

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E
INGENIERÍAS**

**DIVISIÓN ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**



“Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora”

Proyecto Modular

ASESOR

Ing. Rubén Adrián Gil Rivera

2957619

INTEGRANTES

Saúl Eduardo Rodríguez López

210655765

Juan Carlos García López

214288309

Guadalajara, Jalisco, 07 de Diciembre de 2018

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

INDICE

Introducción.....	7
Planteamiento del problema.	9
Justificación	9
Contribución de los integrantes.....	10
Justificación de los cuatro módulos.....	11
Módulo I Electrónica Digital:.....	11
Módulo II Electrónica Analógica:	11
Módulo III Comunicaciones:.....	11
Módulo IV Instrumentación y Control:.....	13
Estado del arte.....	14
Automóviles Tesla: Tesla Modelo S.	14
Autos Mercedes-Benz: Truck FT-2025.....	16
Capítulo 1: Robótica y automovilismo.....	18
Capítulo 2: Visión Artificial.....	23
Etapas de un sistema de visión artificial	23
Características Haar.....	25
Capítulo 3: Metodología del diseño: Hardware	26
Fundamentos teóricos del proyecto.....	26
Construcción del vehículo.....	26
• Diseño del chasis.....	26
• Sensores para la detección y el seguimiento de línea.....	27
• Diseño del PCB de los sensores	29
• Ubicación sensores IR en el vehículo.....	30
• Elección del microcontrolador.....	32
Placa Arduino UNO	33
Placa Arduino MEGA	33
• Diseño PCB de la SHIELD de transmisión de datos.....	33
• Diseño PCB de la SHIELD de recepción de datos y control de motores.	35
• Controlador de motores	37

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

• Conexiones y visualización general del proyecto.....	39
• Diagrama general de funcionamiento.....	40
Herramientas de diseño Hardware	40
Capítulo 4: Metodología del diseño: Software.....	42
Implementación del control PID.	42
Construcción de la interfaz.....	44
• Conexión de la interfaz con Arduino.....	45
• Prueba de la interfaz	46
• Prueba modo manual	47
• Prueba modo automático.....	48
• Detección del semáforo.....	49
Herramientas de diseño software	50
Resultados.....	51
Modo automático.....	51
• Detección de semáforos.....	51
• Seguimiento de línea	53
Modo Manual	56
• Consumo total de energía del sistema.	56
• Autonomía máxima	56
• Velocidad máxima teórica	57
• Cálculo de potencia	58
• Pruebas de distancia	58
Recomendaciones.....	60
Conclusiones	61
Referencias	62

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Figuras.

