

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO DE PRUEBAS PARA EL
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ESTACIONAMIENTO
AUTÓNOMO MEDIANTE VISIÓN ROBÓTICA**

Tesis para optar el título de Magister en Ingeniería Mecatrónica

AUTOR:

José Antonio Osada Mochizuki

ASESOR:

Gustavo Kato Ishizawa

JURADO:

Julio C. Tafur Sotelo

Eddie A. Sobrado Malpartida

LIMA – PERÚ

2012

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un vehículo de pruebas que será parte de un sistema de estacionamiento automático mediante visión robótica, el cual permitiría a un vehículo real estacionarse sin la asistencia de un conductor en su interior.

La visión robótica del sistema mencionado no es parte del trabajo realizado, por lo cual se simulará su funcionamiento mediante el ingreso de los parámetros requeridos para el estacionamiento del vehículo, directamente desde una computadora. Esta etapa de visión robótica está actualmente siendo desarrollada como trabajo tesis por una alumna de la Maestría de Procesamiento Digital de Señales de la PUCP.

Para el presente trabajo se introducirán manualmente los datos que nos proporcionaría la etapa de visión robótica al programa de computadora. Este se encargará de generar los cálculos de la trayectoria que seguirá el vehículo de pruebas para estacionarse. Con ello se generarán las instrucciones que serán enviadas hacia el vehículo mediante un protocolo de comunicaciones inalámbrico. Finalmente el sistema electrónico implementado controlará el servomotor y el motor con caja reductora encargados de la dirección y del desplazamiento respectivamente. Un codificador incremental detectará el desplazamiento del vehículo garantizando así que el vehículo logre la trayectoria deseada. De ser implementado el sistema en un vehículo real, el proyecto plantea lograr con ello optimizar el espacio utilizado por los vehículos en las zonas de parqueo. Además también disminuir el tiempo que toma el aparcamiento del vehículo y reducir el riesgo de choque durante la maniobra.

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA DEL ESTACIONAMIENTO

1.1 Introducción

Actualmente en el mundo se estima que hay alrededor de 600 millones de autos; número que se incrementa rápidamente debido a la producción de vehículos que se realiza en países como China, Corea y otros mercados emergentes[1]. En nuestro país también se puede observar un incremento en el parque automotor especialmente en los últimos años. (Ver anexo 1)

De igual manera, la problemática de sobrepoblación y la falta de espacio en las ciudades requiere de soluciones que permitan optimizar el espacio de parqueo utilizado por los vehículos.

El desarrollo de un sistema autónomo para el estacionamiento en paralelo de vehículos permitiría reducir el espacio utilizado por estos, ya que dicho sistema utilizaría la cantidad óptima de espacio necesaria para realizar la maniobra, ejecutándola además de forma rápida y segura.

1.2 Problemas Comunes

Los hechos antes mencionados conllevan a una serie de situaciones que determinan la problemática a la cual el presente proyecto apunta como alternativa de solución.

Entre estas tenemos:

1.2.1 Exceso de vehículos

Al estar una zona de estacionamiento sobrepoblada de vehículos, estos intentarán estacionarse cada vez en menor espacio, incluso del designado por la señalización

de tránsito. Esto acarrea el incremento del riesgo de choque o ralladuras de los vehículos al intentar estacionarse. [2]

1.2.2 Riesgo del peatón.

Al haber sobrepoblación vehicular en la zona de parqueo de vehículos, es común que estos se encuentren obstruyendo el paso y la señalización para peatones obligando a estos últimos a que transiten por lo la zona de paso de vehículos, incrementando el riesgo de un accidente que involucre la integridad física del peatón. [2]

1.2.3 Congestión

La reducción del espacio de parqueo conlleva a que el conductor requiera de mayor habilidad para efectuar el estacionamiento del vehículo y que también el tiempo para lograrlo sea mayor. Esto significa que, en el caso de estacionarse en una avenida transitada por otros vehículos, obstruirá la vía y producirá congestión vehicular.

1.2.4 Habilidad del conductor

El estacionamiento del vehículo es uno de los procesos más complejos en cuanto al dominio del manejo del auto se refiere. Especialmente el modo de estacionamiento en paralelo demanda gran habilidad del conductor del vehículo, ya que requiere la generación de varios cálculos espaciales por parte del conductor antes de alcanzar la posición final en la que se va a dejar al vehículo.

CAPÍTULO 2: ESTACIONAMIENTO AUTONOMO (SELF PARKING)

2.1 Estado del arte

2.1.1 Presentación del asunto de estudio

Dado los avances tecnológicos en cuanto a sensores, reconocimiento de imágenes, y volumen de procesamiento de datos, en la actualidad el mercado automotor intenta dar valor agregado a sus vehículos, no solo en cuanto a potencia y rendimiento se refiere, sino también en seguridad y confort.

La implementación de la tecnología de estacionamiento autónomo se ha venido desarrollando desde hace varios años y por varias empresas dedicadas al rubro de fabricación de vehículos, de manera que podemos encontrar este sistema instalado ya en varios modelos de autos comerciales de distintas marcas.

En la actualidad existen vehículos comerciales los cuales poseen el sistema de estacionamiento autónomo que se menciona en este documento.

Entre estos vehículos tenemos:

Marca Ford modelos Focus, Escape, Explorer y Flex

marca Lincoln modelos MKS y MKT

Lexus LS460

Toyota Prius Five

BMW 3-Series

Mercedes-Benz C-Class, CLS-Class Coupe y M-Class SUV

entre otros.

El sistema de estacionamiento autónomo implementado en estos vehículos utiliza una serie de sonares (sensores ultrasónicos) en la parte anterior y posterior del vehículo. Estos sensores detectan la presencia de obstáculos así como el acercamiento de otros vehículos. Estos sensores están conectados a una computadora central que realiza los cálculos y la toma de decisiones para efectuar el estacionamiento del vehículo. Adicionalmente el equipo cuenta con actuadores eléctricos que mueven la mecánica de dirección del auto así como también, en algunos casos, controlan el avance de este.

El sistema también está respaldado por una cámara que presenta una imagen de la zona en la que el vehículo se va a estacionar, la cual es vista por el conductor del vehículo a través de una pantalla que sirve también de interface Humano-Máquina mediante la cual el conductor ejecuta el ingreso de las instrucciones necesarias y ratifica la viabilidad del estacionamiento en la zona designada.

2.1.2 Estado de la Investigación

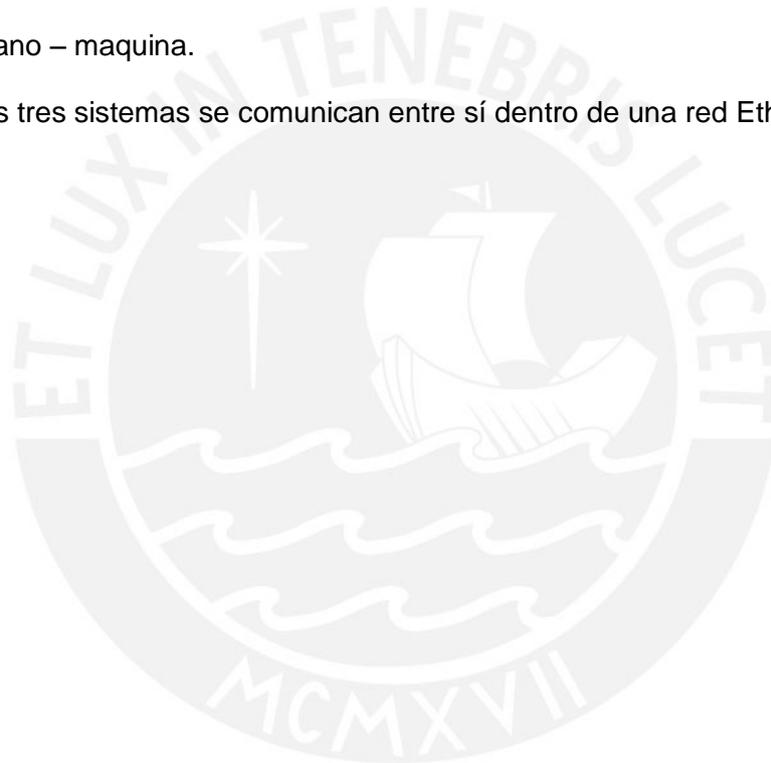
Los sistemas que asisten al conductor, en el control del vehículo para ser estacionado, fueron inicialmente desarrollados en mediados de la década de 1990. Pero no fue hasta el 2003 que Toyota produce en masa en un vehículo comercial con este sistema (Toyota Prius) Luego, compañías como BMW, Mercedes y Ford incluyeron sistemas similares a algunos de sus vehículos a finales de la primera década del 2000.

Estos sistemas típicamente utilizan un arreglo de radares para encontrar espacios de parqueo en diagonal, perpendicular o paralelo. El sistema toma el control de las ruedas de dirección para llevar al vehículo hacia el espacio vacante mientras que el conductor mantiene el control del freno y el acelerador. Las directivas son

dadas al conductor por alguna interface humano – máquina (usualmente una pantalla). El sistema se comunica entre sí mediante protocolo CAN. [3]

Un paper presentado por Massaki Wada, Kang Sup Yoon y Hideki Hashimoto muestra un complejo sistema que utiliza varios sensores que captan datos de fuentes externas del vehículo y lo transmiten de forma inalámbrica hacia tres diferentes microcontroladores. Uno encargado del parqueo del vehículo en sí. Otro de la administración de la zona de parqueo y el tercero encargado de la interface humano – maquina.

Estos tres sistemas se comunican entre sí dentro de una red Ethernet[4]



CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL VEHÍCULO DE PRUEBAS

3.1 Introducción

En el presente capítulo se exponen los datos y criterios utilizados para el diseño del sistema que permita el control de un vehículo de pruebas que va a ser enlazado a una PC para su respectivo control. Se abordan además las características mecánicas más resaltantes del vehículo que son necesarias para el funcionamiento de este proyecto así como el diseño de la electrónica y algoritmos de funcionamiento.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema que permita a una PC comunicarse y controlar a un vehículo de pruebas de forma inalámbrica y que este pueda ejecutar las instrucciones recibidas de la PC en tiempo real.

Adicionalmente la mecánica de movimiento del auto debe ser lo más parecida posible a un automóvil real.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un sistema que pueda controlar la tracción y la dirección del vehículo de pruebas.
- El sistema diseñado deberá ser capaz de comunicarse con una PC de forma inalámbrica.
- Desarrollar un programa para microcontrolador que asegure el control del sistema
- Desarrollar un protocolo de comunicaciones que permita el transmisión de datos de manera confiable
- Desarrollar un programa para PC que permita el control del vehículo
- Bajo costo.

3.3 CONSIDERACIONES MECÁNICAS

Cuando un vehículo gira, cada una de sus partes describe un movimiento circular concéntrico y con un radio de giro igual a la distancia que hay entre ese punto y el centro de giro. Esto determina que cada punto describa en el giro una longitud diferente para un mismo ángulo recorrido lo cual, para las ruedas, se traduce en una velocidad de giro distinta para cada una.

Por ello son determinantes para un vehículo, y especialmente para nuestro proyecto, contar con sistemas mecánicos que permitan que las ruedas no pierdan la sujeción con el suelo en ningún momento, Es decir, que ninguna de las ruedas resbale por el suelo, para que los resultados que obtengamos sean consistentes.

En la figura 3-1 se observan los componentes de velocidad de las ruedas V1, V2, V3 y V4 en base al radio de giro del vehículo al tomar una curva. Estos componentes son proporcionales a su distancia con respecto al centro de giro "O": R1, R2, R3 y R4 respectivamente.

Nótese además que el ángulo de viraje de la rueda interna al giro (α_{vi}) es mayor a la externa (α_{ve}) dado que debe desplazarse describiendo un radio de giro menor.

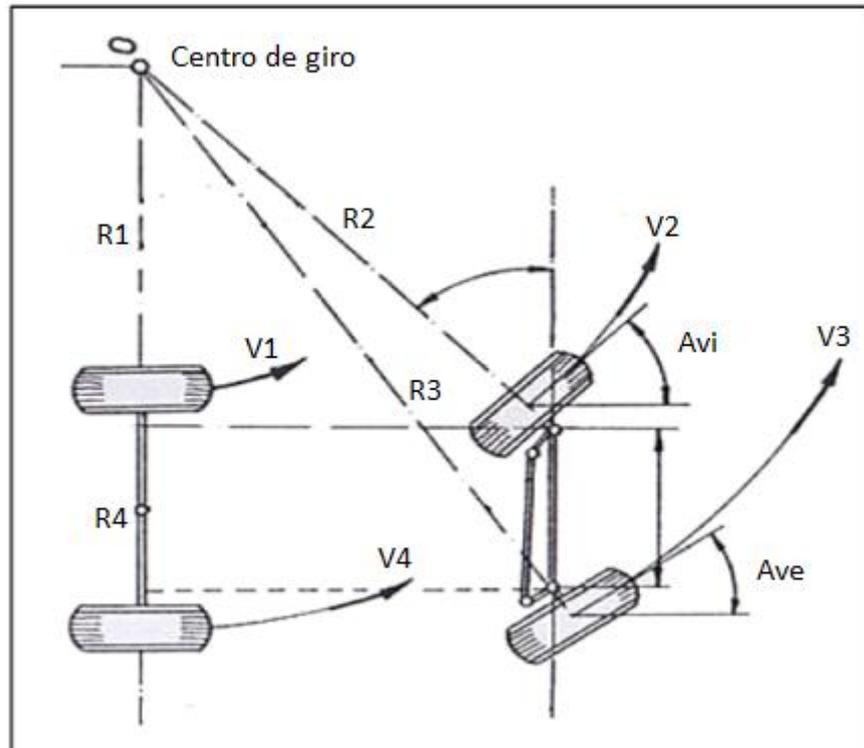


Figura 3-1: Componentes de velocidad de las ruedas al momento del giro[5].

3.3.1 Sistema Ackerman para la Dirección del Vehículo

El sistema de dirección Ackerman es utilizado en casi todos los vehículos fabricados en la actualidad. Este sistema permite a las ruedas girar en ángulos diferentes, de manera que cada rueda sea perpendicular al radio de giro al cual, cada una es sometida durante la maniobra de giro del vehículo. De esta forma las ruedas no pierden tracción durante el giro, además que se minimiza el desgaste producido en ellas.

Como la figura 3-1 lo muestra, cuando un vehículo gira, la rueda delantera exterior al giro realiza una curva de radio mayor a la rueda delantera interior al giro, por lo tanto ambas ruedas no deberían tener el mismo ángulo durante la maniobra. El sistema Ackerman permite a las ruedas tener el ángulo correcto durante el giro, es decir perpendicular al radio de giro asociado a cada rueda[6].

3.3.2 La Transmisión Diferencial

El sistema de transmisión de un vehículo se encarga de transferir la energía mecánica desde el motor hacia las ruedas. En el caso específico de un vehículo de cuatro ruedas, durante la maniobra de giro del vehículo, las ruedas asociadas al lado de mayor radio de curvatura (lado del auto opuesto al sentido de giro) presentarán una mayor velocidad que las ruedas del lado asociado al menor radio. Debido a esto, el sistema de tracción debe ser capaz de permitir a las ruedas girar a diferentes velocidades manteniendo la velocidad del vehículo constante. El sistema de tracción diferencial hace esto posible.

Existen varios tipos de sistemas de tracción diferencial. Entre estos tenemos[7]:

- Libre
- De deslizamiento limitado
- De deslizamiento controlado

Los dos últimos tipos mencionados, a excepción del diferencial de tipo libre, tienen la capacidad de funcionar correctamente durante la pérdida de tracción de una de las ruedas conectadas al diferencial, volviéndolos también por este motivo más complejos y costosos.

Dado que para el caso del estacionamiento del vehículo no se contempla pérdida de tracción en ninguna de las ruedas, seleccionamos para el caso del vehículo de pruebas (Figura 3-7), el uso de un diferencial del tipo libre.

El diferencial de tipo libre consta básicamente de “La Corona” que es el engranaje que recibe la fuerza del motor. (pasando antes por la caja de cambios). Luego esta mueve unos engranajes más pequeños llamados “satélites” los cuales van a transmitir la potencia hacia “Los Planetarios”, que son engranajes unidos a los ejes de las ruedas. Son los “satélites” los que además permiten a las ruedas girar a diferentes velocidades cuando el vehículo realiza la maniobra de giro.

En la Figura 3-2 se presenta el esquema de un diferencial tipo libre en el cual se puede observar que, al no girar los “satélites”, los ejes van a girar al unísono con “la corona”, de esta forma ambos ejes giran a la misma velocidad. Esto ocurre cuando el vehículo está avanzando en línea recta.

Por otro lado, en la figura 3-3 se observa que al girar los “satélites”, los “planetarios” giran uno opuesto con respecto al otro, lo que se traduce en una diferencia en la velocidad de giro de los planetarios cuando estos son movidos por la corona, produciendo así la diferencia de velocidades de la ruedas que es necesaria cuando el vehículo está realizando una curva.

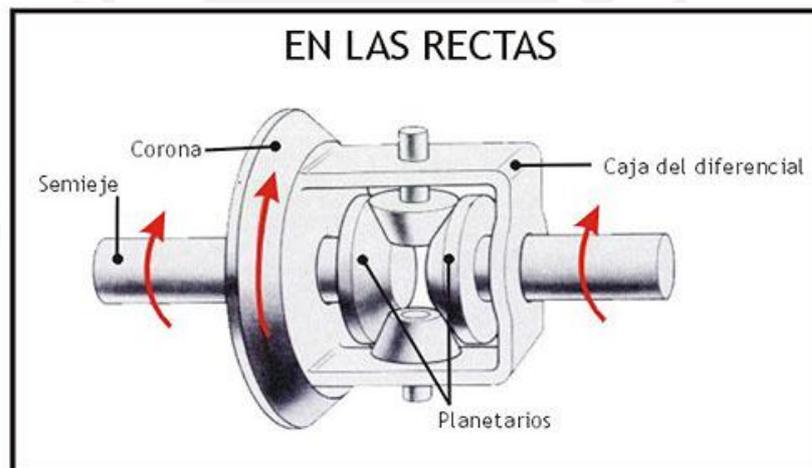


Figura 3-2: Funcionamiento del diferencial cuando ambas ruedas giran a la misma velocidad[8].

