSEHOLDER, 6.3 X 32MM, PANEL MOUNT</b>                                   |
| 30 | <b>IDEC ASW211 SWITCH, SELECTOR, DPST-1NO/1NC 10A, 600V</b>                                       |
| 31 | <b>IDEC ASW220 SWITCH, SELECTOR, DPDT-2NO, 10A, 600V+B15B11:B32B7:B32A4:B32B24B19:B32AB19:B32</b> |

## **CAPÍTULO 4 – EXPERIMENTACION Y RESULTADOS**

---

## 4.1 Implementación del diseño eléctrico

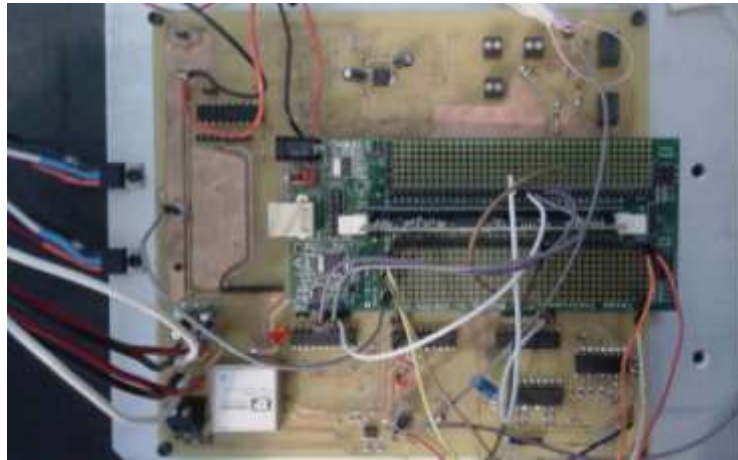


Figura 22. Tarjeta electrónica de pruebas.

A la par del desarrollo del circuito eléctrico se llevaron a cabo las pruebas con el circuito electrónico el cual gobierna al sistema de tracción y dirección del vehículo, por lo cual en la figura 22 se observa la implementación y experimentación del circuito eléctrico en conjunto al circuito eléctrico de potencia para gobernar el vehículo. Los experimentos inicialmente se llevaron a cabo en el laboratorio de robótica e inspección industrial en CIDESI, se colocaban soportes en los extremos del vehículo para evitar su movimiento y se realizaron las pruebas de tracción.

En un principio las señales de control para el motor de tracción constaban de mandar voltaje mediante sus dos sensores Hall los cuales determinan el movimiento; los valores de voltaje para esta condición son los siguientes:

Tabla 3. Valores en sensores Hall.

| # | Nombre        | Valor mínimo | Valor medio | Valor máximo |
|---|---------------|--------------|-------------|--------------|
| 1 | Sensor Hall 1 | 1 V          | 2.3 V       | 3.1 V        |
| 2 | Sensor Hall 2 | 1.1 V        | 2 V         | 4.5 V        |

EN la tabla 3 podemos observar los valores máximos y mínimos para obtener una respuesta del motor de tracción, en donde los valores medios nos indican un estado de reposo del vehículo, así como también los valores máximos definen la velocidad máxima en reversa del vehículo y los valores mínimos de voltaje indican la velocidad máxima en avance del vehículo, este vehículo alcanza una velocidad máxima de reversa de 3 km/hr y de avance una velocidad de 6 km/hr.



**Figura 23. Implantación de sistema eléctrico y electrónico de dirección.**

Además, se creó un control el cual proporciona al usuario una forma más fácil para controlar los parámetros de tracción y dirección del vehículo mediante dos joysticks que permiten el cambio de voltaje como se mencionó en la tabla 3, dicho control está ubicado en la parte superior del vehículo entre la batería y el espacio del conductor, esto permite al conductor tener un mejor control sobre el vehículo.



**Figura 24. Tarjeta de control para vehículo AGV.**



**Figura 25. Implementación y cableado del circuito eléctrico.**

La implementación de la tarjeta de control (Figura 24) y circuito eléctrico se llevó a cabo en la planta Mabe Leiser en la ciudad de San Luis Potosí, así como también la integración de los circuitos de seguridad y dispositivos de potencia para los dos motores (tracción y dirección). El cableado y construcción del vehículo AGV se basó en el diseño mostrado en el anexo 1 (Figura 25 y Anexo I).

En la figura 25 se puede apreciar en la parte inferior del vehículo el sistema eléctrico y electrónico implementado en el vehículo.

#### **4.2 Pruebas**

Las pruebas de validación en los sistemas eléctricos y electrónicos de control en el vehículo remolcador, se basaron en el monitoreo y comportamiento del vehículo a lo largo de un trayecto de 10 metros, así como también pruebas del vehículo postrado sobre dos soportes que no permitían su movimiento, esto permitió tener un control absoluto del vehículo sin tener mayor complicación de tener un accidente.

Las pruebas de tracción consistieron en una serie de experimentos cambiando el rango de voltaje y estableciendo mediante programación del controlador el rango apropiado de movimiento de tracción del vehículo. Además las pruebas de dirección se establecieron los valores de velocidad y tracción del motor, por ello se hicieron varias pruebas direccionando el motor acoplado a un eje de la rueda de un lado hacia al otro, observando la respuesta del sistema de dirección, logrando que este sistema no tuviera ningún sobrepaso o aumento de corriente al momento de realizar su movimiento.