Ilustración 1: Diagrama a bloques de etapa analógica	11
Ilustración 2: Diagrama a bloques de etapa de autenticación de usuario.....	12
Ilustración 3: Diagrama a bloques de etapa de comunicaciones.....	13
Ilustración 4: Diagrama a bloques de etapa de visión artificial	13
Ilustración 5: Automóvil Tesla Model S.....	14
Ilustración 6: Sistema de pilotaje automático de Tesla.	15
Ilustración 7: Camión de carga Mercedes-Benz Future Truck 2025.	16
Ilustración 8: Compartimiento interior para el usuario que controla el FT-2025.....	17
Ilustración 9: Sensores y dispositivos dentro de un auto autónomo.....	22
Ilustración 10: Diagrama de bloques de las etapas típicas en un sistema de visión artificial [4].	24
Ilustración 11: Esquema general de funcionamiento de un clasificador.	24
Ilustración 12: a) Base top. b) Primer piso. c) Base principal.	27
Ilustración 13: Tipo de configuraciones de los arreglos de sensores IR.....	28
Ilustración 14: Diseño esquemático de los componentes en EAGLE CAD.	30
Ilustración 15: Capa PCB sensores capa bottom.	30
Ilustración 16: Ubicación ideal del módulo de sensores.....	31
Ilustración 17: Sensores ópticos reflectivos posicionados.....	31
Ilustración 18: Diseño PCB de la SHIELD transmisión por RF.	34
Ilustración 19: Ruteo PCB de la SHIELD de transmisión de datos	34
Ilustración 20: Montaje de la SHIELD Arduino UNO para transmisión de datos por RF.	35
Ilustración 21: Diseño PCB de la SHIELD de Recepción de datos por RF, señales, control de motores y distancia.....	36
Ilustración 22: Ruteo PCB de la SHIELD de Recepción de datos por RF, señales, control de motores y distancia.....	36
Ilustración 23: Montaje de la SHIELD Arduino MEGA de Recepción de datos por RF, señales, control de motores y distancia.	37
Ilustración 24: Diagrama de controlador L293D	39
Ilustración 25: Diagrama de conexión del receptor con el seguidor de línea.....	39
Ilustración 26: Diagrama de conexión del transmisor con la computadora.	40
Ilustración 27: Diagrama general de funcionamiento del vehículo con visión artificial.	40
Ilustración 28: Diagrama de control PID.	42
Ilustración 29: Ejemplo de control PID donde la línea negra representa el camino a seguir y la línea roja representa la trayectoria realizada [14].	43
Ilustración 30: Respuesta en el dominio del tiempo del sistema de control [14].....	43
Ilustración 31: Diseño de la interfaz en QT.	45
Ilustración 32: Dispositivos conectados a la computadora.....	46
Ilustración 33: Validación del usuario	47

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Ilustración 34: Cámara enlazada a la interfaz de computadora.	48
Ilustración 35: Imagen del semáforo a detectar.	49
Ilustración 36: Esquemático del proceso de detección de color.	49
Ilustración 37: Maqueta del semáforo.....	50
Ilustración 38: a) Vehículo perfil izquierdo, b) Vehículo de frente, c) Vehículo de perfil derecho...	51
Ilustración 39: Detección de luz verde.....	52
Ilustración 40: Detección de luz roja.....	52
Ilustración 41: Detección de luz roja.....	53
Ilustración 42: Seguimiento de línea PID usando distintos valores de K_p , K_i , K_d	55
Ilustración 43: Pruebas de distancia en modo manual.	59

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Tablas.

Tabla 1: Valores ponderados para cada combinación	44
Tabla 2: Datos enviados en control manual.	48
Tabla 3: Datos enviados en control manual.	48
Tabla 4: Cálculo de corrientes de componentes electrónicos.	56
Tabla 5: Cálculo de corrientes de los módulos.	56
Tabla 6: Peso total por cada elemento del vehículo.	59

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Introducción

El hombre desde sus inicios realizaba trabajos diarios y repetitivos que le aseguraban la supervivencia y coexistir en un grupo de personas igual que él. Al paso del tiempo el hombre vio la necesidad de hacer su labor más sencillamente y liberarse de lo que le costaba más trabajo realizar, creando así herramientas de trabajo que le permitieran hacer más eficiente su trabajo.

También siempre necesitó desplazarse de un lugar a otro por propia cuenta para llevar alguna carga o no, de pronto se dio cuenta que podía hacer más fácil su labor creando medios eficientes y seguros que le permitiendo desplazarse más rápidos a través de ruedas de piedra, balsas sobre el agua y, como uno de sus grandes avances, medios de transporte que viajan a través de aire.

El desarrollo del conocimiento tomo varios siglos para que hiciera más provechosos las labores diarias como la agricultura, la pesca, el transporte de gente o mercancía, entre otros, inventados por el hombre y que funcionaran con sistemas complejos cuyo mecanismo siguiera cierta cantidad de pasos para llegar a un fin deseado.

Desde la aparición del automóvil, la libertad y la comodidad que ofrece al usuario, lo han caracterizado como medio de transporte preferido en el mercado, así como también a través de la historia cuando surgió el primer automóvil que era sometido a muchos cambios para volverlo más rápido y cómodo para quien lo conducía más eso no lo volvía más favorable para el medio ambiente en sus inicios.