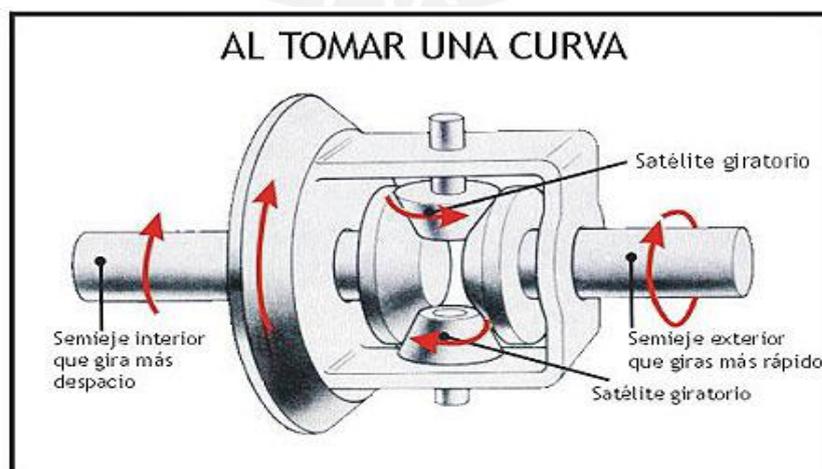


Figura 3-3: Funcionamiento del diferencial cuando las ruedas giran a distintas velocidades[8].

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO SELECCIONADO

Para el desarrollo del sistema se escogió un modelo de auto a escala radio-controlado, el cual, para que cumpla con los requerimientos del proyecto, se le retiró el motor y el circuito de control inalámbrico que traía originalmente. Siendo luego reemplazados por un motor con caja reductora y codificador, el cual fue acoplado al vehículo y conectado a la nueva tarjeta de control. La figura 3-7 muestra el auto radio-controlado utilizado con las modificaciones realizadas.

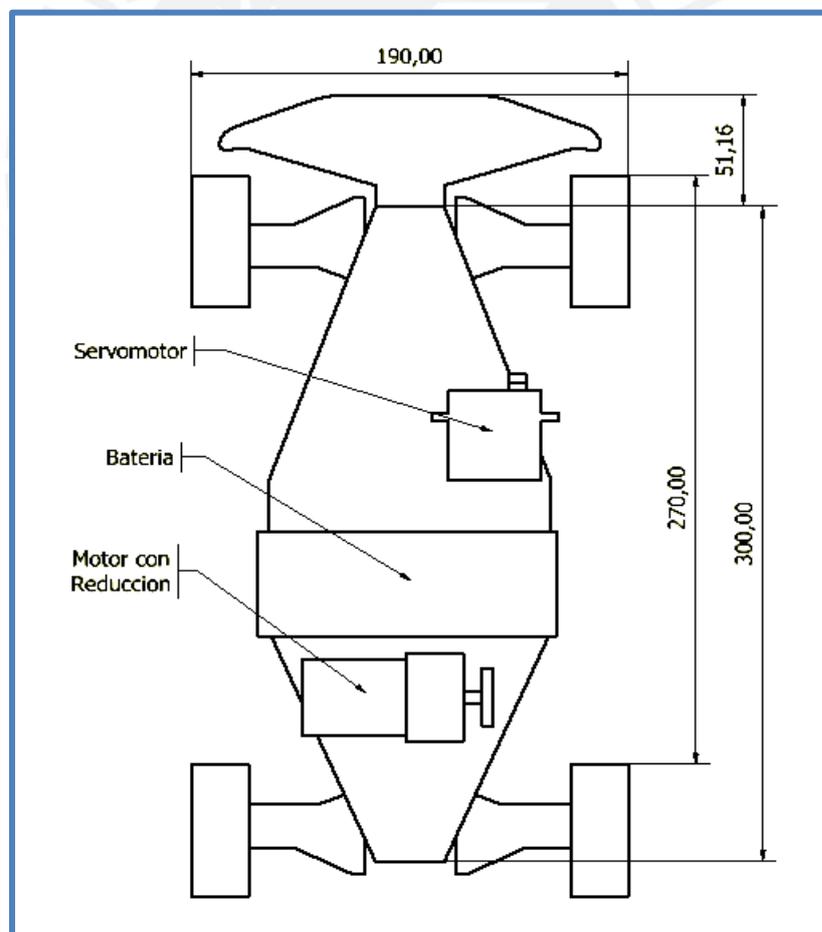


Figura 3-4: Esquema del chasis del vehículo utilizado (medidas en milímetros)

El peso del auto es 1350 gramos.



Figura 3-5: Detalle del sistema de dirección tipo Ackerman



Figura 3-6: Detalle de la transmisión mecánica en las ruedas de tracción

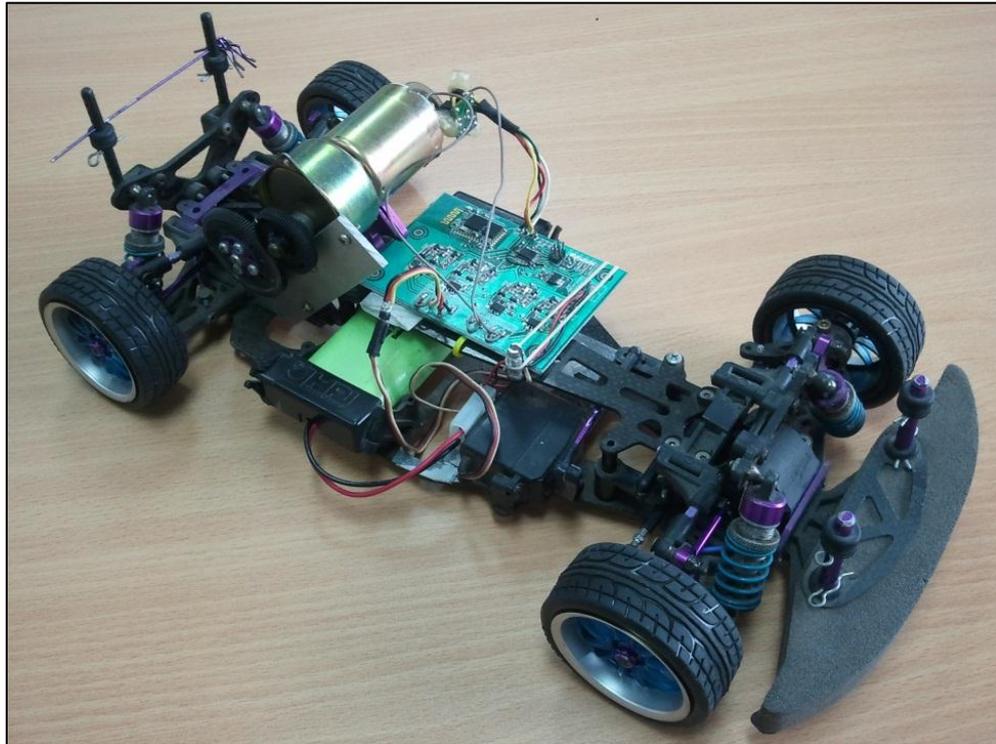


Figura 3-7: Auto radio-controlado utilizado en la pruebas

3.5 SENSORES Y ACTUADORES

Para lograr el control general del vehículo se requiere el uso de actuadores y sensores que permitan el control tanto de la tracción como de la dirección. De esta manera se asegura el correcto posicionamiento del vehículo.

Para ello se le instalaron los siguientes sensores y actuadores:

- Servomotor
- Motor DC con caja reductora
- Codificador incremental

3.5.1 El Servomotor

Tomando en cuenta la mecánica involucrada en el chasis, para el movimiento de las ruedas que permiten la maniobra de giro, se requiere de un dispositivo que pueda girar un ángulo mayor a 100° y que posea control en la posición (ángulo) de giro.



Figura 3-8: Mecanismo de dirección movido por el servomotor

El servomotor es un sistema mecánico eléctrico controlado a través de un lazo de realimentación. Es decir, el sistema de control realiza una medición ya sea de velocidad o de posición para hacer efectivo el control sobre este mecanismo.

El servomotor utilizado en este proyecto es de la marca Futaba modelo S9402. El cual es un servomotor que funciona con una alimentación de 5V y es utilizado generalmente en modelos a escala radio-controlados.

El control del servomotor se realiza con una señal de ancho de pulso modulado (PWM) Esta señal tiene 50Hz como frecuencia base y el ancho del pulso varía entre 1 ms y 2 ms lo cual corresponde a las posiciones límite de giro de 0° y 180° respectivamente.

En la figura 3-9 podemos observar la señal enviada hacia el servo para su control, mientras que en la parte derecha de la imagen vemos las respectivas posiciones del servo para esas señales.

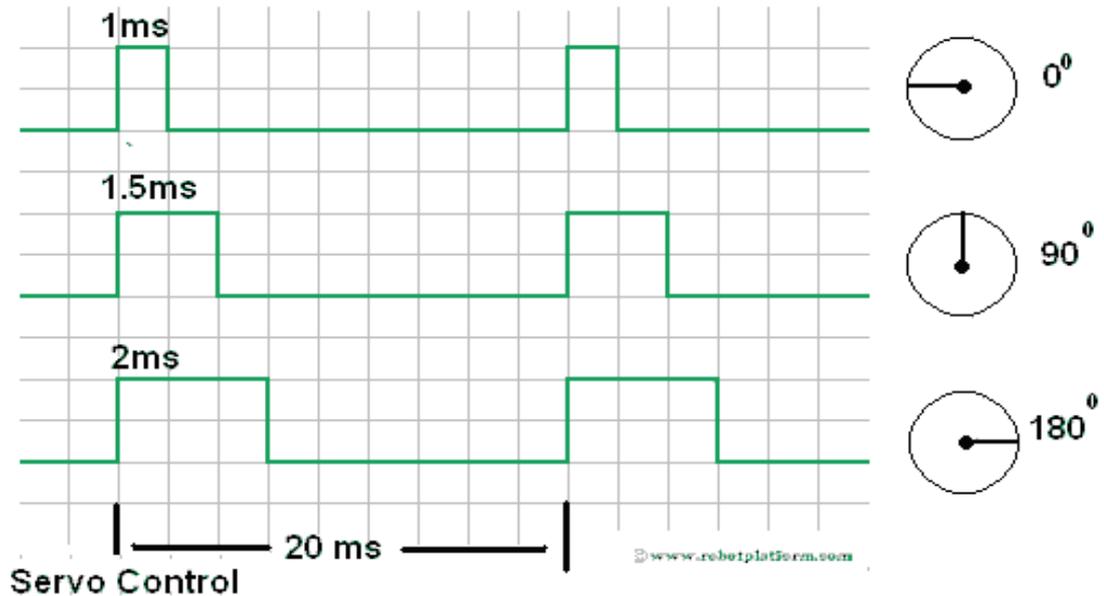


Figura 3-9: Señales de control del servomotor Futaba [9]

La Tabla 3-1 muestra las características del servomotor marca Futaba modelo S9402 y la figura 3-10 muestra la imagen del mismo.

Tabla 3-1: Características del servomotor S9402 [10]

Tamaño	1.6 x 0.8 x 1.5" (1-5/8 x 13/16 x 1-1/2") (41 x 20 x 38mm)
Peso	1.9oz (1-15/16oz) (55 grams)
Torque	6.4 kg-cm @ 4.8V - 8.0 kg-cm @ 6V
Velocidad de giro	12 sec/60° @ 4.8V - .10 sec/60° @ 6V
Conector	Tipo "J" con alrededor de 10" de terminales



Figura 3-10: Servo marca Futaba, modelo S9402 [10]

3.5.2 El Motor DC con caja reductora

Para la selección del motor con caja reductora debemos tener en cuenta la aceleración y la velocidad máxima que esperamos del vehículo.

La velocidad del vehículo define las RPM (Revoluciones por minuto) del motor con reducción. Para el caso del estacionamiento de un vehículo real, este difícilmente supera los 10Km/h durante la maniobra de estacionamiento. Para el caso del vehículo utilizado (escala 1:10) esto representaría unos 27.8 cm/seg.

Las ruedas utilizadas por el vehículo tienen 6 cm de diámetro por lo que su perímetro es de 18.85 cm. Esto significa que para que el vehículo tenga la velocidad mencionada, las ruedas deben de girar a 1.47 vueltas/seg.

Finalmente dado que el mecanismo de transmisión del vehículo tiene una reducción de 3.3 : 1 desde el motor con reducción hacia las ruedas, la velocidad de giro del motor con reducción es de 4.87 vueltas/seg. Aproximadamente.

Para el caso de la aceleración se considera que el vehículo pueda llegar a su velocidad de trabajo en un segundo. Esto significa una aceleración de aproximadamente 30 cm/seg².

Dado que la masa del vehículo es de 1350g, para lograr la aceleración requerida ($F = M.A$) necesitamos un empuje de 40500 g.cm/seg² lo cual se traduce en 41.33 gramos – fuerza.

Ya que la rueda del vehículo tiene un radio de 3cm, el torque en el eje de la rueda necesario para acelerar el vehículo resulta 124g/cm.

Despreciando el momento de inercia de las ruedas y de los engranajes debido a su poca masa (Ambos son fabricados en plástico) y a que la reducción mecánica de la transmisión incrementa el torque en el eje de las ruedas, calculamos el torque del motor con reducción en 37.56 g/cm. Para cumplir con los requerimientos especificados.

Según los requerimientos se escogen en la marca MAXON MOTOR los siguientes componentes:

Motor:

A-max 16 Ø16 mm, Precious Metal Brushes CLL, 1.2 Watt, CE approved, with terminals

Part number 110054

Reductor:

Gearhead GS 16 A Ø16 mm, 0.015 - 0.04 Nm

Part number 144410

(Ver detalles en anexos)

A pesar de ello, por cuestiones de costo y tiempo, se implementó el prototipo con un motor con reducción adquirido localmente.

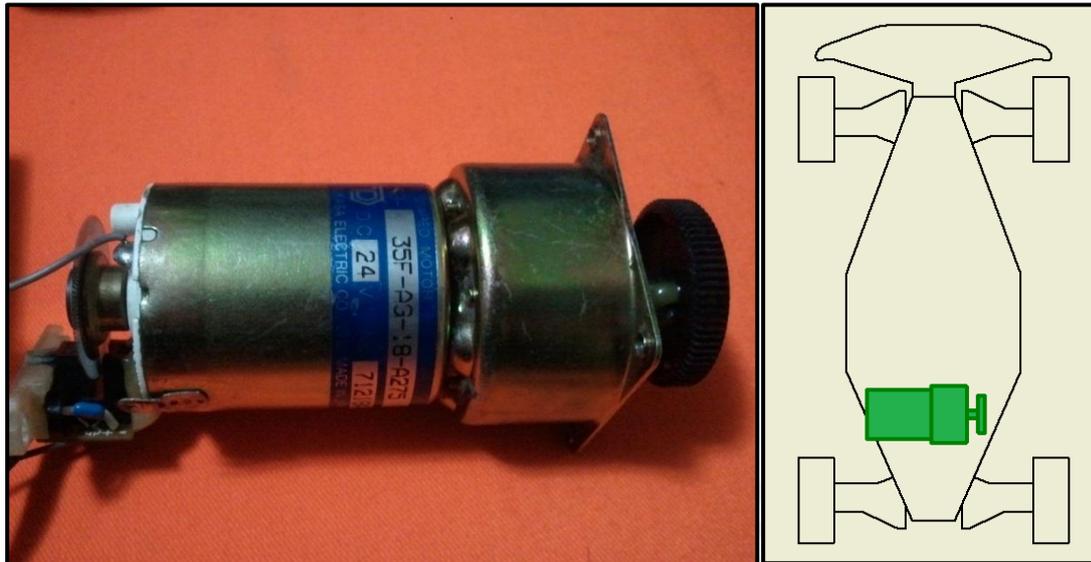


Figura 3-11: Motor con reducción utilizado en el vehículo

El motor DC con caja reductora utilizado en el vehículo es de la marca TSUKASA modelo TG-35F-AG-18-A275 cuyo voltaje nominal es 24V.

Así mismo su consumo sin carga es de 120 mA y su velocidad de giro sin carga es de 7400 RPM.

La reducción de la caja tiene una relación de 1:20

El eje del motor DC lleva acoplado un codificador incremental óptico y, tomando en cuenta que el codificador incremental nos permite una resolución de 100 pasos por vuelta y que tenemos una reducción de 1:20, en teoría, podríamos obtener $100 \times 20 = 2000$ pasos por vuelta en el eje de la caja de reducción.

3.5.3 El Codificador Incremental

Al haber hecho la selección del motor con reductor de la marca MAXON MOTOR, para cumplir con el requerimiento de control de velocidad en la tracción del vehículo, se requiere la detección del desplazamiento del motor por parte de algún sensor.

Dentro de los requerimientos que se deben de cumplir para la selección del sensor se encuentran la resolución del sensor y que éste sea acoplable al eje del motor.

En la selección de la resolución nos valemos de la precisión del reductor.

Según hoja de datos el eje de salida del reductor presenta un juego promedio de un grado por lo que, al ser su reducción de 12 a 1, significa que el eje de entrada del reductor se puede mover 12 grados sin que se aprecie movimiento en el eje de salida. Por tal motivo la resolución máxima que el sistema mecánico permite medir en el codificador incremental es de 30 pasos por vuelta.

Tomando esto en cuenta se escoge de la marca MAXON MOTOR el codificador incremental óptico:

Encoder MR, Typ M, 32 Counts per turn, 2 Channels

Part number 201935

(Ver detalles en anexos)

El codificador incremental óptico es el dispositivo que va a permitir al sistema saber cuánto se ha desplazado el móvil. Su funcionamiento se basa en la interrupción de un haz de luz por un disco ranurado adosado al eje del motor encargado de la locomoción del vehículo. Internamente consta de un diodo emisor de luz y dos fotoreceptores los cuales se encuentran es desfase frente al haz de luz, de manera que al ser cortado el haz de luz, al girar el disco ranurado, estos

dos sensores den como resultado una señal similar a la que se muestra en la figura 3-13. Basta una de las señales para saber el desplazamiento del disco ya que, sabiendo de antemano cuantas ranuras tiene el disco, podemos contar los pulsos y calcular cuántas vueltas ha dado este. La segunda señal es utilizada en conjunto con la primera para saber en qué dirección gira el disco.