### 4.3 Resultados



**Figura 26. Vehículo AGV**

Los resultados obtenidos a lo largo de esta implementación fueron los siguientes:

1. Análisis del comportamiento de las variables más significativas de tracción y dirección.
2. Manual del diseño esquemático del circuito electrónico.
3. Documentación para la obtención de grado como tecnólogo en mecatrónica.

Esto culminó con la obtención de un sistema eléctrico capaz de soportar las cargas del vehículo así como también la adaptación del sistema para la obtención de un vehículo AGV.



## CONCLUSIÓN

---

Es posible realizar un sistema eléctrico el cual cumpla las características fundamentales para el control del vehículo remolcador guiado autónomamente (tracción y dirección), esto permitirá tener un control absoluto sobre el vehículo y obtener un vehículo capaz de trasladar materiales a través del área de trabajo de manera segura, continua y permitiendo mejorar los tiempos de entrega.

## BIBLIOGRAFÍAS

---

- [1] Tuan Le-Anh, M.B.M. De Koster. (30 April 2003). A review of design and control of automated guided vehicle systems. Elsevier, 171 2016, 23.
- [2] Wu Xing, Lou Peinhuang, Zhou Chidong, Shen Ke, Jin Chen. (September 2012). Design and control of material transport system for automated guided vehicle. UKACC International Conference on Control 2012 Elsevier, 3-5 September 2012, 6.
- [3] Umit Blinge, Bogazici. (1997). AGV system with multi-load carriers: basic issues and potential benefits. UKACC International Conference on Control 2012 Elsevier, Volumen 16/ no.3, 1.
- [4] Alireza Khodayari, Ali Ghaffari, Sina Ameli, Jamal Flahatgar. (September 2010). A Historical Review on Lateral and Longitudinal Control of Autonomous Vehicle Motions. 2010 International Conference on Mechanical and Electrical Technology, Vol. 73, 9.
- [5] JiLiang Lou, HuiJuan Ni and MengChu Zhou. (2015). Control program design for automated guided vehicle system via Petri nets. IEEE, Vol. 45 January 2015, 44.
- [6] Nguyen Hung, Jae Sung Im, San-Kwung Jeong, Hak-Kyeong Kim and Sang Bong Kim. (2010). Design of a sliding mode controller for an automatic guided vehicle and its implementation. International Journal of Control, Vol. 8, 10.
- [7] Hamed Fazlollahabadi, Mohammad Saidi-Mehrabadi. (2015). Methodologies to optimize automated guided vehicle scheduling and routing problems: a review study. J Intell Robot Syst, Vol. 77, 1.
- [8] Rafael Arnav, Nestor Morales, Antonio Morell, Javier Hernandez-Aceituno. (2013). Safe and reliable path planning for the autonomous vehicle. IEEE, Vol. 16, 22.

- [9] Pius J. Egbelu. (1987). The use of non-simulation approaches in estimating vehicle requirements in an automated guided vehicle based transport system. University Park, Vol. 17, 16.
- [10] Ricardo Carelli, Humberto Secchi, Vicente Mut, Oscar Nasisi. (2017). Algoritmos estables para la navegacion de robots moviles en pasillos usando el flujo optico. INAUT, Vol. 21, 9.
- [11] Ronald J. Mantel, Henri R.A. Landweerd. (1995). Design and operational control of an AGV system. Elsevier, Vol. 257, 10.
- [12] Mauricio Pulido Lecona. (1999). Metodologia de integracion de un vehiculo autoguiado a un sistema de manufactura flexible. ITESM: ITESM.
- [13] Iluminada Baturone, Francisco J. Moreno-Velo, Santiago Sanchez-Solano y Anibal Ollero. (Agosto 2014). Automatic desgin of fuzzy controllers for car-like autonomous robots. IEEE, Vol. 12 No.4, 19.
- [14] Ming-Shyan Wang, Shih-Yu Wu y. (December 2014). Neural Network Control-Based Drive Design of Servomotor and Its Application to Automatic Guided Vehicle. Mathematical Problems in Engineering, Volume 2015, 9.
- [15] WU Xing LOU Peihuang TANG Dunbing. (2011). Integrated Motion Control of Path Tracking and Servo Control for an Automated Guided Vehicle. Mechanical and Electrical Engineering, 2011, 7.
- [16] WU Xing LOU Peihuang TANG Dunbing. (2008). Jiao Jun,,Chen Wuwei. Mechanical and Electrical Engineering, 2008, 8.
- [17] HEN Chao-ze,REN De-jun,HE Hua,DENG Chuan-yun . (2007). Magnetic Code Detection System Based on PLC,HMI and Servo Controlled Technology. Science and Engineering, 2008, 7.
- [18] Jiao Jun, Chen Wuwei, Wang Jixian. (2008). Single neuron PID control of AGV steering system based on RBF neural network on-line identi fication. Mechanical and Electrical Engineering, 2008, 8.
- [19] Bruce L. Inn, Fu-Shung (2007) Method of distinguishing between adult and cinched car seat occupants of a vehicle seat, Mechanical Departament of Hubei en China, 2005, 11.

# ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de diseño eléctrico implementado en el vehículo AGV.