El incremento del número de automóviles en los últimos años ha provocado que tanto los organismos de tráfico como los fabricantes pongan cada vez más atención en buscar soluciones para resolver los problemas más comunes ligados al uso del automóvil que son el tráfico, la contaminación y accidentes [1]. A raíz de lo mencionado anteriormente, se puede notar como hay cada vez automóviles que contaminan menos, son más seguros y pocos han sido integrados con inteligencia artificial con el fin de darles de conducirse autónomamente.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

La inteligencia artificial es un campo de la investigación que lleva muchos años estudiándose, sin embargo, el combinar la inteligencia con la industria de los automóviles lleva casi una década, y es una de las líneas de investigación de las que van reforzándose año con año a medida que avanza el conocimiento en la electrónica y la computación.

El uso de la inteligencia artificial no viene a sustituir las funciones del usuario al volante, pero si viene a dar solución a varios de los errores humanos que causan los accidentes que llegan a dejar saldos fatales.

Objetivos.

- Crear un sistema robótico seguidor de líneas usando sensores ópticos reflectivos que envíen las señales a una placa de desarrollo que conducirá al sistema con un control PID.
- Diseñar una interfaz GUI en Qt que controle al sistema robótico en función autónoma y manual y haga uso de visión artificial en tiempo real para la detección de objetos como señales de tráfico y semáforos.
Además, incorporar un sistema de comunicación por RF con otra placa de desarrollo que se enlace al vehículo y ejerza las funciones manuales o autónomas.
- Detener el sistema robótico en control automático o control manual cada que un objeto se encuentre enfrente de él.
- Crear un sistema robótico que sea capaz de conducirse de forma autónoma por sensores ópticos, que detecte semáforos y cualquier objeto que se encuentre enfrente de él para que se detenga o avance según sea el caso usando sensor ultrasónico para medir distancia.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Planteamiento del problema.

En la actualidad se encuentran disponibles comercialmente varios coches que se pueden conducir de forma autónoma o en su defecto tienen asistencias que ayudan al conductor para manejar de una forma más segura, el problema es que los coches que equipan esta tecnología en México suelen ser coches de alta gama y en la mayoría de los casos se vende como un opcional, por otro lado actualmente todavía es posible comprar coches nuevos en México que no cuenten con ningún tipo de seguridad pasiva o activa, en base a esto este proyecto surge como la idea de una primera instancia de probar un prototipo a escala de un coche autónomo con algunas asistencias viales con una posible proyección a una segunda etapa de adaptar estos sistemas a coches que se encuentren actualmente en circulación y que no cuenten con dichos apoyos.

Justificación

En la actualidad, ha estado surgiendo mucho desarrollo tecnológico para crear sistemas inteligentes más eficientes y autómatas que libren al ser humano de tareas que no necesariamente se deban hacer por él, sino que puede dejar que las maquinas hagan ese trabajo de forma más precisa.

Tecnologías como Artificial Visión, Neural Networks o Machine Learning surgieron de trabajos de investigación previos, de personas que estudiaron posgrados en ciencias para especializarse en algún área de la electrónica o la computación y que hoy en día se les atribuye a ellos estos resultados.

Empresas como Google, Oracle, Tesla Motors, Facebook y otros más han implementado sistemas inteligentes en productos que han hecho públicos en eventos oficiales para demostrar cuánto pueden facilitar esos sistemas inteligentes algunas rutinas de la vida diaria de la gente.

De este punto parte este proyecto, en la implementación e integración de conocimientos teórico-prácticos para crear un sistema de conducción autónoma y conducción controlada con una interfaz de computadora, con miras a crear un producto que pueda tener gran

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

utilidad en el mundo real e hacer crecer el interés por la investigación de la inteligencia artificial.