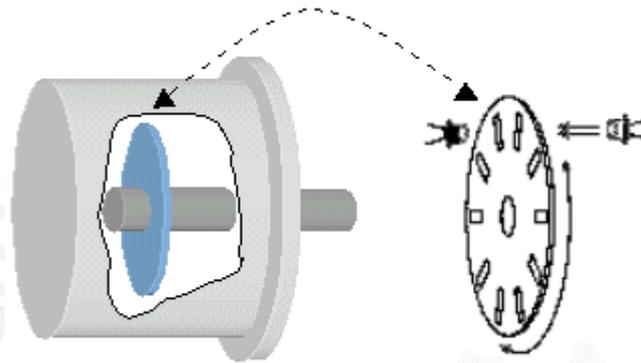


Figura 3-12: Esquema del codificador incremental
www.euclidres.com/motionSensors/motionSensors.html

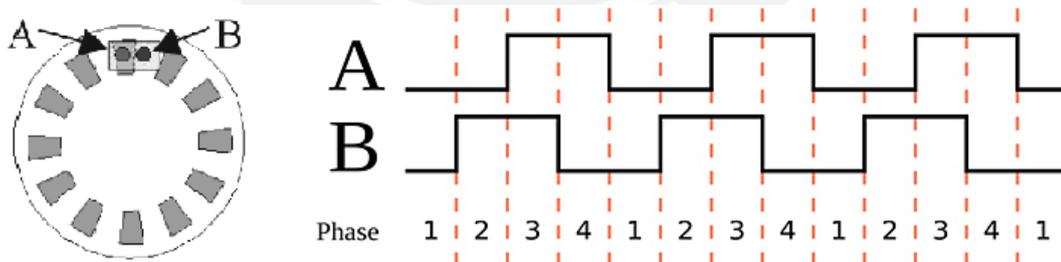


Figura 3-13: Señales de salida del codificador incremental[11].

El codificador adaptado tiene una resolución de 100 pulsos por vuelta.

3.6 EL SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL

Los requerimientos del sistema electrónico de control son:

- Control de la posición del servomotor
- Alimentación del servomotor
- Control de la velocidad del motor con reducción
- Control de la dirección de giro del motor con reducción
- Detección del codificador incremental.
- Comunicación con la PC
- Indicadores visuales
- Posibilidad de reprogramación
- Funcionamiento a baterías

La figura 3-14 muestra el esquema en el que está organizado el circuito electrónico de control el cual se comunica con la PC y controla los actuadores del vehículo.

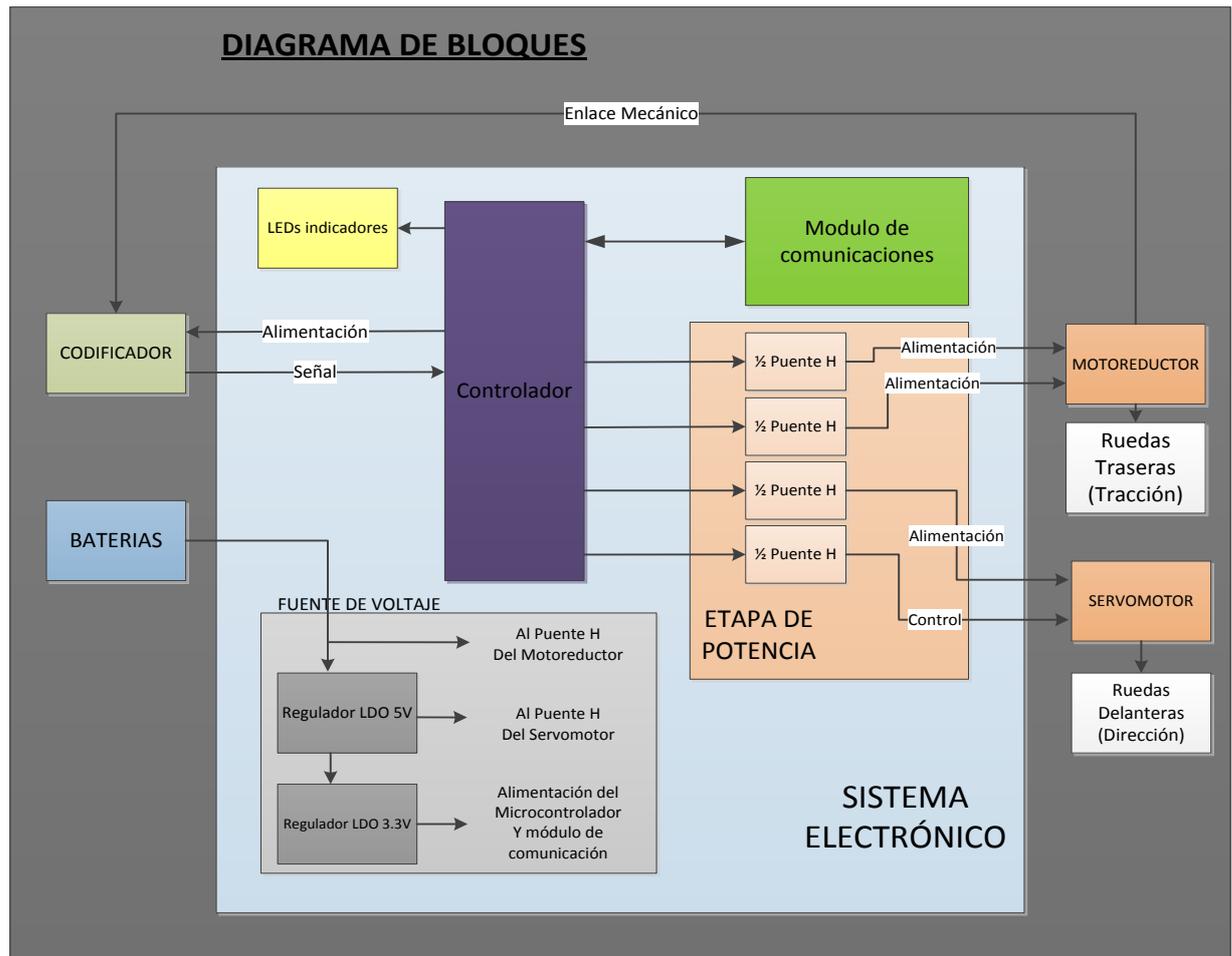


Figura 3-14: Diagrama de bloques del sistema electrónico

El sistema electrónico de control consta básicamente de cuatro bloques:

- Microcontrolador
- Módulo de comunicaciones
- Puentes H
- Sistema de alimentación

El sistema de control está administrado por un microcontrolador. El cual hace uso de un módulo de comunicaciones vía protocolo Bluetooth para la recepción y transmisión de datos hacia la PC. La etapa de potencia está conformada por 4 mitades de puente H implementadas de forma discreta. Dos mitades controlan el motor DC con caja

reductora que genera la tracción que da movimiento al vehículo y las otras dos controlan y alimentan al servo-motor que da dirección a las ruedas delanteras.

Adicionalmente también el sistema cuenta con reguladores de voltaje para la alimentación adecuada de los diversos componentes y LEDs indicadores que permiten saber el estado de diferentes procesos que realiza el microcontrolador.

Para permitir la autonomía del sistema, este es alimentado por baterías.

Las figuras 3-15 y 3-16 muestran ambas caras de la tarjeta electrónica implementada para el proyecto y que es descrita en el diagrama de bloques visto en la figura 3-14.

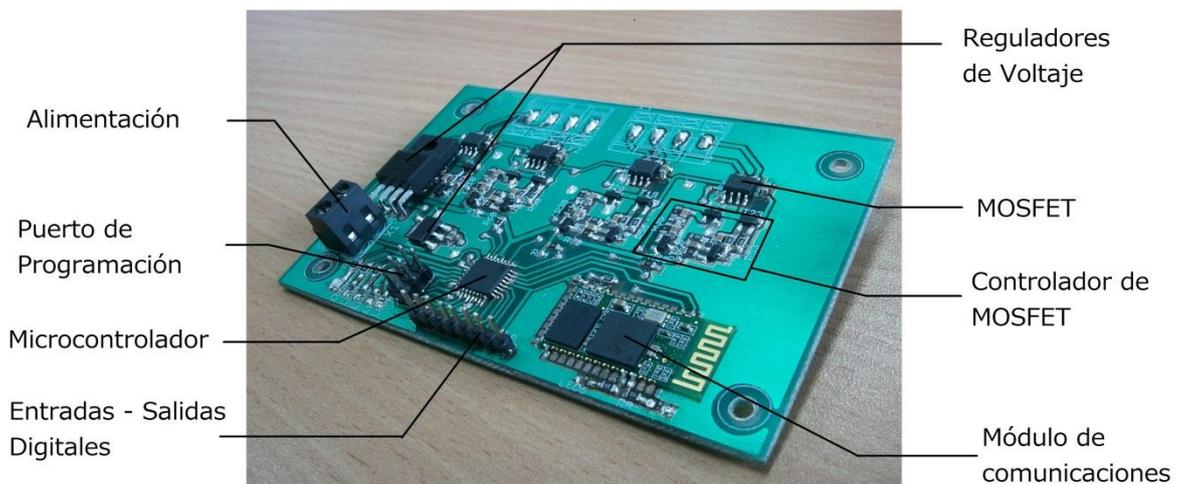


Figura 3-15: Lado superior de la tarjeta electrónica



Figura 3-16: Lado inferior de la tarjeta electrónica

A continuación se detallan las características de los módulos que conforman el sistema electrónico de proyecto.

3.6.1 El microcontrolador

Para el control del sistema tenemos los siguientes requerimientos:

- 8 líneas IO para el control de las 4 mitades de puente H
- 5 líneas IO para señalización con LEDs
- 3 líneas IO para el control y lectura del codificador incremental
- 1 puerto USART para la comunicación con el módulo BlueTooth
- 1 registro contador de 16 bits
- 1 registro temporizador de 8 bits
- Funcionamiento con 3.3V (para compatibilidad con el módulo de comunicación)
- Oscilador interno
- Bajo Costo

Al realizar la búsqueda de microcontroladores con las características mencionadas, llegamos a tres propuestas:

Modelo	Fabricante	Costo \$	Vendedor	
16f722A	Microchip	1.52 X 10un.	DigiKey	
MSP430F2101IPWR	National Semiconductor.	1.55 X 10un.	DigiKey	
Atmega8A-AU	Atmel	1.1 X 5un.	Ebay	Seleccionado

Adicionalmente, a diferencia de los no seleccionados, el costo de Ebay incluye costos de envío. (datos tomados en setiembre de 2012)

Teniendo en cuenta estos requerimientos se escoge finalmente de la empresa ATMEL el microcontrolador Atmega8A-AU (Figura 3-17)



Figura 3-17: Microcontrolador ATMEGA8 16AU

3.6.2 Funcionamiento del programa del microcontrolador

Para la administración del sistema que va a controlar el vehículo de pruebas, el microcontrolador realiza una serie de tareas que se pueden dividir en tres bloques:

- Control del motor DC y detección del codificador incremental.

El microcontrolador, para controlar el motor DC con caja reductora, lo hace a través de un arreglo de puente H. Permitiendo con ello el giro del motor en ambos sentidos (avance y retroceso del vehículo). El microcontrolador recibe las señales del codificador incremental para así medir y el avance y dirección del vehículo ya que el codificador brinda información tanto de las revoluciones del motor como del sentido de giro de este. En esta etapa el microcontrolador hace uso de un contador interno capaz de realizar cuentas de 16 bits mediante una señal externa que es dada por el codificador incremental.

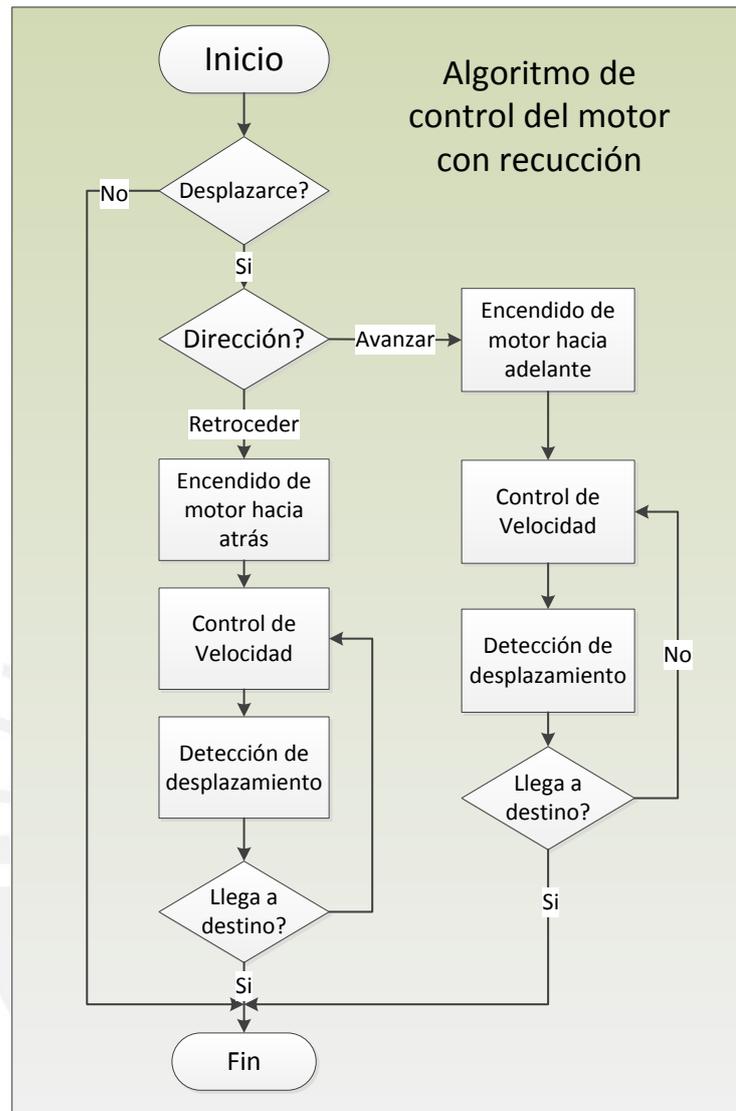


Figura 3-18: Diagrama del Flujo del Algoritmo de control del motor con reducción

- El control del servomotor que maneja la dirección del vehículo

Como ya se ha mencionado anteriormente en el acápite 2.2.2, el servomotor requiere de una señal modulada en ancho de pulso (PWM) con una frecuencia constante. Para ello se hace uso de un temporizador interno de 8 bits con pre-escalador del microcontrolador. El cual, unido a una rutina

de interrupción, nos proporciona la duración de cada pulso, controlando así a la señal PWM enviada hacia el servo-motor

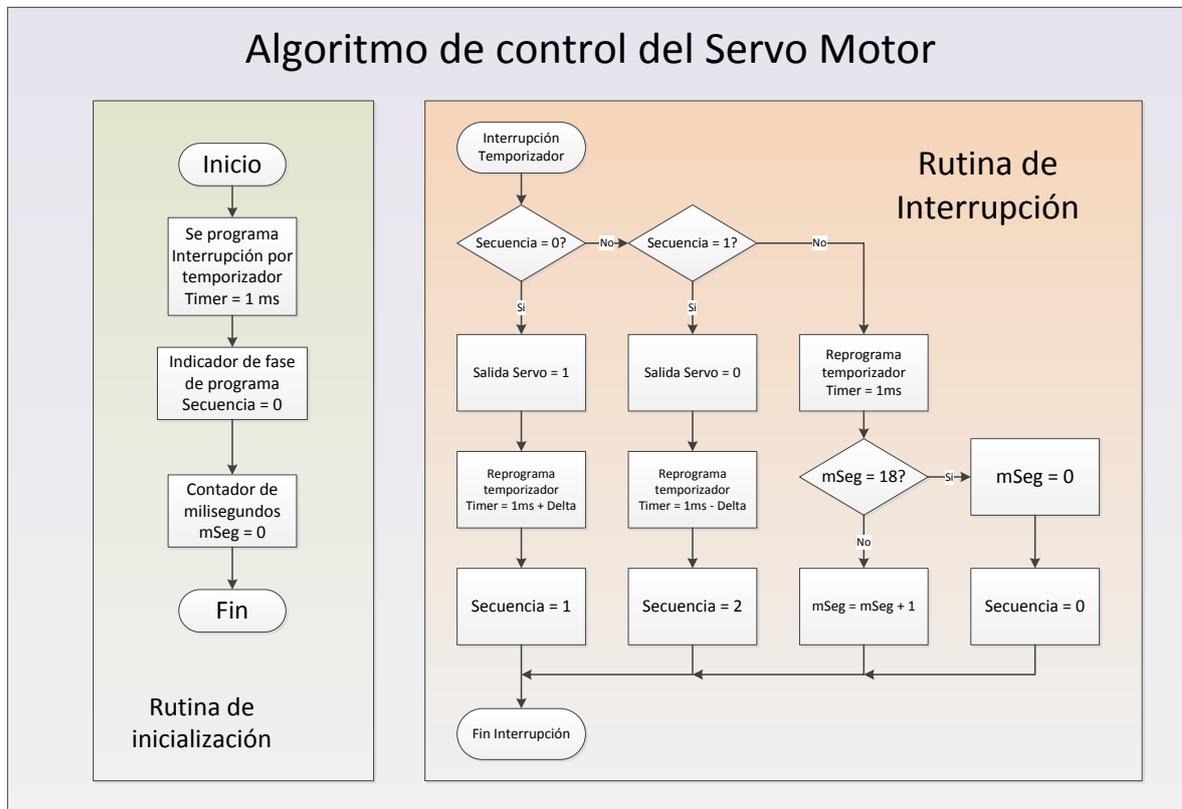


Figura 3.19: Diagrama del Flujo del Algoritmo de control del Servo Motor

- Comunicación con la PC

En la comunicación con la PC, el sistema está a la espera de las órdenes que esta le envíe. Cada uno de los datos enviados por la PC debe de iniciar con la cabecera "F9 F5" la cual valida los siguientes datos que van a ser tomados por el microcontrolador como una instrucción de control.

Por cada instrucción de control que recibe, el programa principal lo almacena y deriva hacia las rutinas de control del motor o del servomotor.