Contribución de los integrantes.

- Saúl Eduardo Rodríguez López:
 - Diseño y programación de la interfaz en Qt.
 - Diseño 3D del semáforo y entrenamiento de imagen.
 - Diseño y caracterización del control PID del vehículo.
 - Diseño del PCB de transmisión de datos.
- Juan Carlos García López:
 - Caracterización de torque y cálculo de consumo de energía.
 - Diseño y construcción del chasis del vehículo.
 - Debug y optimización en la programación en la interfaz en Qt (detección de objetos y filtro de colores).
 - Diseño PCB del módulo de sensores IR para sigue líneas.
 - Diseño PCB de recepción de datos, control de moto-reductores, recepción de señales del módulo del módulo de sensores IR para sigue líneas y señales del sensor ultrasónico HC-SR04.
 - Programación de los microcontroladores.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Justificación de los cuatro módulos.

Módulo I Electrónica Digital: Para el vehículo se utilizaron tarjetas de desarrollo de la marca “Arduino” (UNO Y MEGA) por tener una buena relación costo beneficio (gran cantidad de utilidades a un precio contenido), las cuales se programaron en lenguaje C para realizar varias funciones que posteriormente se irán exponiendo.

La interfaz de usuario se realizó en el programa Qt se caracteriza por ser multiplataforma, las funciones disponibles para observación e interacción con el usuario son:

- Poder seleccionar entre el modo de conducción (manual o autónomo);
- Controlar el coche de modo manual

Las funciones con las que cuenta el usuario, pero que son realizadas por el auto en modo autónomo, son:

- Detección de semáforos.
- Manipular el comportamiento del vehículo (en estado de conducción autónoma) dependiendo de las señales detectadas y el estado de las mismas.

Se programó completamente en un lenguaje de programación orientada a objetos de bajo lenguaje C++, para el procesamiento de imágenes se utilizó la librería disponible de OpenCV (versión 3.2 para C++).

La selección de interfaces lenguajes y librerías de programación previamente descritos se deben a disponibilidad y accesibilidad de las mismas para el uso de ciertas funciones y uso de módulos externos que se describirán posterior mente.

Módulo II Electrónica Analógica: Para el vehículo se usaron sensores ópticos IR que a su vez son tratados por medio de amplificadores operacionales filtrando las señales y así enviarlas al Arduino, que se encargará de conducir autónomamente el carro. La siguiente figura muestra la secuencia que cumple esta etapa en el proyecto.

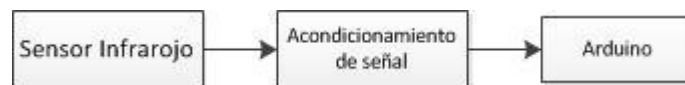


Ilustración 1: Diagrama a bloques de etapa analógica

Módulo III Comunicaciones: Para el vehículo se utilizaron dos módulos transceptores de radiofrecuencia matrícula NRF24L01 los cuales se les realizara algunas modificaciones

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

parte de la capa de enlace de datos (Modelo OSI) con el fin de poder emplear un modo de comunicación half duplex entre el vehículo y la interfaz esta modificación permitirá también modificar la capa de sección del modelo OSI esto con la finalidad agregar un sistema de seguridad cibernética en la cual el usuario tendrá que escribir una contraseña única para cada vehículo y este no obedezca las señales enviadas por el sistema si no se ha ingresado dicha contraseña o se ingresó de forma incorrecta todo esto para agregar un nivel mayor de seguridad en el sistema y no se pueda acceder al mismo con tanta facilidad a su vez en caso de que el usuario ingrese una contraseña correcta el vehículo responda confirmando que la conexión se realizó de forma exitosa, también se modificará la capa de red del modelo OSI ya que se empleara una encriptación en la cual se utilizara una generación de caracteres aleatorios a partir de una semilla. los módulos previamente descritos trabajan en banda libre ISM (Industrial, Scientific, and Medical) de 2,4GHz y modulación digital GFSK para comunicar al vehículo con la otra placa de desarrollo Arduino conectada a la computadora que corre la interfaz de Qt logrando enlazar de esta manera el vehículo autónomo y la interfaz.

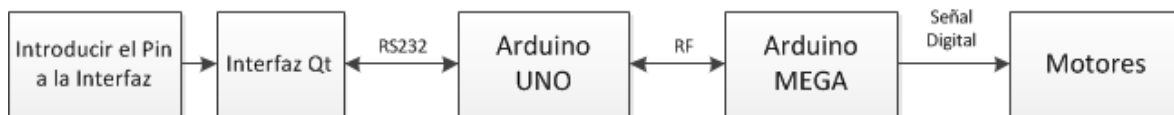


Ilustración 2: Diagrama a bloques de etapa de autenticación de usuario.

Estos módulos manejan el protocolo de comunicación SPI, que se emplea para la transferencia de información síncrona, que usa las señales SCK, MISO, MOSI, CE y SCN, son cinco líneas de puertos donde corre información del enlace establecido entre las placas de desarrollo Arduino. Por ultimo también se empleó comunicación WI-FI entre la computadora que corre la interfaz y un teléfono celular los cuales a través de una comunicación AD-HOC el celular e ingresando la dirección IP del celular en la interfaz se estuvo enviando el video del celular a la interfaz para su despliegue hacia el usuario y procesamiento de la misma en caso de que se encuentre en modo autónomo.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

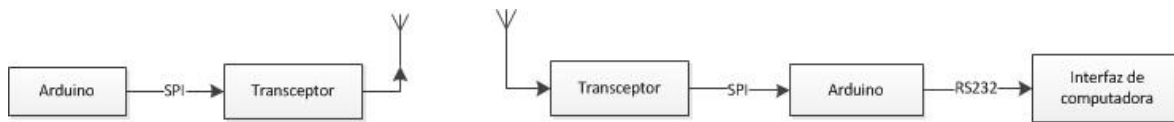


Ilustración 3: Diagrama a bloques de etapa de comunicaciones

Módulo IV Instrumentación y Control: Para el vehículo se utilizó un módulo controlador de motores que consta de un controlador L298D que controla los moto-reductores conforme a las señales que reciba e interprete el algoritmo en la placa de desarrollo principal Arduino. El vehículo autónomo tiene un método de control PID para el seguimiento de línea, constando de cinco sensores IR y a cada señal de los sensores se le asigna un valor que el algoritmo interpretará como la medida en se está extrapolando las entradas de los sensores y por ende ejecutar una desviación contraria.

El vehículo en función autónoma hace uso de la visión artificial a través de una cámara de un teléfono celular y que por medio de una aplicación proporciona una dirección IP de la cámara conectada a la misma red LAN que la computadora, dirección IP que se introducirá a la interfaz de Qt, y así las imágenes que se visualicen en la cámara el algoritmo aplicará distintos métodos de procesamiento para separar y encontrar objetos con características o patrones de interés para ejecutar diversas funciones.

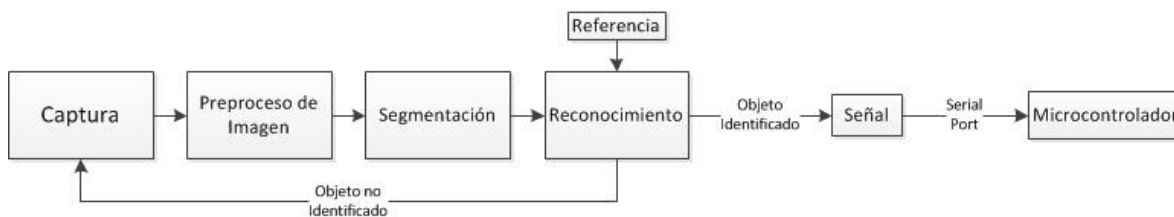


Ilustración 4: Diagrama a bloques de etapa de visión artificial

Además, se emplea un sensor ultrasónico para detectar los objetos que se encuentran de frente y envíe señales a la placa principal de desarrollo Arduino y así realizará una conversión de dichas señales en distancia, para que cuando se encuentre algún objeto al cual se enfrente y rebase el umbral predefinido en el software, el carro deberá detenerse.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Estado del arte

Automóviles Tesla: Tesla Modelo S.