Una vez realizada cada maniobra, el microcontrolador envía la instrucción "A1" hacia la PC con lo cual confirma que la instrucción fue realizada con éxito.

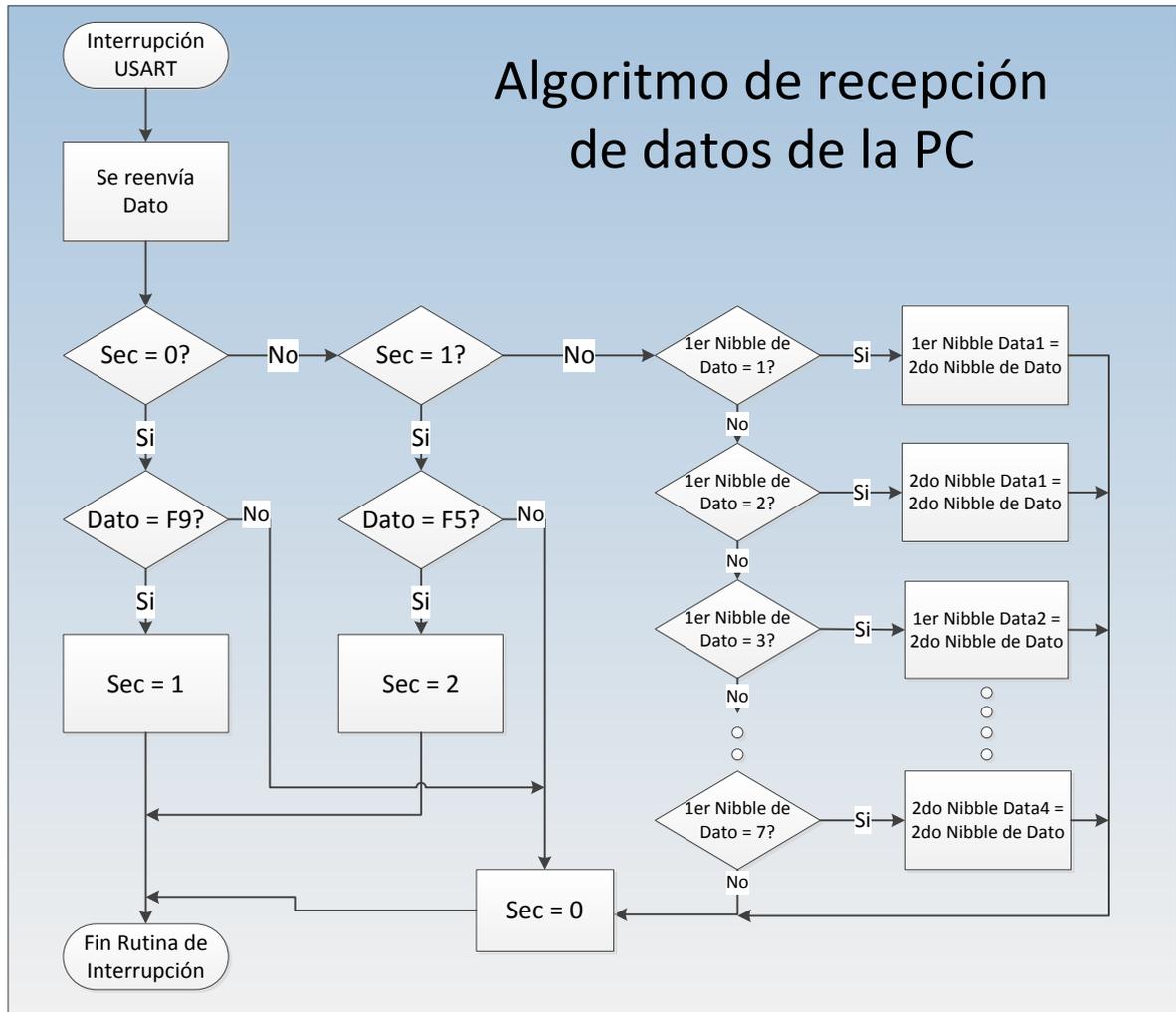


Figura 3-20: Diagrama del Flujo del Algoritmo de recepción de datos desde la PC

3.6.3 El módulo de transmisión con protocolo Bluetooth

Para la comunicación del vehículo con la PC se utiliza un módulo de comunicaciones (transceptor) que funciona como interface entre protocolos BlueTooth y UART (Figura 3-21) y que no requiere conexión de componentes adicionales externos (Figura 3-22).

El protocolo Bluetooth trabaja en frecuencias de 2,4 GHz, transmitiendo hasta 24Mbps/s (en las versiones 3 y 4).

Los dispositivos Bluetooth se caracterizan por su bajo costo, Bajo Consumo y corto alcance de transmisión. [12]

Este protocolo (Bluetooth) fue escogido además debido a la gran difusión que tiene especialmente en dispositivos portátiles como laptops y teléfonos celulares, otorgando gran flexibilidad para el control del sistema, y permitiendo así, la reducción en el costo de implementación del sistema de comunicaciones ya que, al contar la PC con un módulo integrado, sólo se requiere de un módulo adicional en el vehículo para completar el sistema de comunicaciones.

El módulo utilizado funciona con 3.3V y es configurable para diferentes velocidades de transmisión. Es bastante simple de utilizar pues emula una conexión serial a través de un puerto COM en la computadora.

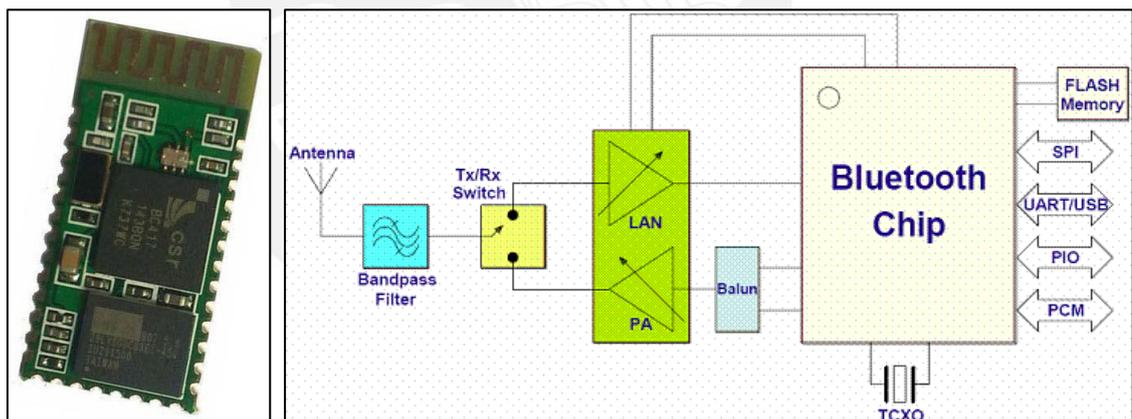


Figura 3-21: Módulo de transmisión Bluetooth. [13]

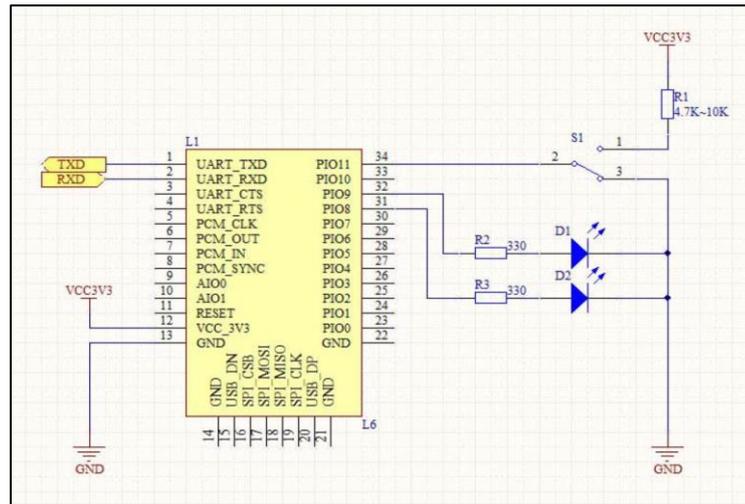
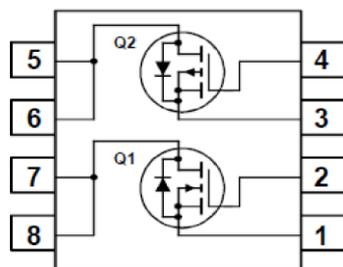


Figura 3-22: Esquema de conexión del módulo de transmisión BlueTooth

3.6.4 Módulo de puentes H

Un puente H utiliza como etapa de potencia MOSFETs en arreglos de pares complementarios. El componente utilizado es el FDS8958A que es un circuito integrado que consta de dos MOSFET. Uno de canal P y el otro de canal N.



- **Q1:** Canal N
7.0A, 30V $R_{DS(on)} = 0.028\Omega$ @ $V_{GS} = 10V$
 $R_{DS(on)} = 0.040\Omega$ @ $V_{GS} = 4.5V$
- **Q2:** Canal P
-5A, -30V $R_{DS(on)} = 0.052\Omega$ @ $V_{GS} = -10V$
 $R_{DS(on)} = 0.080\Omega$ @ $V_{GS} = -4.5V$

Figura 3-23: Esquema del FDS8958A

Para asegurar adecuada velocidad de conmutación de los MOSFET en la configuración presentada, tanto el cierre como la apertura de estos se controlan

con componentes activos (transistores BJT) los cuales trabajan en las regiones de corte y saturación comandados por el microcontrolador.

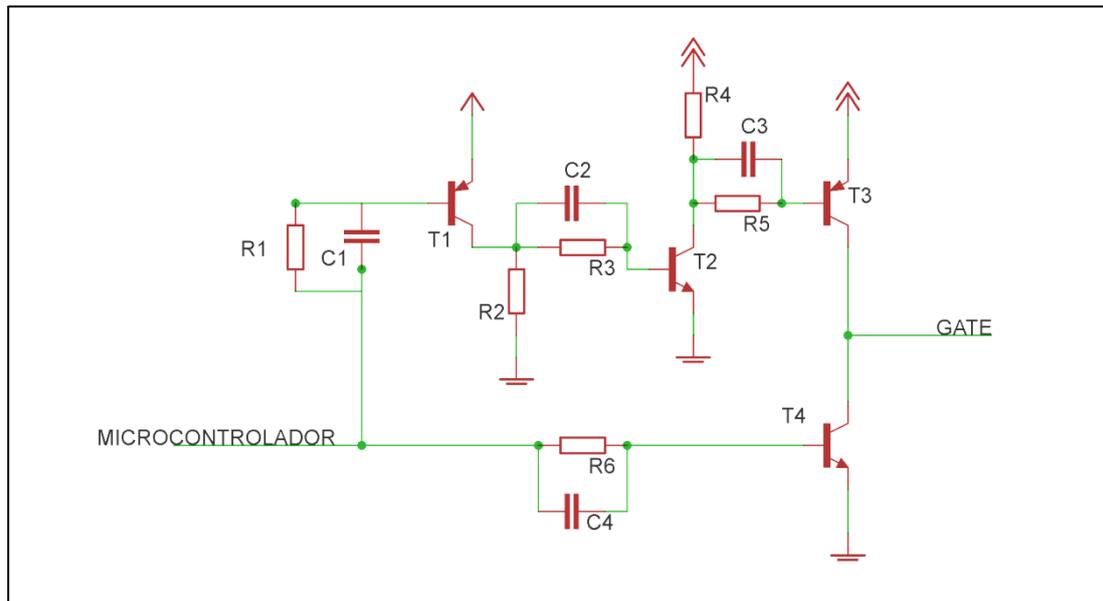


Figura 3-24: Diagrama del controlador de un MOSFET

En la figura 3-24 se muestra el circuito esquemático del controlador de MOSFET. Este circuito es utilizado indistintamente tanto para los MOSFET canal P como los de canal N.

El voltaje de entrada del controlador de MOSFET es 3.3V. Puede controlar voltajes de salida hacia el Gate del MOSFET entre 5V y 12V, según su voltaje de alimentación y alcanza frecuencias de conmutación de hasta 500KHz

Nótese la presencia de capacitores asociados a las bases de los BJT. Estos son utilizados para contrarrestar el efecto Miller durante la conmutación del transistor y así poder lograr la velocidad adecuada.

3.7 DESARROLLO DEL ALGORITMO DE PARQUEO

Para el desarrollo del algoritmo se tomó en cuenta el modelo dinámico del vehículo y la metodología para el estacionamiento en paralelo.

3.7.1 Modelo dinámico del vehículo

Sea el punto “O” el centro de curvatura del giro del vehículo cuya proyección de la distancia “l” medida entre el punto medio de sus ejes “R” y “F” intersecta el origen de coordenadas.

Además sea θ el ángulo generado entre la proyección de “l” y ϕ el ángulo de desviación de las ruedas delanteras. (Figura 3-25)

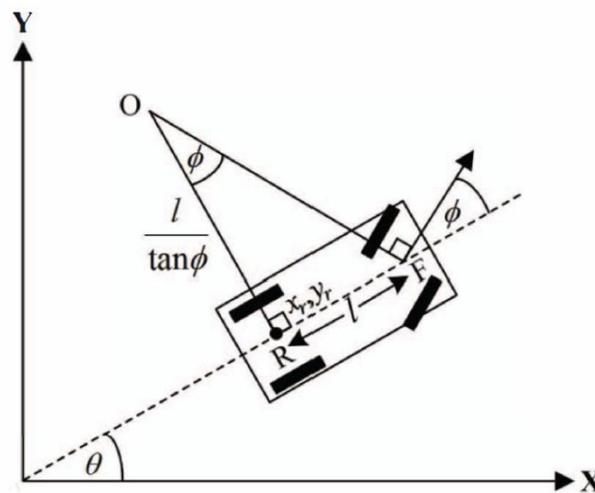


Figura 3-25: Modelo del vehículo

nemos entonces que el modelo dinámico [14],[15],[16] del vehículo es el siguiente:

$$\dot{x} = v \cos \phi \dots\dots\dots(1)$$

$$\dot{y} = v \sin \phi \dots\dots\dots(2)$$

$$\dot{\phi} = \frac{v}{l} \tan \theta \dots\dots\dots(3)$$

Donde v es la velocidad en la dirección en la que avanza el vehículo.

3.7.2 Metodología para el Estacionamiento en Paralelo

Durante la maniobra de giro, cada punto del vehículo describe un arco de círculo. Tomando en cuenta esto, para el siguiente estudio se requiere como datos únicamente las circunferencias externas e internas que genera el vehículo. Es decir, tomando en cuenta la figura 3-26 equivaldría a los arcos producidos por los puntos "A" e "I" de la representación del vehículo cuando este gira hacia la derecha.

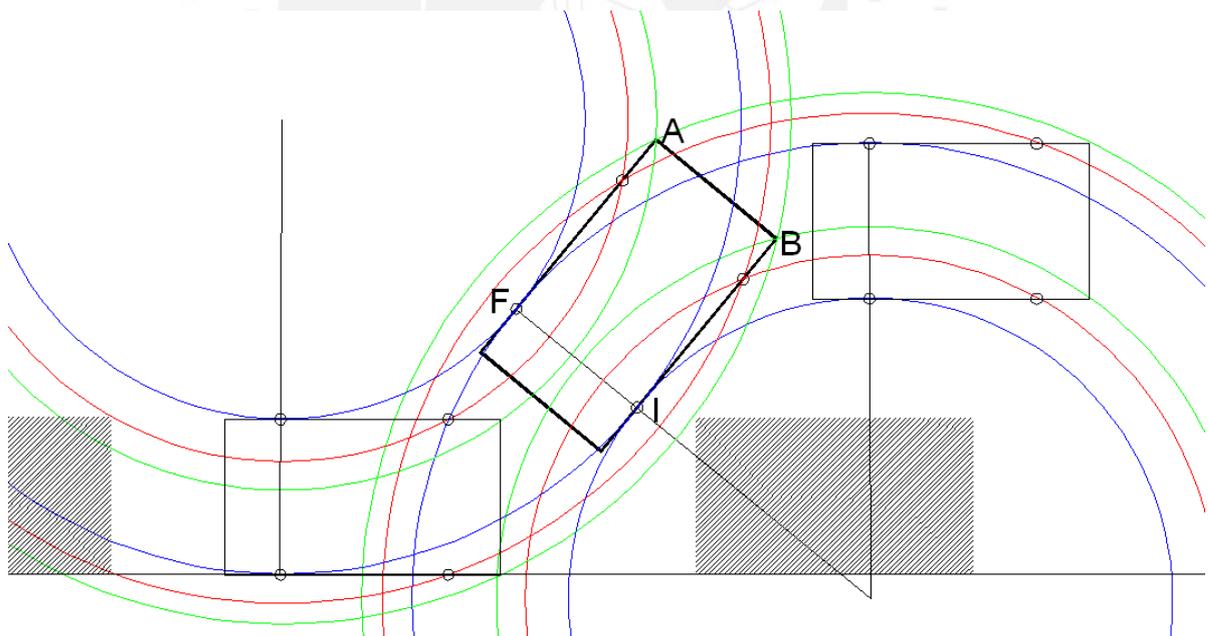


Figura 3-26: Trayectoria del vehículo a estacionar

Para el análisis del movimiento del vehículo en la zona de parqueo se observa primero como el vehículo sale del estacionamiento y cuál sería su posición final para luego partir desde ese mismo punto y definir la mecánica del estacionamiento del vehículo tomando en cuenta los movimientos que realizó.

Analizando la figura 3-26, inicialmente el vehículo aparcado realiza un giro hacia la izquierda de modo que el punto "B" del auto, no toque el obstáculo que tiene delante. Luego al girar hacia la derecha, para que el vehículo quede paralelo a la vía, se debe tener en cuenta al círculo de menor radio generado por el vehículo, es decir al círculo producido por el punto próximo a "I" que corresponde a la rueda trasera derecha.