Ilustración 5: Automóvil Tesla Model S.

La marca de automóviles Tesla, en especial los autos Tesla Model S lanzados en junio de 2012, del propietario, y visionario, Elon Musk, fueron declarados en 2013 como el auto del año en Estados Unidos por Consumer Reports® debido a su tecnología de autos eléctricos.

Su reconocimiento fue por el desarrollo de todo un conjunto que incluye el motor, las baterías, la electrónica para transmitir la potencia y recibir las cargas de energía, una caja de cambios más ligeros, y el software que controla y coordina a todo el auto. Además de una plataforma modular que permite reubicar y reutilizar todos los componentes en diferentes carrocerías, por lo cual al final hay un ahorro significativo en costos y peso.

La coordinación y control del automóvil es la opción incorporada para que el conductor active el piloto automático al auto y lo lleve el mismo al destino deseado. El automóvil utiliza un GPS que le indica su posición global, de ahí le informa que en dirección de camino se encuentra y después que le indican al punto que debe llegar, el auto sigue un camino creado por el GPS tomando en cuenta una base de datos actualizada de las rutas en su ubicación.

Los Tesla, al igual que otros coches que incorporan la opción de conducir solos, incorporan una serie de sensores y cámaras que les permite, conducir sin la interacción de una persona.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

En concreto el sistema de Tesla tiene varias cámaras de baja resolución capaces de identificar prácticamente todo lo que se le ponga por delante.

Su sistema de reconocimiento recalca los objetos en movimiento, objetos en movimiento y en tu trayectoria, señales en las carreteras, sentido de la carretera, líneas de separación y, quizá una de las más importantes, flujos de movimientos.



Ilustración 6: Sistema de pilotaje automático de Tesla.

También interpreta los objetos de señalización en la carretera, porque esta combinación de datos le hará interpretar qué pasará. ¿El coche que va delante girará o se incorporará a otro carril al estar cerrado? En este proyecto futurista, que busca una movilidad limpia y que hasta ahora muestra sus frutos en los segmentos Premium, atrajo por su viabilidad a otras grandes marcas enfocadas en el mismo segmento principalmente.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Autos Mercedes-Benz: Truck FT-2025



Ilustración 7: Camión de carga Mercedes-Benz Future Truck 2025.

En 2014 la marca alemana de automóviles Mercedes-Benz presentó el *Mercedes-Benz Future Truck 2025*, lo que representa su primer auto de control autónomo y manual para fines de transporte de carga en carreteras.

El modo de conducción autónoma, basado en radares, sensores y cámaras, cuenta con el sistema *HighWay Pilot* que se encarga de conducir al automóvil en autovías y autopistas.

Tiene un radar instalado en la parte baja del frontal del camión es capaz de analizar la carretera hasta 250 metros por delante del automóvil.

Tiene además una cámara estereoscópica, la cual detecta en qué tipo de carretera está transitando el automóvil (si es de un carril o dos), identifica objetos móviles y fijos, peatones etc. En cualquier caso, el sistema cuenta con mapas digitales para saber en todo momento donde circula.