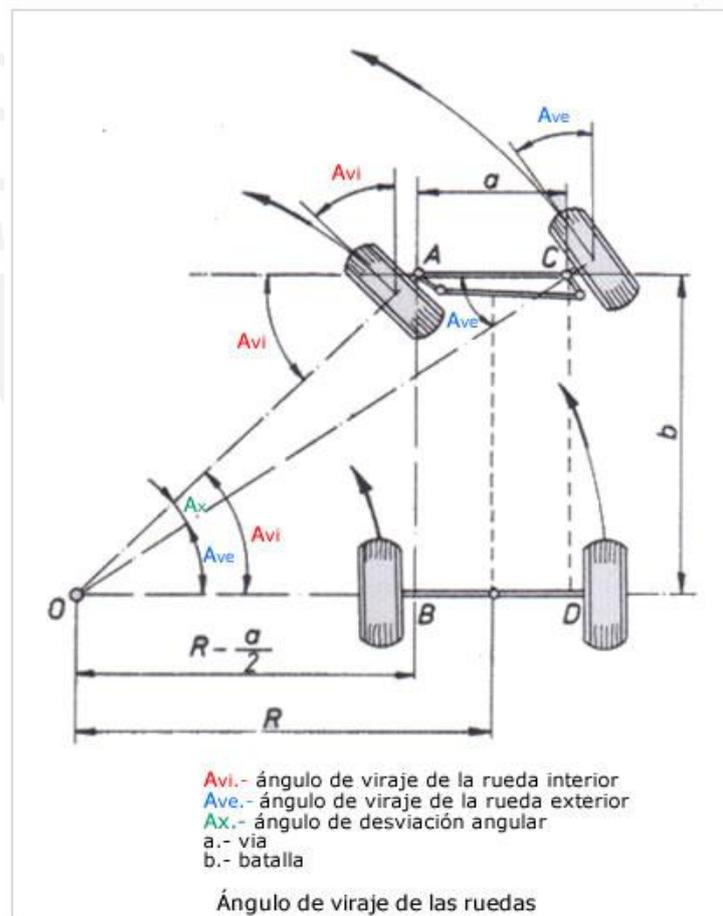


Figura 3-27: Modelamiento del vehículo[5]

$\sqrt{(R + a/2)^2 + L^2}$ es el radio de la circunferencia descrita por el punto "A"

Entonces la distancia mínima entre las ruedas traseras del vehículo y el objeto de adelante. Que corresponde a \overline{FH} es:

$$\sqrt{((R + a/2)^2 + L^2) - (R + \frac{a}{2} - W)^2} \dots\dots\dots(4)$$

Entonces el espacio mínimo para estacionarse es:

$$\sqrt{((R + a/2)^2 + L^2) - (R + \frac{a}{2} - W)^2} + \overline{FD} \dots\dots\dots(5)$$

además

$$\sqrt{(R + a/2)^2 + L^2} \cos(\alpha) = R + a/2 - W \dots\dots\dots(6)$$

Donde "α" es el ángulo del arco correspondiente a la posición del vehículo cuando está a punto de salir de la zona de estacionamiento (cuando el punto "B" esté más cerca al obstáculo en la fig 2-16).

También observamos que para diferentes posiciones finales del vehículo, en la que este queda nuevamente en paralelo a la acera, se debe de cumplir que el arco recorrido en sentido horario debe ser igual al recorrido en sentido antihorario.

De esta forma el vehículo queda a

$$(2R)\text{Sen}(\beta) \dots\dots\dots(7)$$

delante y

$$(2R)\text{Cos}(\beta) \dots\dots\dots(8)$$

a la izquierda de su posición inicial.

Donde β es el ángulo del arco recorrido por el vehículo.

Para la descripción del algoritmo utilizado, definimos previamente:

Vehículo: El vehículo de Pruebas descrito en este trabajo.

Obstáculo: Vehículo obstáculo que quedará delante del vehículo de pruebas luego de la maniobra de parqueo.

Tomando en cuenta lo definido, describimos el algoritmo de parqueo utilizado de la siguiente manera:

- En base al tamaño del obstáculo, con la ecuación (4) se define la distancia final entre el obstáculo y el vehículo, obteniendo así la posición final del vehículo.
- Al detenerse el vehículo cerca de la zona de parqueo se mide la distancia lateral entre este y el obstáculo.
- Con la distancia hallada anteriormente y mediante la ecuación (7) calculamos el arco del desplazamiento del vehículo.
- Con el arco hallado se calcula con la ecuación (8) el desplazamiento horizontal del vehículo.
- Se desplaza al vehículo (movimiento horizontal) de forma que se encuentre a una distancia igual a la hallada en la ecuación (8) de la posición final para asegurar que luego de la maniobra el vehículo quedará en la posición final deseada.
- Luego de posicionar al vehículo en el lugar correspondiente al inicio de la maniobra de parqueo, procedemos a ejecutar la maniobra sabiendo de antemano que este llegará finalmente a la posición deseada.

Para el funcionamiento del algoritmo se asume que el vehículo de pruebas se encuentra perfectamente alineado (en paralelo) con la vía en la que transita.

El programa de control requiere el ingreso de la distancia lateral del vehículo al obstáculo (dato d1) y la distancia paralela al vehículo medida entre la rueda trasera y el inicio del obstáculo (dato d2). Estos datos serían los obtenidos por el sistema de visión robótica ubicado sobre el vehículo, en la zona de parqueo.

El siguiente diagrama de flujo muestra el algoritmo de estacionamiento en paralelo utilizado:

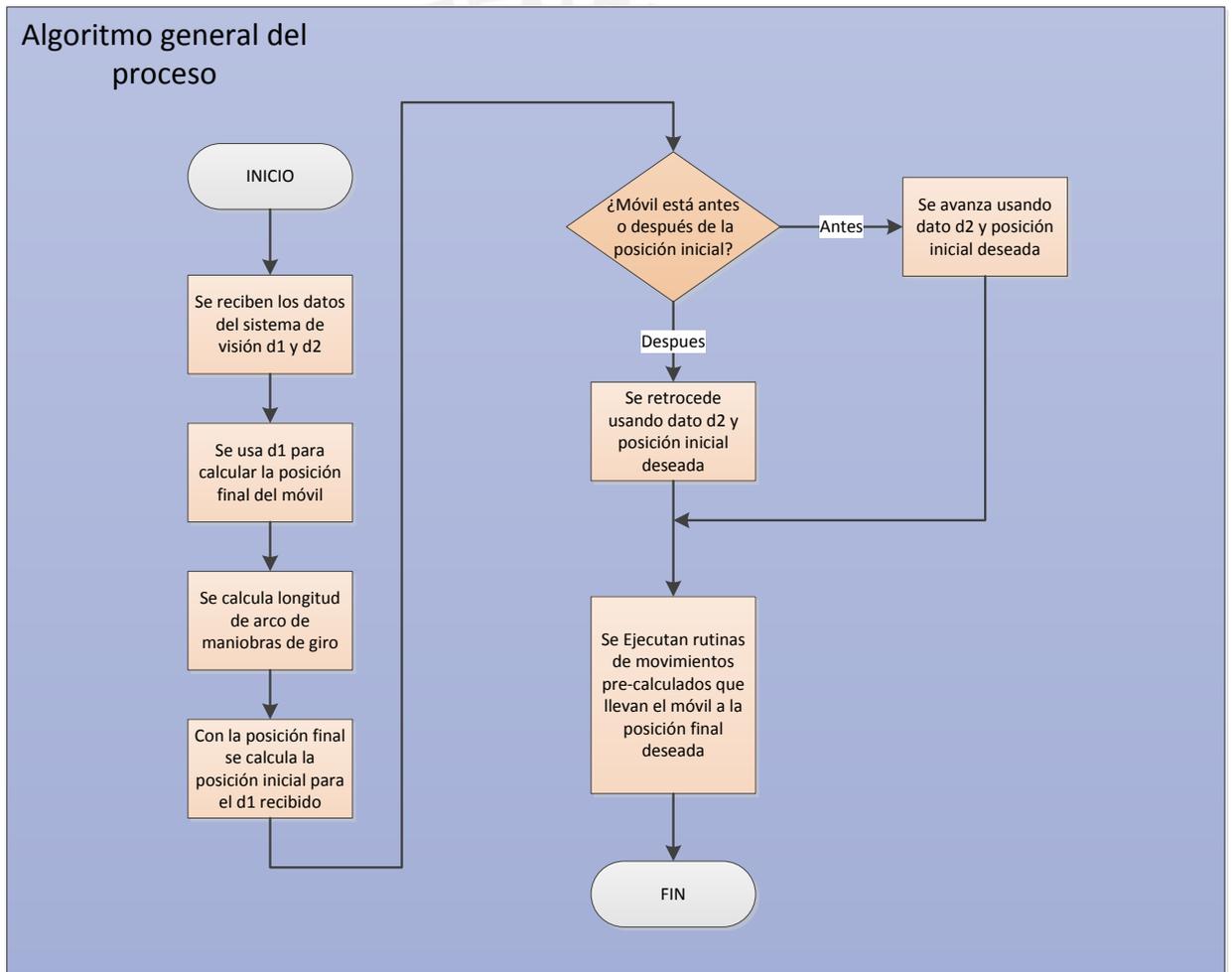


Figura 3-29: Diagrama del flujo del algoritmo de parqueo.

CAPÍTULO 4: PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para la realización de las pruebas experimentales, fue necesaria la generación de un programa de interface para el ingreso e interpretación de datos

4.1 Programa de interface

El programa, que fue realizado con el lenguaje de programación Visual Basic 6.0, cuenta con un bloque de control del puerto serial, en el cual se establecen el número de puerto de comunicaciones y la velocidad de transmisión.

Para las pruebas de funcionamiento, se ingresan los valores de distancia del vehículo de pruebas con respecto al vehículo obstáculo tanto perpendicular como horizontalmente. La figura 4-1 muestra los parámetros $d1$ y $d2$.

El parámetro $d1$ es la distancia perpendicular entre los vehículos

El parámetro $d2$ es la distancia horizontal entre el centro de la rueda posterior del vehículo y el inicio del vehículo obstáculo.

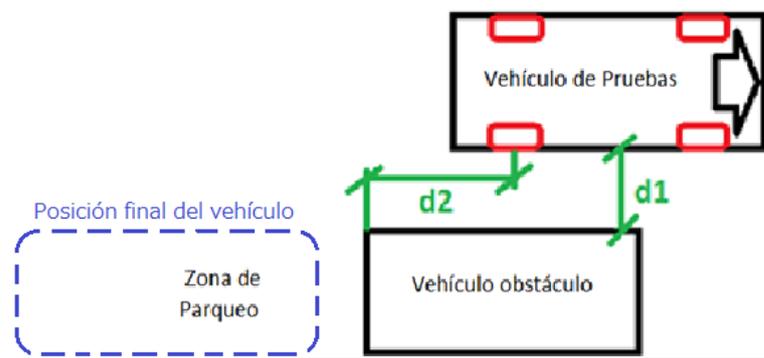


Figura 4-1: Parámetros requeridos por el programa

La figura 4-2 muestra la interface gráfica del programa de control. En ella, una vez ingresados los parámetros $d1$ y $d2$ en sus respectivos espacios se presiona el botón “Interpretar”. El programa calculará los parámetros que serán enviados hacia el vehículo mostrándolos en el área denominada “Secuencia a Seguir”. Finalmente, al presionar el botón “Ejecutar” estos parámetros serán enviados hacia el vehículo. Luego, el vehículo ejecutará de manera secuencial las instrucciones recibidas.

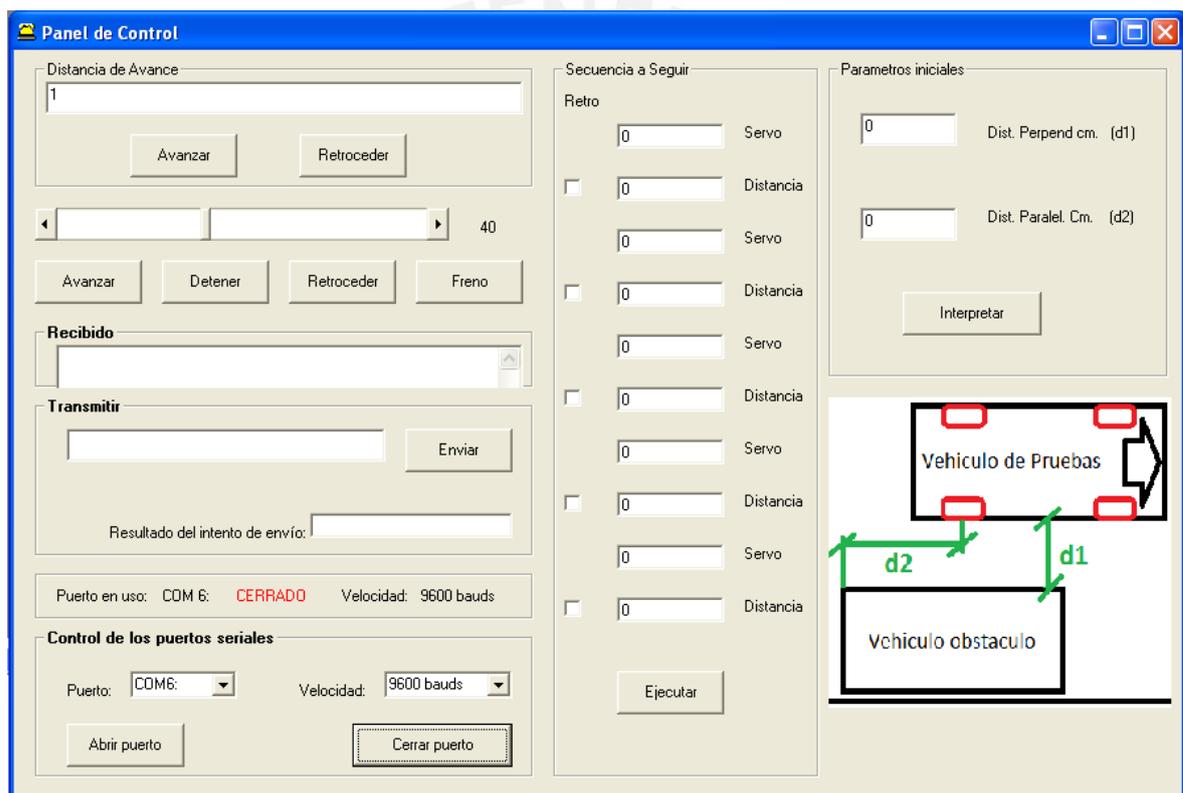


Figura 4-2: Interface gráfica del Programa de pruebas para la PC

4.2 Calibración y regulación del giro

Debido a la configuración del vehículo utilizado en las pruebas, el radio de giro en sentido horario es diferente al del sentido antihorario en función a la cantidad de grados girados por el servo. Teniendo esto en cuenta se procedió a regular el sistema

de tal manera que el radio de giro en ambos sentidos sean iguales. Esta regulación se realizó modificando valores de límite de movimiento del servo en el programa de la computadora.

4.3 Calibración de la distancia de avance del vehículo

Se realizó la calibración del avance y su respectiva regulación para la concordancia entre la distancia ingresada desde la computadora a manera de instrucción y la distancia recorrida por el vehículo en la realidad. Esta se realizó haciendo recorrer al móvil la distancia de un metro y constatar cuantos pasos generó el codificador incremental para así, obtener la relación de pasos contados en el codificador por centímetro de desplazamiento real.

4.4 Pruebas experimentales

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema se realizaron nueve pruebas que fueron repetidas 10 veces.

Para las pruebas experimentales se consideró la combinación de los siguientes valores (en centímetros) de d_1 y d_2 :

$d_1 = 0$, $d_1 = 5$ y $d_1 = 10$

$d_2 = 1$, $d_2 = 10$ y $d_2 = 20$

Las pruebas experimentales buscan medir el error de la posición final del vehículo.

La figura 4-3 muestra los valores a medir en las pruebas.

- delta X : Distancia paralela al vehículo desde el punto de estacionamiento deseado hasta la rueda trasera derecha en centímetros.
- delta Y1 : Distancia perpendicular al vehículo medida desde el punto de estacionamiento deseado hasta la rueda trasera derecha en centímetros.
- delta Y2 : Distancia perpendicular al vehículo medida desde el punto de estacionamiento deseado hasta la rueda delantera derecha en centímetros.

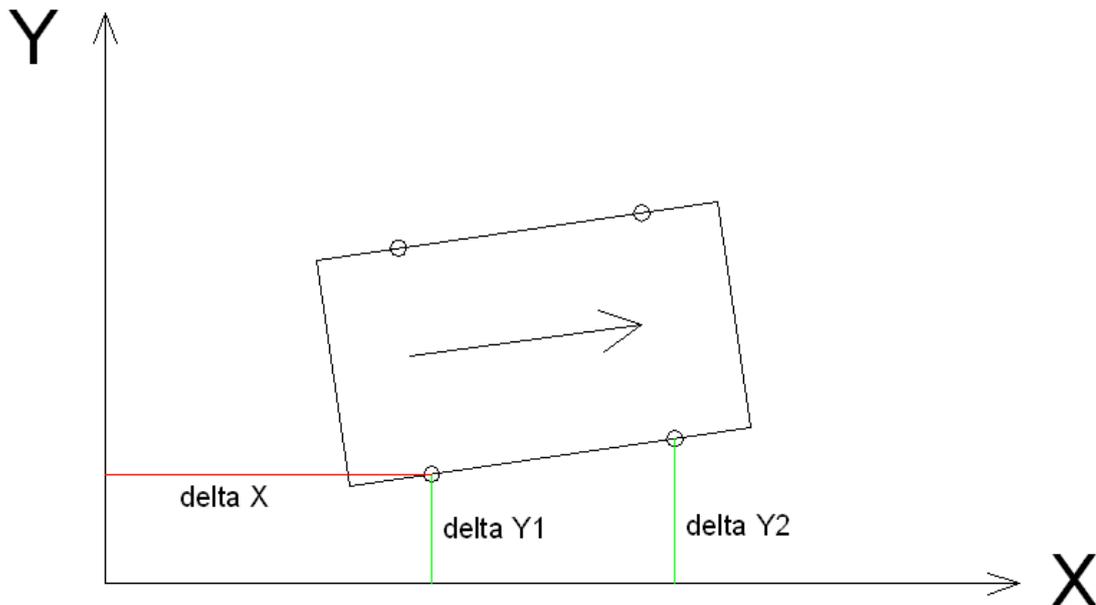


Figura 4-3: Mediciones realizadas en las pruebas (cm)
(La flecha indica la parte delantera del vehículo)

La posición final ideal del vehículo corresponde a los valores de delta X, delta Y1 y delta Y2 igual a cero.

coordenadas y la rueda delantera derecha sobre el eje X.

Todos los valores en las tablas se encuentran en centímetros

Prueba 1

(d1=1cm, d2=0cm)

Tabla 4-1: Resultados de la prueba 1

d1=1, d2=0			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	1	0.5	0.4
2	2	0.1	0.5
3	1.7	-0.3	0.3
4	1.4	0.2	0.3
5	0.7	0.2	0.1
6	1.5	-0.2	0.3
7	2.5	0	0.5
8	2	-0.2	0.2
9	1.3	-0.2	0.3
10	1.7	-0.3	0
Media	1.58	-0.02	0.29
Desv. Est.	0.50	0.25	0.15

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

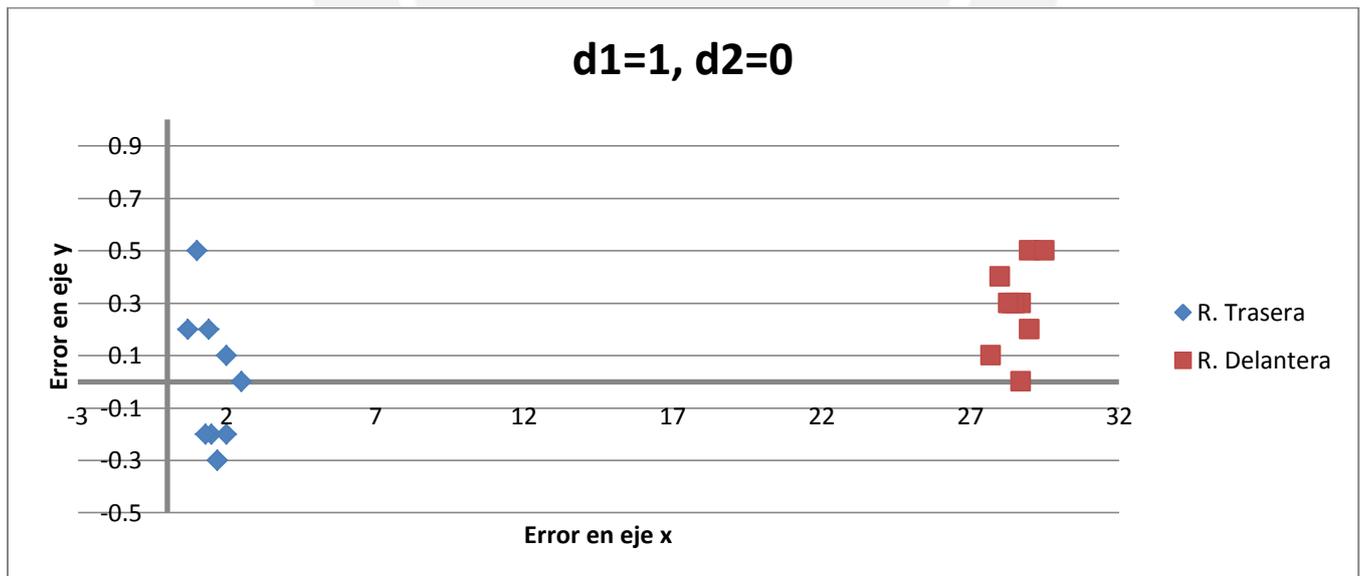


Figura 4-4: Dispersión de resultados de la prueba 1

La figura 4-4 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

Prueba 2

(d1=1cm, d2=10cm)

Tabla 4-2: Resultados de la prueba 2

d1=1, d2=10			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	2.5	-0.4	0.2
2	1.3	0.2	0.4
3	2	0.1	0.4
4	2	-0.5	0
5	1.7	0.1	0.4
6	1.8	-0.3	0.1
7	1.7	-0.7	0
8	1.3	0.2	0.4
9	1.4	-0.2	0.2
10	2.5	-0.4	0.3
Media	1.82	-0.19	0.24
Desv. Est.	0.42	0.30	0.16

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

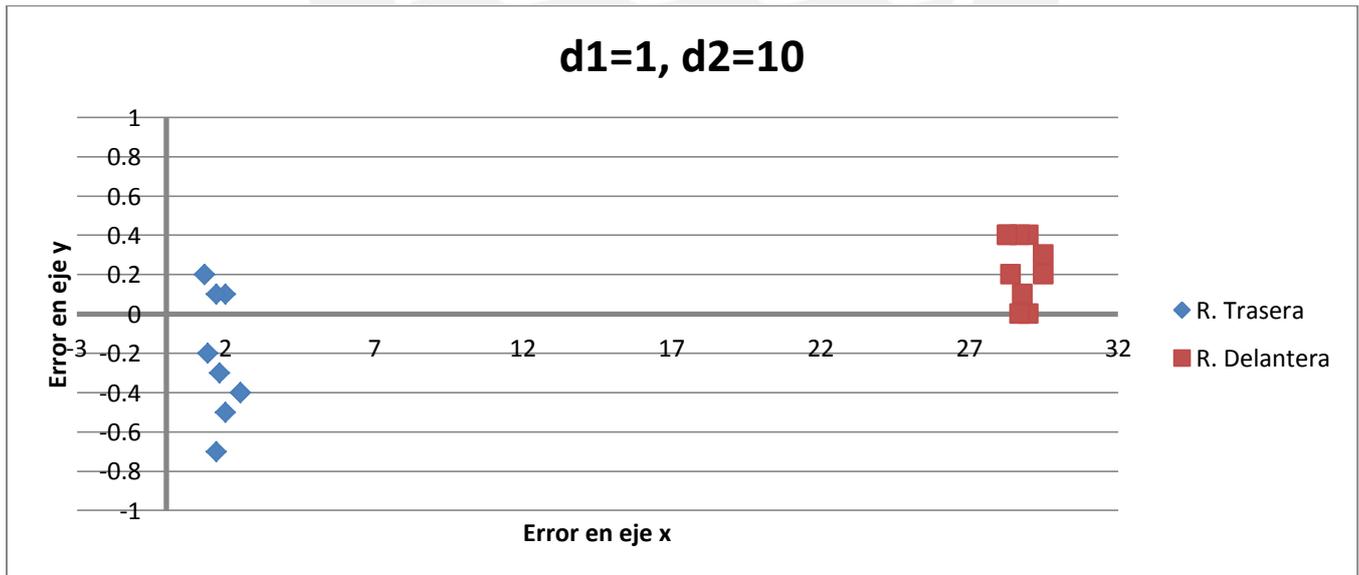


Figura 4-5: Dispersión de resultados de la prueba 2

La figura 4-5 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

Prueba 3

(d1=1cm, d2=20cm)

Tabla 4-3: Resultados de la prueba 3

d1=1, d2=20			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	1.6	0.3	0.5
2	1.4	-0.2	0.3
3	1.7	-0.3	0.2
4	2.5	-0.7	0.1
5	2.7	-0.4	0.2
6	2.3	0.4	0.4
7	1.5	1.2	1
8	1.8	0.2	0.3
9	2.2	-0.3	0.2
10	2.5	0	0.6
Media	2.02	0.02	0.38
Desv. Est.	0.45	0.51	0.25

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

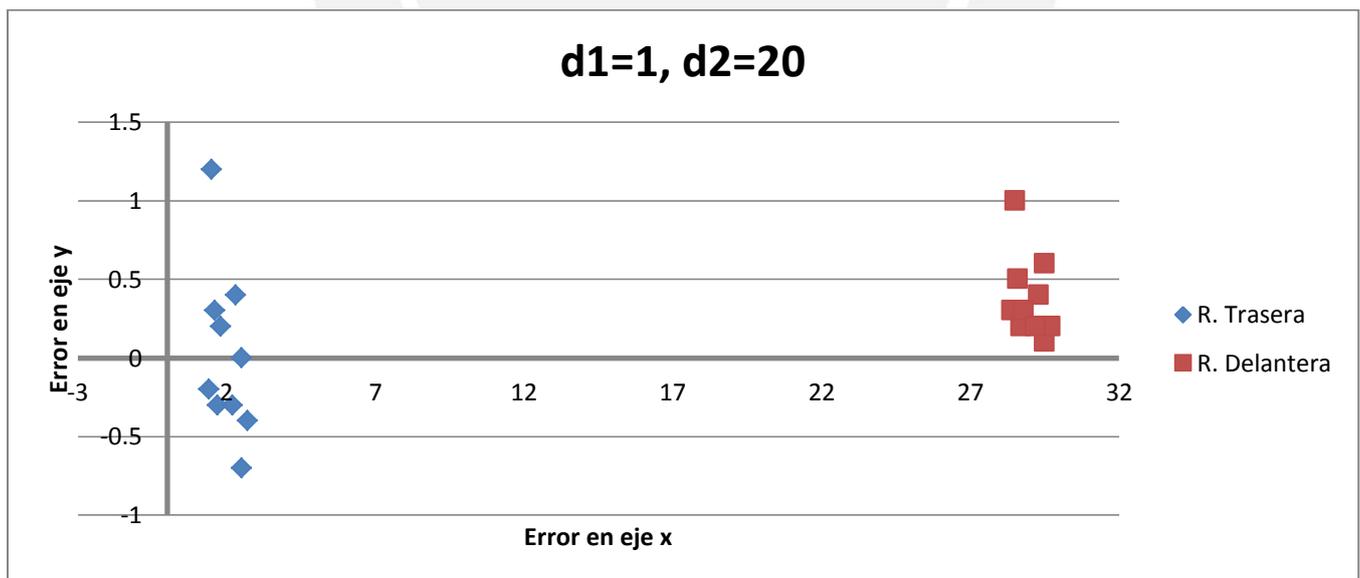


Figura 4-6: Dispersión de resultados de la prueba 3

La figura 4-6 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

Prueba 4

(d1=5cm, d2=0cm)

Tabla 4-4: Resultados de la prueba 4

d1=5, d2=0			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	1.2	1.4	1.4
2	0.8	1	1.1
3	1.3	1.1	0.8
4	2.2	0.5	1.3
5	1.1	0.9	1.1
6	1.5	1.2	1.3
7	1.4	-0.2	0.9
8	1.4	-0.2	0.8
9	1.7	0.6	1.2
10	1	0.1	0.9
Media	1.36	0.64	1.08
Desv. Est.	0.39	0.58	0.22

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

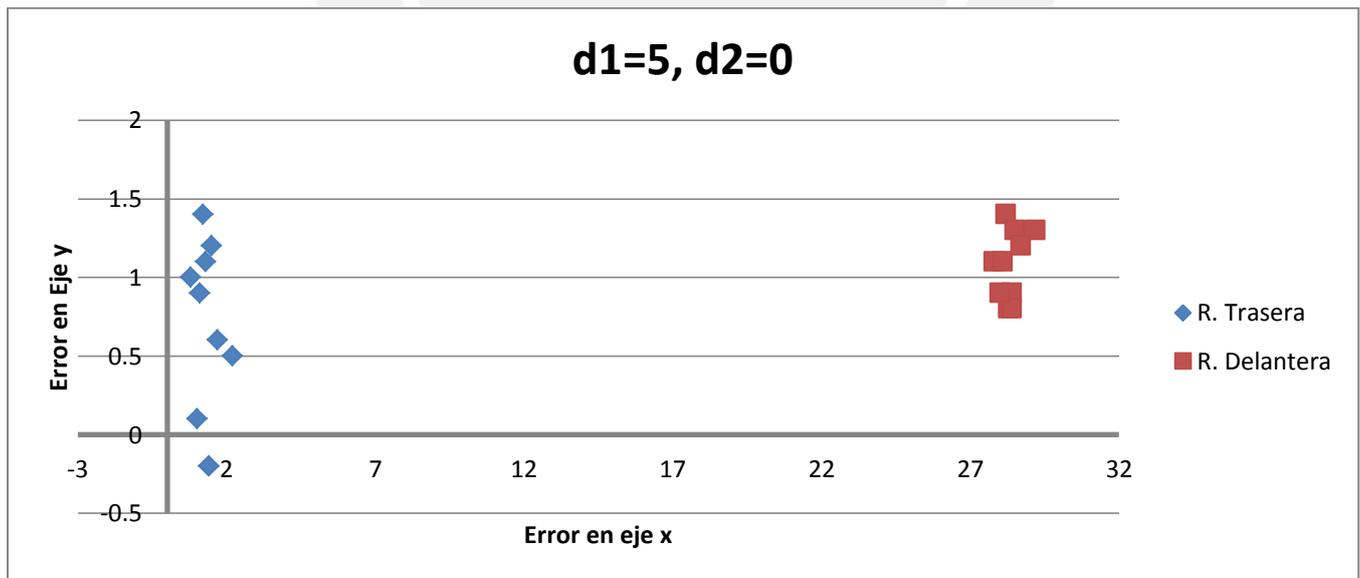


Figura 4-7: Dispersión de resultados de la prueba 4

La figura 4-7 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

Prueba 5

(d1=5cm, d2=10cm)

Tabla 4-5: Resultados de la prueba 5

d1=5, d2=10			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	1.4	1.2	1
2	1.3	1.3	1
3	4.5	1.8	1.7
4	1.7	1.3	1.5
5	2	0.9	1.4
6	1.8	0.8	1.1
7	2	1.1	1.5
8	2.8	1.5	1.4
9	2	0	0.8
10	1.9	0.6	1.3
Media	2.14	1.05	1.27
Desv. Est.	0.92	0.51	0.28

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

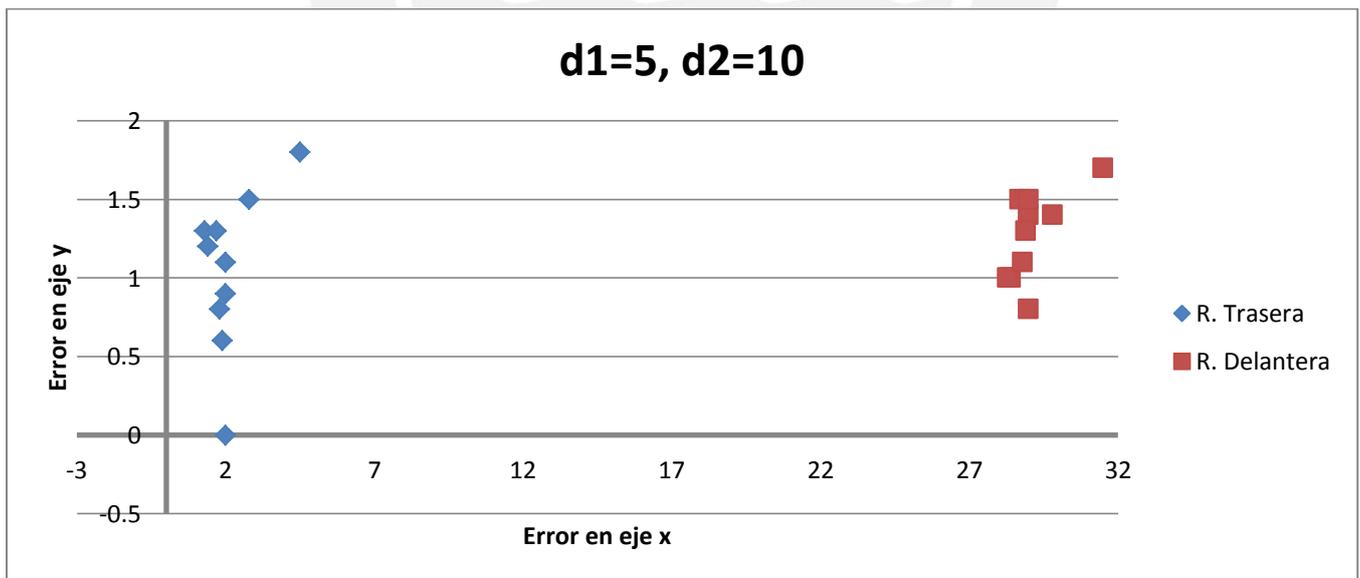


Figura 4-8: Dispersión de resultados de la prueba 5

La figura 4-8 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

Prueba 6

(d1=5cm, d2=20cm)

Tabla 4-6: Resultados de la prueba 6

d1=5, d2=20			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	1.3	1.3	1.1
2	1.4	0.7	0.6
3	1.8	0.5	0.6
4	1.5	-0.3	0.5
5	2.2	-0.1	0.7
6	2.4	-0.6	0.3
7	2.8	-0.1	0.5
8	2	-0.2	0.6
9	2.1	-1.1	0
10	2.2	-1	0.2
Media	1.97	-0.09	0.51
Desv. Est.	0.47	0.75	0.30

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

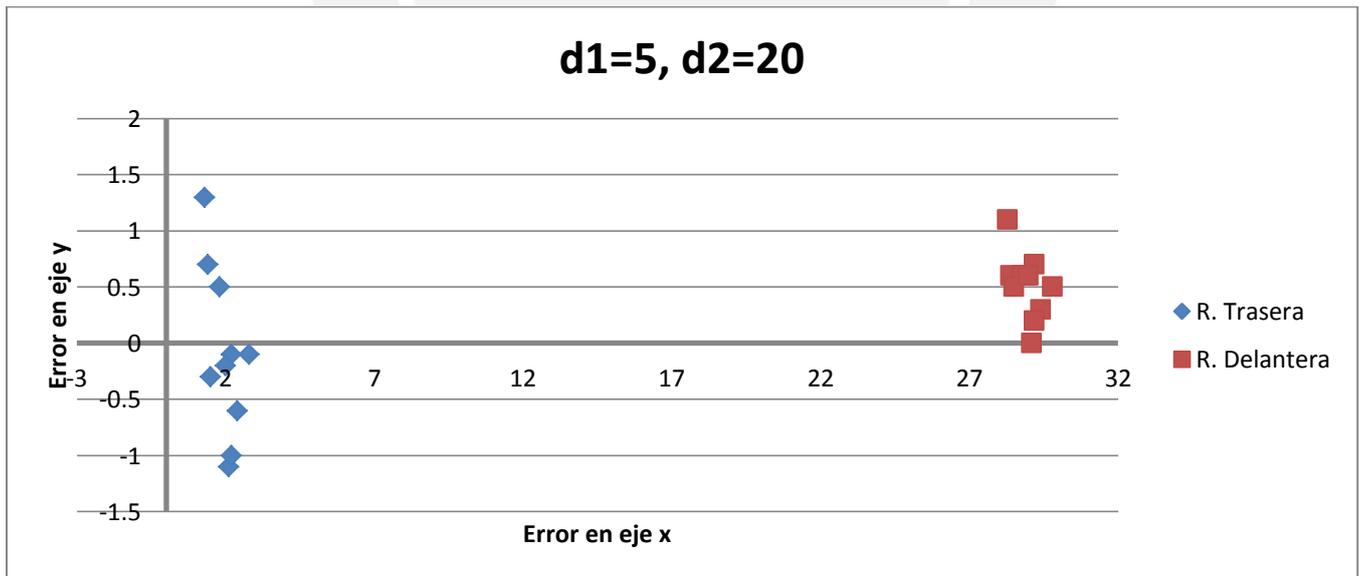


Figura 4-9: Dispersión de resultados de la prueba 6

La figura 4-9 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

Prueba 7

(d1=10cm, d2=0cm)