Este Highway Pilot trabajaría en comunicación con otros vehículos mediante los sistemas V2V y V2I (WLAN), ofreciendo información de la posición del vehículo, dimensiones, dirección, velocidad y maniobras que realicen a otros vehículos en un radio de medio kilómetro, así como a los centros de control de tráfico. En un escenario ideal, las comunicaciones entre vehículos informarían a los conductores y al propio vehículo del estado del tráfico y de la carretera.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

La inclusión de un sistema computacional en este automóvil no está destinado a substituir conductores humanos por camiones autónomos, sino más bien a dar un enorme paso hacia el aumento de la seguridad vial y a la vez de la capacidad de vías principales para admitir mayores flujos de tráfico que los actuales.

El diseño interior del FT-2025 tuvo la finalidad de ser acogedor y agradable para el operador, por lo que cuenta con materiales nobles como madera (de acabado oscuro) o cuero, y un diseño de la instrumentación que destaca por su armonía.

El control de las funciones para el tipo de control del automóvil y del ambiente en la cabina del operador es controlado a través de una Tablet táctil.



Ilustración 8: Compartimiento interior para el usuario que controla el FT-2025.

Este camión es precisamente el que estuvo probándose este verano, aunque camuflado, en situaciones de tráfico real y a velocidades de hasta 80 km/h en un tramo de la autovía A14 a su paso por Magdeburg, Alemania. Así pues, no es únicamente una idea para el futuro sino un sistema que funciona ya hoy día, aunque aún en fase de pruebas.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Capítulo 1: Robótica y automovilismo.

Accidentes automovilísticos

Desde el principio de la historia del automóvil ésta se ha visto envuelta en una gran cantidad de accidentes a pesar de la gran cantidad de sistemas de seguridad pasiva y activa que se han ido implementado durante el transcurso en de la misma, las muestras originadas por estos se encuentran dentro de las principales causas de muerte a nivel mundial y es la principal causa de muerte en el mundo en las personas de entre 15 y 29 años de edad con un aproximado de 325,000 muertes (en el año 2012).

El número de muertes por accidentes automovilísticos a nivel mundial fue aproximadamente de 1.25 millones en el 2012 y entre 20 y 50 millones de personas sufrieron traumatismos no mortales en el mismo periodo, todo esto tiene un costo monetario por país de aproximadamente el 3% de su PIB a pesar de un aumento en la población del 4% y del parque vehicular del 16% en el 2013 con respecto del año pasado y la misma cantidad de muertes en el 2013 con respecto del 2012 indica que los sistemas de seguridad pasivos y activos instalados en los vehículos si están fungiendo una función importante en la disminución de los accidentes viales en el mundo.

El 50% de los decesos por accidentes automovilísticos en el continente americano las victimas mortales son peatones (22%) motociclistas (20%) ciclistas (3%) el resto de los decesos los ocupan los ocupantes de los vehículos Conducir bajos los efectos del bebidas embriagantes u drogas aumenta de forma drástica la probabilidad de tener un accidente y más si se trata de un conductor novato a pesar de los intentos de las legislaciones vigentes para evitar esta mala práctica esta nunca podrá ser erradicada al 100%, otro de los principales factores que generan accidentes viales son las distracciones por parte del conductor por ir haciendo otras actividades diferentes a ir manejando como ir atendiendo el teléfono principalmente por estos motivos se vuelve necesario que la movilidad dependa cada día menos de los conductores ya que estos no siempre manejan de forma óptima por los factores previamente mencionados mientras que es necesario que esta se vuelva más dependiente de los sistemas computacionales que no ven afectado su funcionamiento por estos hábitos Otro de los factores que generan accidentes es la falta de respeto por parte de

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

los automovilistas a las normas viales esto también puede erradicarse de forma drástica reemplazando al conductor por un ordenador.

La continua evolución de los sistemas de seguridad y sistemas de manejo autónomo ADS (por sus siglas en inglés “Autonomous driving systems”) originaran que algún día a través de una mezcla de hardware (sensores varios) y software (sistemas embebidos que en base a las lecturas de los sensores) los vehículos se puedan manejar por si solos cuando el usuario no quiera o no se encuentre en condiciones para hacerlo por él mismo. Actualmente estos sistemas ya se encuentran en vehículos comerciales y más que reemplazar al conductor le sirven a éste como una asistencia para evitar accidentes, detectar riesgos obstáculos o amenazas en el camino y mejorar la seguridad de los vehículos en general.