Tabla 4-7: Resultados de la prueba 7

d1=10, d2=0			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	2.2	0.6	1.5
2	3.3	0.5	1.8
3	2.2	0.1	1.2
4	2.3	0.1	1.3
5	2.5	0.3	1.6
6	4	0	2
7	2.3	0.1	1.4
8	3	-0.3	1.5
9	2.5	-0.3	1.3
10	2.7	-0.4	1.2
Media	2.70	0.07	1.48
Desv. Est.	0.58	0.34	0.26

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

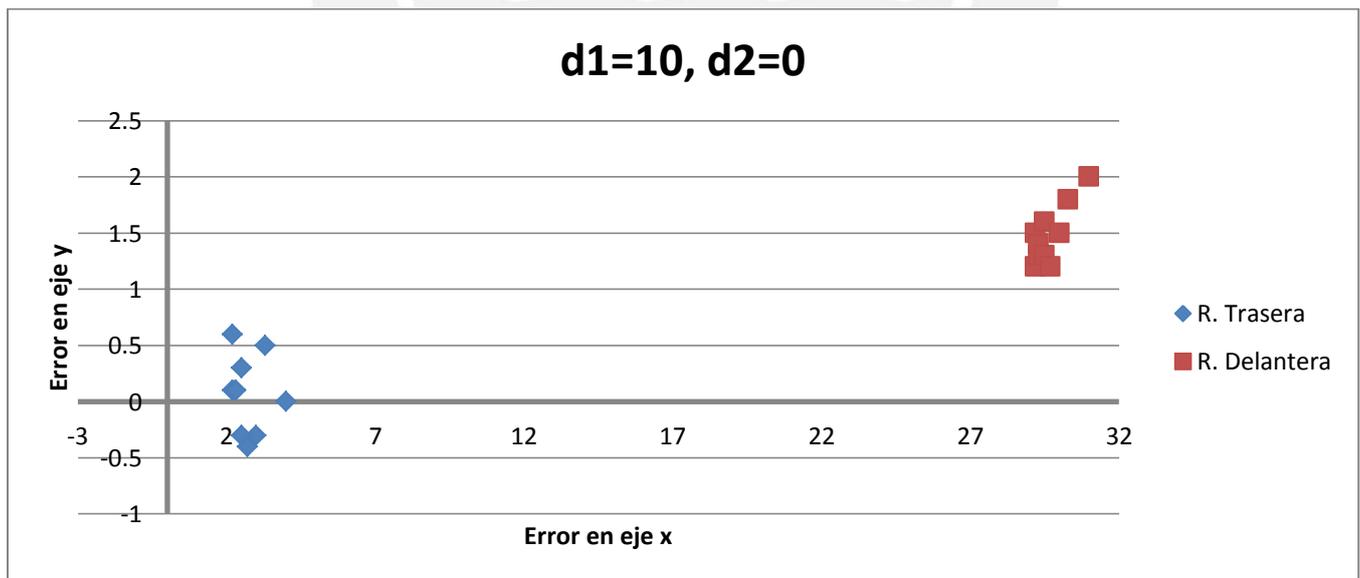


Figura 4-10: Dispersión de resultados de la prueba 7

La figura 4-10 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

Prueba 8

(d1=10cm, d2=10cm)

Tabla 4-8: Resultados de la prueba 8

d1=10, d2=10			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	2.7	0.1	1.1
2	3.5	0.2	1.5
3	3.7	-0.2	1.3
4	3.7	-0.8	1
5	2.8	0	1.4
6	2.6	-0.6	1.1
7	3.8	-0.6	1.2
8	3	-0.4	1.2
9	4.3	-1	0.9
10	4	-0.6	1.3
Media	3.41	-0.39	1.20
Desv. Est.	0.59	0.40	0.18

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

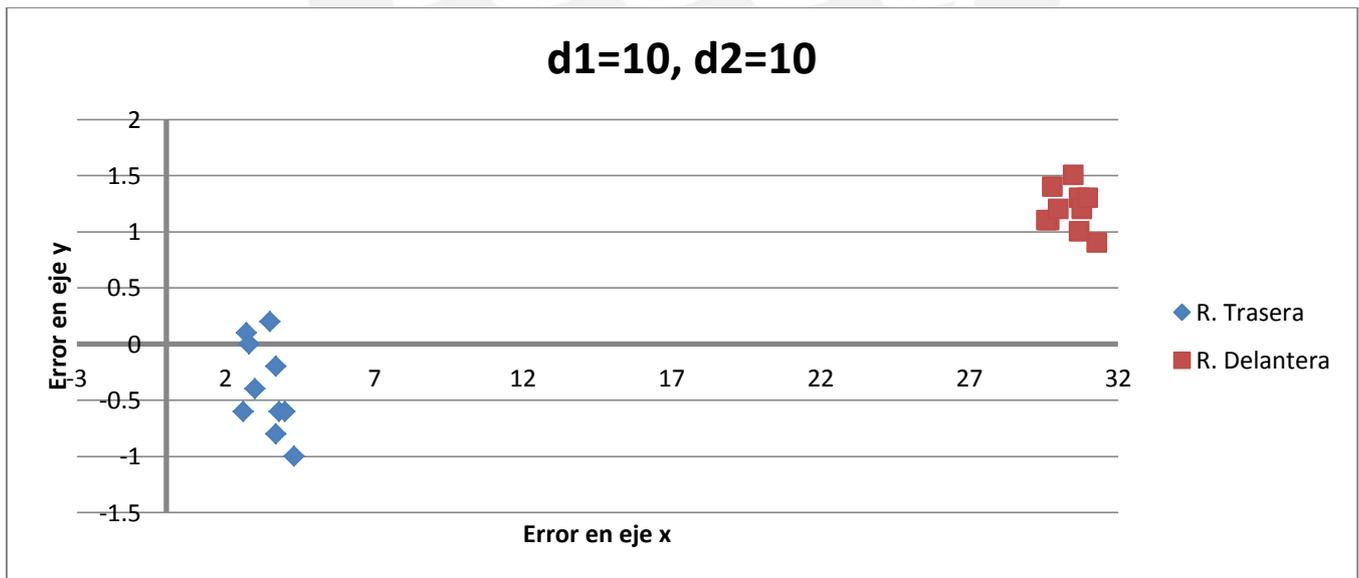


Figura 4-11: Dispersión de resultados de la prueba 8

La figura 4-11 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

Prueba 9

(d1=10cm, d2=20cm)

Tabla 4-9: Resultados de la prueba 9

d1=10, d2=20			
Prueba	delta X(cm)	deltaY1(cm)	deltaY2(cm)
1	2.5	0.8	1.6
2	1.5	1.5	1.9
3	2.5	0.4	1.9
4	2.7	-0.1	1.1
5	2.8	-0.6	1
6	2.3	-0.2	1.3
7	3.3	-0.8	0.9
8	2.3	-0.3	1.3
9	2.7	-0.3	1.6
10	2.9	-0.3	1.5
Media	2.55	0.01	1.41
Desv. Est.	0.47	0.70	0.35

Al graficar los datos de la tabla se obtiene:

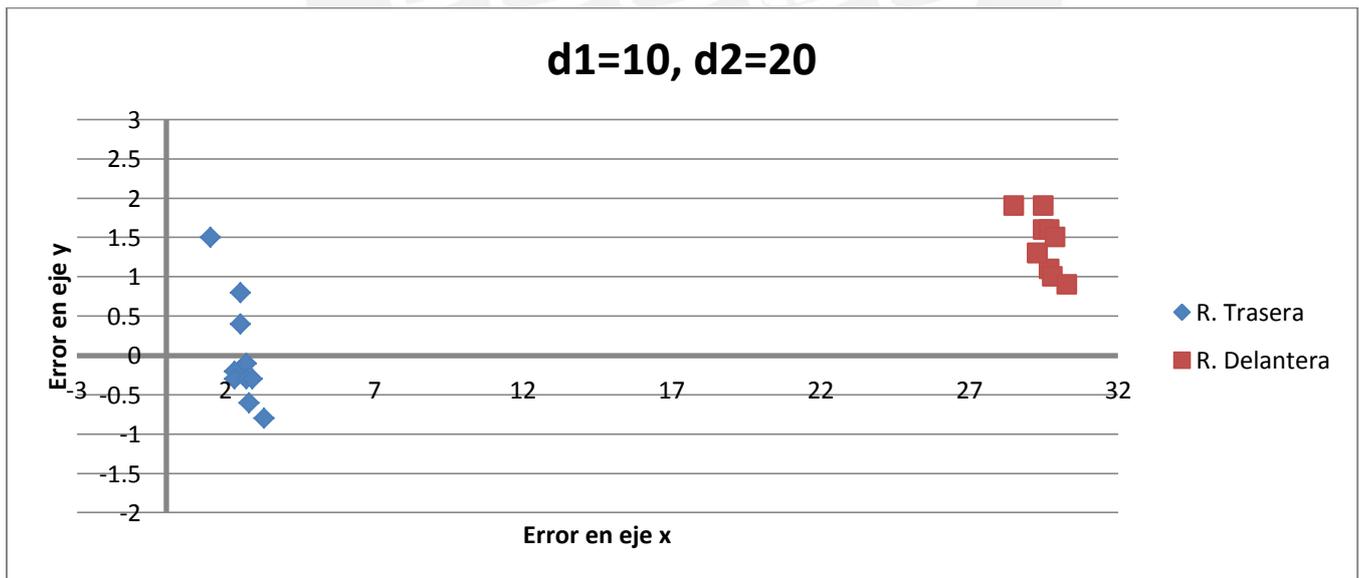


Figura 4-12: Dispersión de resultados de la prueba 9

La figura 4-12 muestra la dispersión de la posición final de ambas ruedas laterales derechas. El punto deseado para la rueda lateral derecha trasera es (0,0) y el punto deseado para la rueda lateral derecha delantera es (27,0)

OBSERVACIONES

- En las gráficas, el punto (0,0) corresponde al punto deseado al que debe de llegar el vehículo. Los valores que se muestran son el error de posición resultante del proceso de estacionamiento.
- En las gráficas, los errores de ambas ruedas comparten la misma abscisa. Esto se debe a que la diferencia entre las ordenadas es muy pequeña en comparación con la longitud del vehículo que es una constante, por lo que se puede asumir que la distancia entre ambas ruedas es constante en el eje X
- Las medidas se tomaron con una regla milimetrada por lo cual el error en las medidas es de ± 0.5 mm
- Igualmente existe la misma incertidumbre de error en el punto de partida del vehículo.
- Durante las pruebas se observó que el ángulo inicial en la que era colocado el auto, afecta significativamente a la posición final, especialmente cuando la posición final está más alejada del origen de la prueba.

CONCLUSIONES

- Se implementó un vehículo de pruebas en el cual se pudieron controlar la tracción y la dirección logrando con ello controlar su desplazamiento.
- El vehículo logró correctamente comunicarse con una PC de manera bidireccional ejecutando correctamente las órdenes dadas por esta.
- Se desarrolló un programa para microcontrolador que permite el control de la dirección y de la tracción del vehículo de pruebas.
- Se corroboró el correcto funcionamiento del vehículo de pruebas haciendo uso de un programa desarrollado para PC.
- En las pruebas pudo observarse que el error en la posición final de parqueo se incrementa conforme el punto de inicio de la maniobra se encuentre más alejado de la posición final del vehículo. Esto se debe a que el sistema no considera ningún tipo de realimentación con respecto a su entorno.
- Los errores en las repeticiones para una prueba específica, tienen cierta tendencia a un valor fijo. Mediante modificaciones al programa se podría aplicar un factor de corrección y así minimizar ese error.
- Al ser automatizada la maniobra de parqueo se disminuye el riesgo de choques o ralladuras producidas por el vehículo que se estaciona.
- Al ser el parqueo del vehículo administrado por un sistema autónomo, este puede evitar que los vehículos estacionen en zonas restringidas como las señales peatonales.
- Al realizarse la maniobra “en un solo paso”, el tiempo empleado en el proceso de parqueo es menor, permitiendo con esto que la congestión producida, por la obstrucción de la vía debido al vehículo que se estaciona, sea menor.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable para este tipo de proyecto utilizar una plataforma mecánica (chasis de auto) de mejor diseño. Si bien la utilizada es bastante buena, existe en el vehículo utilizado alrededor de 1 cm de “juego” en las ruedas de tracción que no es controlable por el motor. Asimismo el sistema Ackerman del vehículo no está perfectamente alineado por lo que produce también cierto grado de incertidumbre en las pruebas.
- Para la implementación de este proyecto sobre un vehículo real se recomienda utilizar un protocolo de comunicaciones muy robusto ya que una instrucción mal recibida o interpretada podría ocasionar un accidente.
- Se puede minimizar el error final del vehículo a través de la realimentación de la ubicación del mismo. Esta información sería entregada por el sistema de procesamiento de imágenes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Is there a worldwide parking problem?
Chris Summers. BBC News
<http://www.bbc.co.uk/news/magazine-17271118>
consulta: 14 septiembre 2012
- [2] Car Parking
Health and Safety Executive
www.hse.gov.uk/pubns/wpt09.pdf
Consulta: septiembre 2012
- [3] Adnan Shaout, Dominic Colella, S. Awad
“Advanced Driver Assistance Systems - Past, present and future”
Computer Engineering Conference (ICENCO), 2011 Seventh International
Print ISBN: 978-1-4673-0730-7
- [4] Wada, M.; Yoon, K.; Hashimoto, H.; Matsuda, S.; Masuda, H.; ,
"Development of advanced parking assistance system," Intelligent
Transportation Systems, 1 999. Proceedings. 1 999 IEEE/IEEJ/JSAI
International Conference on , vol., no., pp.7 1 6-72 I , 1 999.
- [5] www.autoescuela.tv/blog/el-radio-de-giro/
Consulta: septiembre 2012
- [6] Norris, William (1906).
"Steering". *Modern Steam Road Wagons*. Longmans. pp. 63–67.
(ISBN:0715359096 / 0-7153-5909-6)
- [7] Harald Naunheimer, Bernd Bertsche, Joachim Ryborz,
“*Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application*”
Wolfgang Novak, ISBN: 978-3-642-16213-8 (Print) 978-3-642-16214-5 (Online), 2011
- [8] <http://conduser.com/ALISTAMIENTO12.htm>
Consulta: septiembre 2012
- [9] http://www.robotplatform.com/knowledge/servo/servo_control_tutorial.html
Consulta: septiembre 2012
- [10] <http://www.futaba-rc.com/servos/analog.html>
Consulta: septiembre 2012
- [11] www.motioncontroltips.com/incremental-encoders/
Consulta: septiembre 2012

- [12] <http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Home.aspx>
Consulta: noviembre 2012
- [13] <http://www.oemblue.com/BTM45%20class1%20standard.html>
Consulta: noviembre 2012
- [14] Tsung-hua Hsu, Jing-Fu Liu, Pen-Ning Yu, Wang-Shuan Lee and Jia-Sing Hsu
“Development of an Automatic Parking System for Vehicle”
Automotive Research and Testing Center, Changhua County, Taiwan, R.O.C., 3-5
Sept. 2008
E-ISBN : 978-1-4244-1849-7
- [15] Amorn Vorashompoo, Benjamas Panomruttanarug, Kohji Higuchi
“Bidirectional best first based autonomous parallel parking system”
Conference: International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer,
Telecommunications and Information Technology - ECTI-CON , 2011
- [16] Tzoo-Hseng S. Li and Shih-Jie Chang
“Autonomous Fuzzy Parking Control of a Car-Like Mobile Robot”
IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics—part a: systems and humans,
vol. 33, no. 4, July 2003 451
- [17] Simon R. Blackburn,
“The Geometry of Perfect Parking”
Royal Holloway, University of London
Egham, Surrey TW20 0EX. November 30, 2009

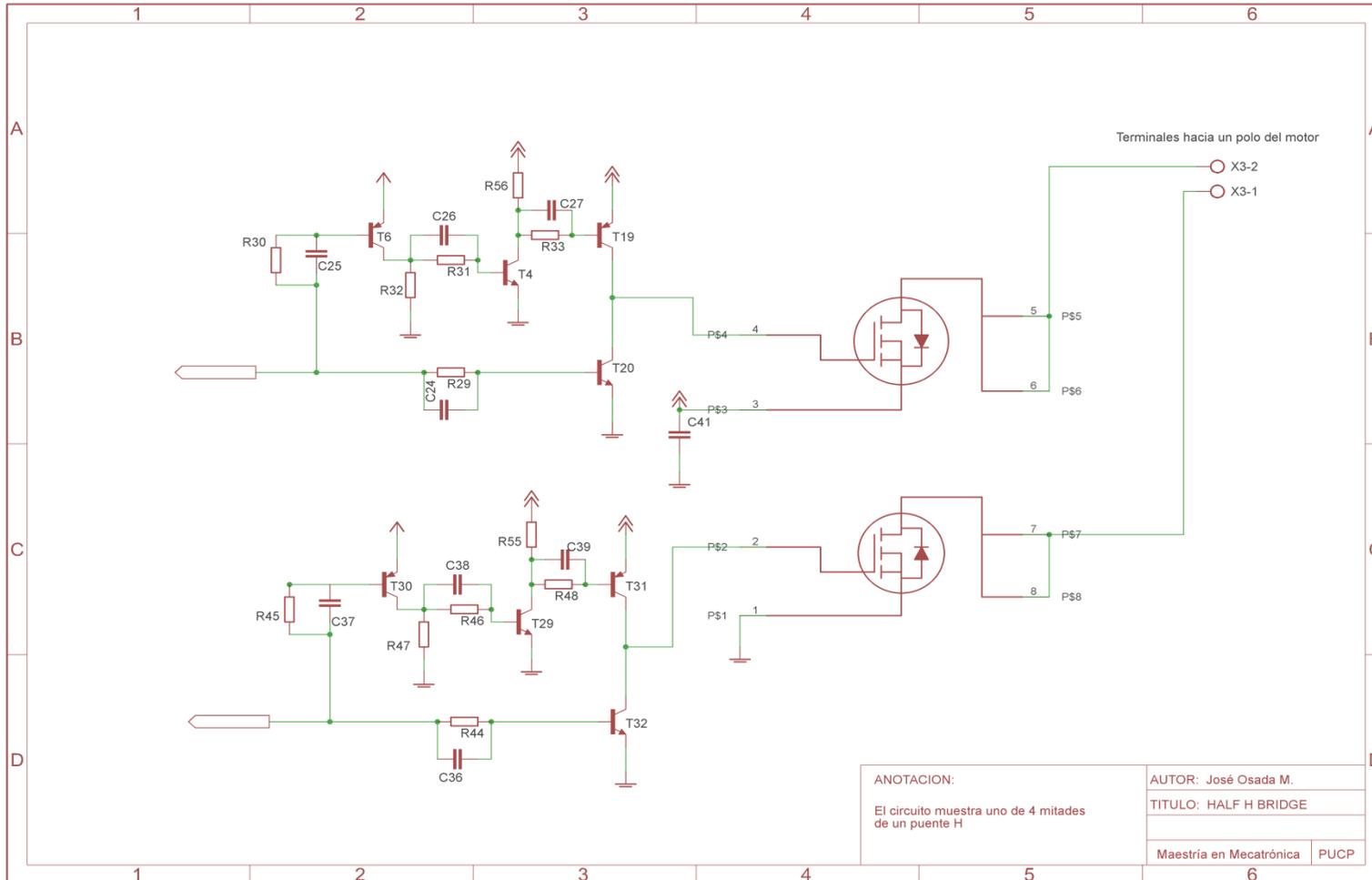
ANEXOS:

Anexo 1: Parque vehicular estimado en el Perú

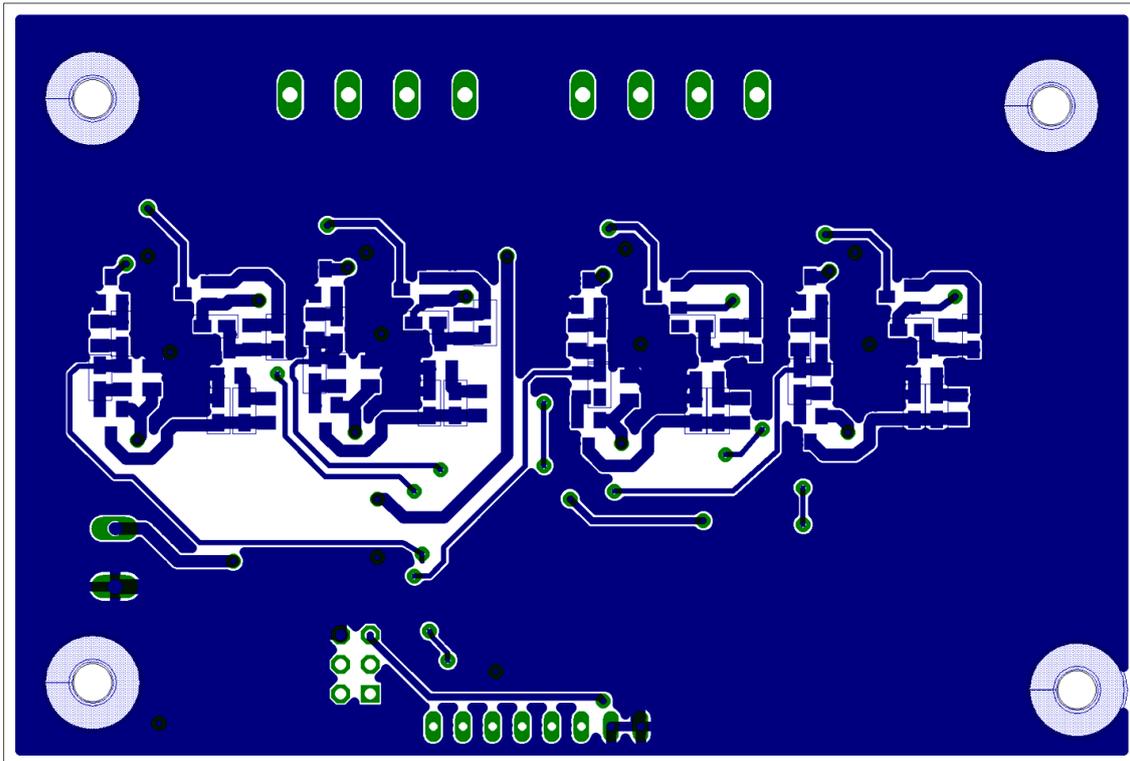
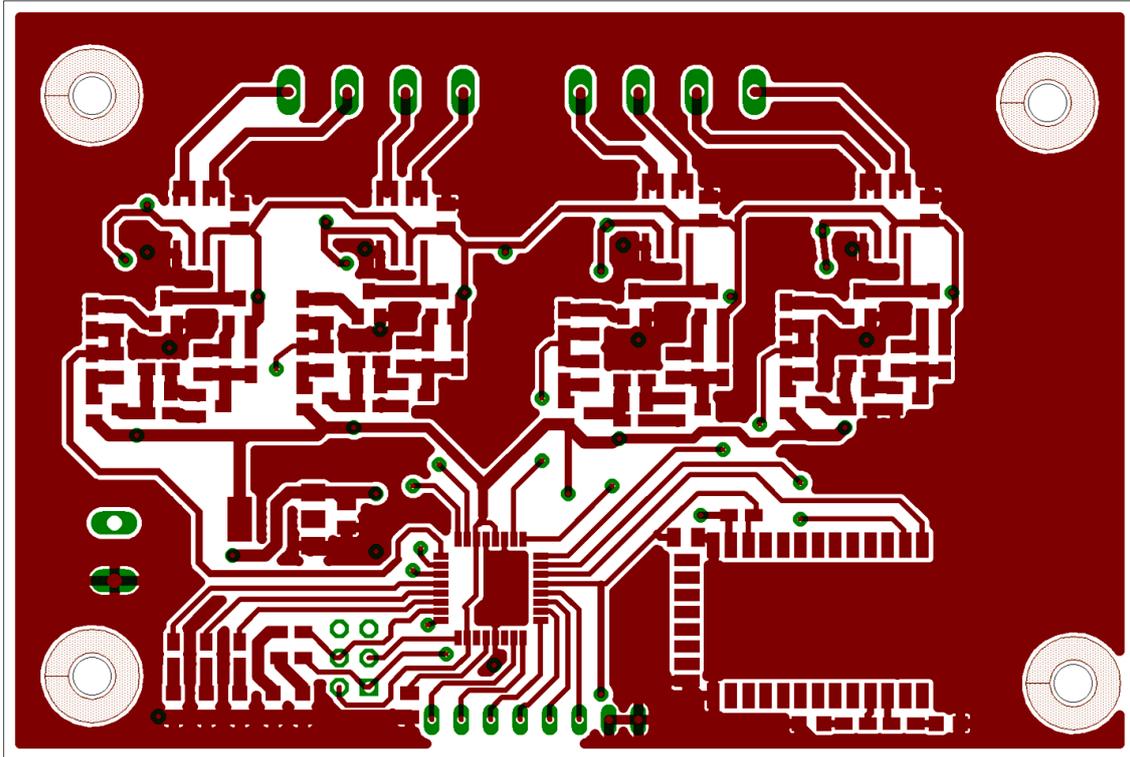
CLASE DE VEHICULO	2003 R/	2004 R/	2005 R/	2006 R/	2007 R/	2008 R/	2009	2010	2011
TOTAL	1,342,288	1,361,403	1,440,017	1,473,530	1,534,303	1,640,970	1,732,834	1,849,690	1,979,865
AUTOMOVIL	643,848	646,497	673,647	681,538	696,897	735,314	766,742	809,967	860,366
STATION WAGON	197,700	209,908	227,338	237,562	250,979	261,441	274,566	285,300	289,649
CMTA. PICK UP	155,251	155,951	165,875	168,756	176,111	187,940	196,833	210,988	228,321
CMTA. RURAL	126,391	129,077	137,941	146,434	159,829	184,328	207,067	235,889	272,596
CMTA. PANEL	23,515	24,930	26,850	28,177	29,684	32,498	34,172	36,184	37,847
OMNIBUS	46,198	45,851	47,788	47,873	48,542	49,882	51,563	54,389	56,704
CAMION	109,862	109,019	115,576	116,485	120,661	129,295	137,407	147,293	158,939
REMOLCADOR	17,107	17,282	17,602	18,319	20,872	24,890	26,457	28,679	30,779
REMOLQUE	22,416	22,888	27,400	28,386	30,728	35,382	38,027	41,001	44,664

Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones

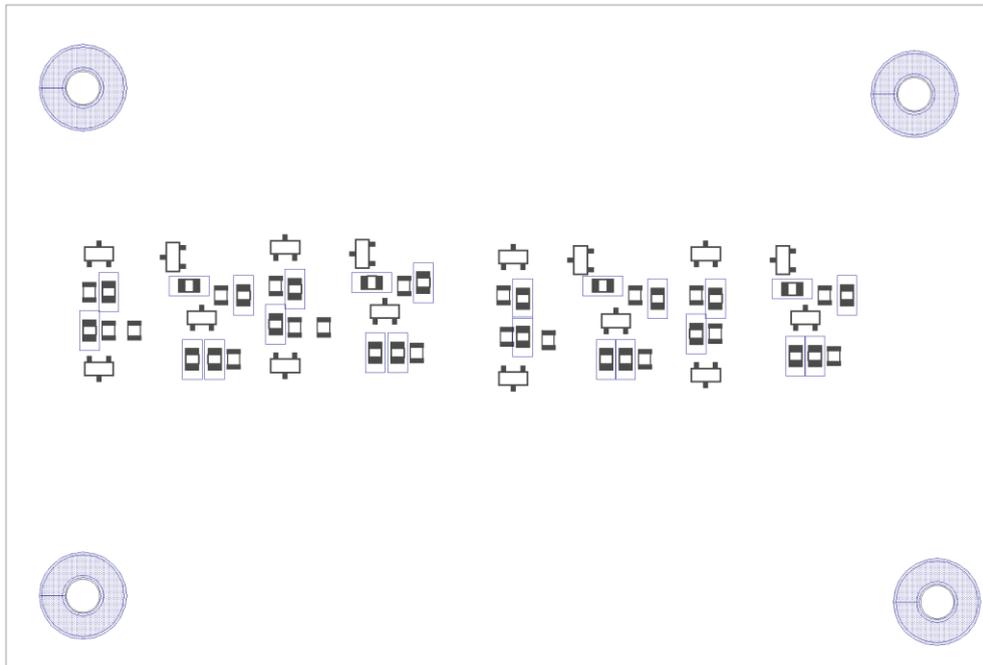
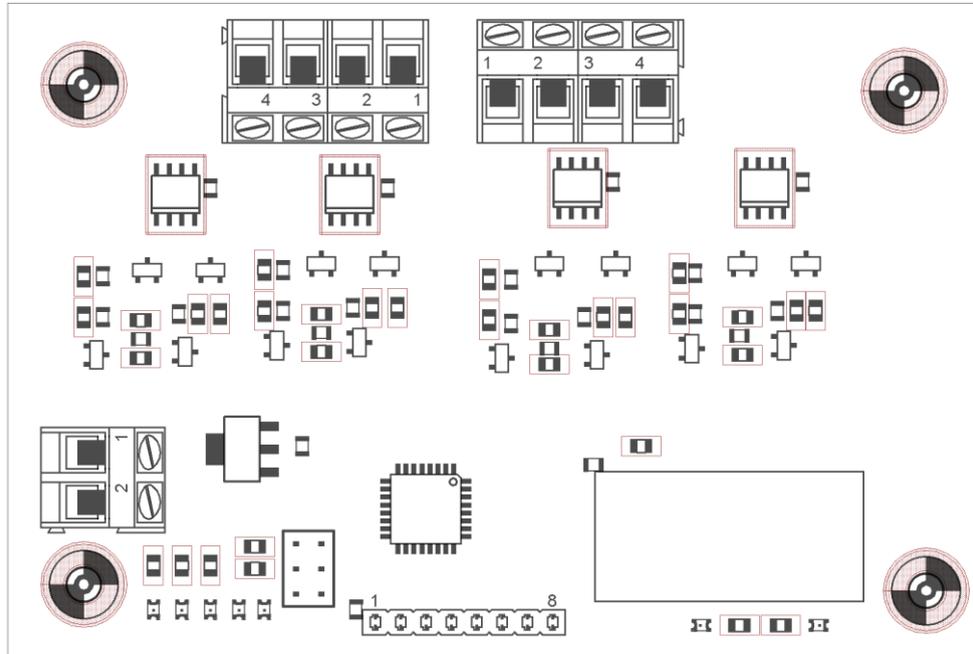
Anexo 3: Diagrama esquemático del circuito de potencia.



Anexo 4: Diseño del circuito impreso



Anexo 5: Diagrama de ubicación de componentes



Your maxon drive

maxon motor

driven by precision

consists of:

Gearhead GS 16 A Ø16 mm, 0.015 - 0.04 Nm

Part number 144410

A-max 16 Ø16 mm, Precious Metal Brushes CLL, 1.2 Watt, CE approved, with terminals

Part number 110054

Encoder MR, Typ M, 32 Counts per turn, 2 Channels

Part number 201935

Your Contact

maxon motor worldwide

http://www.maxonmotor.com:80/maxon/view/content/contact_pageE-Mail: info@maxonmotor.comInternet: <http://www.maxonmotor.com:80>

retail price:

1-4 units
5-19 units
20-49 unitsCHF 153.80
CHF 134.90
CHF 115.00

Terms and conditions

Gearhead GS 16 A Ø16 mm, 0.015 - 0.04 Nm

Artikelnummer 144410



General information

Gear Art	GS
Outer diameter	12 mm
Gear variant	A

Gearhead Data

Reduction	12 : 1
Reduction absolute	961/81
Max. motor shaft diameter	1 mm
Number of stages	2
Max. continuous torque	0.015 Nm
Intermittently permissible torque at gear output	0.1 Nm
Sense of rotation drive to output	=
Max. efficiency	81 %
Weight	9 g
Average backlash no load	1 °
Mass inertia	0.0032 gcm ²
Gearhead length (L1)	11.8 mm
Max. transferable continuous performance	1 W
Max. transferable short-time performance	7 W

Technical Data

Radial play	max. 0.15 mm, 6 mm from flange
Axial play	0.02 - 0.12 mm
Max. radial load	2 N, 6.5 mm from flange
Max. axial load (dynamic)	2 N
Max. permissible force for press fits	30 N
Recommended input speed	8000 min ⁻¹
Max. short-time input speed	8000 min ⁻¹
Recommended temperature range	-15...+100 °C
Extended temperature range	-40...+100 °C
Number of autoclave cycles	0

Product

Program	GS 16 A
---------	---------

A-max 16 Ø16 mm, Precious Metal Brushes CLL, 1.2 Watt, CE approved, with terminals
Artikelnummer 110054



Values at nominal voltage

Supply voltage	7.2 V
No load speed	9740 min ⁻¹
No load current	14.7 mA
Nominal speed	4200 min ⁻¹
Nominal torque (max. continuous torque)	2.17 mNm
Nominal current (max. continuous current)	0.327 A
Stall torque	3.86 mNm
Starting current	0.561 A
Max. efficiency	71 %

Characteristics

Terminal resistance	12.8 Ω
Terminal inductance	0.467 mH
Torque constant	6.88 mNm A ⁻¹
Speed constant	1390 min ⁻¹ V ⁻¹
Speed / torque gradient	2590 min ⁻¹ mNm ⁻¹
Mechanical time constant	23.3 ms
Rotor inertia	0.857 gcm ²

Thermal data

Thermal resistance housing-ambient	29.8 KW ⁻¹
Thermal resistance winding-housing	5.5 KW ⁻¹
Thermal time constant winding	3.51 s
Thermal time constant motor	165 s
Ambient temperature	-30...+65 °C
Max. permissible winding temperature	+85 °C

Mechanical data

Bearer Type	sleeve bearing
Max. permissible speed	11000 min ⁻¹
Axial play	0.05 - 0.15 mm
Radial play	0.012 mm
Max. axial load (dynamic)	0.8 N
Max. force for press fits (static)	35 N
(static, shaft supported)	280 N
Max. radial loading	1.4 N, 5 mm from flange

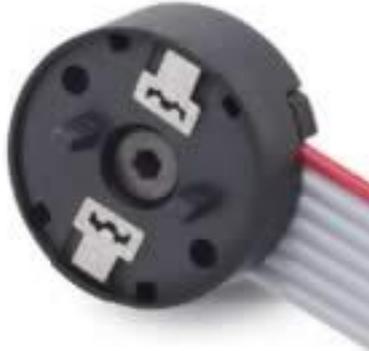
Other specifications

Number of pole pairs	1
Number of commutator segments	7
Direction of rotation	Clockwise (CW)
Number of autoclave cycles	0

Product

Program	A-max 16 EB
Weight	22 g

Encoder MR, Typ M, 32 Counts per turn, 2 Channels
Artikelnummer 201935



General information

Counts per turn	32
Number of channels	2
Line Driver	No
Max. speed	15000 min ⁻¹

Technical Data

Supply voltage Vcc	2.7...5.5 V
Driver used logic	TTL
Output current per channel	0...5 mA
Phase shift	90 °e
Phase shift, inaccuracy	45 °e
Index synchronized to AB	No
Max. moment of inertia of code wheel	0.1 gcm ²
Operating temperature	-25...+85 °C

Product

Program		32IMP 2K 32P TTL
---------	--	------------------