La seguridad en los vehículos ha aumentado considerablemente y se ha aplicado a vehículos comerciales considerablemente en los últimos años en comparación con años anteriores En el siglo pasado los principales sistemas de seguridad inventados fueron:

- Cinturones de seguridad de tres puntos
- Control de crucero
- Frenos antibloqueo ABS (por sus siglas en inglés “Antilock Brakes System”)

En el transcurso de este siglo los principales sistemas de seguridad que se han inventado y se pueden encontrar actualmente en vehículos comerciales son:

- Control de estabilidad
- Detección de punto ciego
- Advertencia de colisión frontal
- Advertencia de abandono de carril
- Cámara de reversa
- Frenado automático de emergencia
- Frenado automático de emergencia por peatones
- Frenado automático de emergencia en reversa
- Alerta de cruce de tráfico
- Asistencia de centrado de carril
- Control adaptativo de crucero

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

- Asistente de manejo en tráfico
- Auto estacionamiento

La SAE (por sus siglas en inglés “Society of Automotive”) define 6 niveles de automatización vehicular

1. Ningún dispositivo de conducción autónoma, el chofer hace todo en la conducción.
2. El vehículo es controlado por el humano, pero dispositivos de manejo autónomo son incluidos para asistencia del conductor, estos dispositivos no pueden trabajar en conjunto en ningún momento.
3. El vehículo puede acelerar, frenar y girar de forma autónoma pero el conductor debe estar pendiente de la conducción y estar monitoreando el camino todo el tiempo, el conductor debe de realizar el resto de las actividades de manejo
4. En ciertas circunstancias el conductor es necesario, pero no se requiere que preste atención a la conducción y que este esté monitoreando el camino todo el tiempo, el conductor puede ser requerido para tomar el control del vehículo bajo previo aviso del sistema
5. Los sistemas autónomos hacen todo el proceso de conducción y solo bajo circunstancias muy específicas se puede requerir la asistencia del conductor para que este no necesariamente tome el control del vehículo
6. Los sistemas autónomos hacen todo el proceso de conducción no se requiere de un conductor para nada por lo cual todos los ocupantes del vehículo se vuelvan pasajeros

Cabe mencionar que un coche de grado de automatización se puede pasar a otro grado menor de automatización con la desactivación de los sistemas a petición del usuario.

Dentro de los beneficios que se encuentran en automatizar la conducción son:

- Seguridad: el 94% de los accidentes se causan por el error humano quitar este error de las estadísticas reduciría drásticamente los accidentes viales
- Económicos: solo en EUA un estudio realizado en 2010 por la administración nacional de seguridad del tráfico en las carreteras NHTSA (por sus siglas en inglés

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

“National Highway Traffic Security Administration”) mostro que se gastan aproximadamente al año.

- 242 billones de dólares en costos de reparación
 - 57.6 billones de dólares en productividad humana
 - 594 billones de dólares en gastos funerarios y gastos médicos de las heridas causadas en accidentes viales
- Tiempo y ecología: solo en estado unidos se desperdiciaron en 2014 6.9 billones de horas hombre al año en embotellamientos los coches autónomos pueden mejorar la fluidez del tráfico sincronizándose y comunicándose con otros vehículos, en cuestiones ecológicas al reducir los embotellamientos ahorra combustible ya que el momento los momentos más ineficientes de los vehículos son en primera instancia cuando el motor esta encendido y el vehículo se encuentra detenido y en segundo lugar cuando se arranca del alto total

Dentro de los sistemas de seguridad que se mencionaron anteriormente los que se emplearan por su potencial son:

- **Frenada automática de emergencia.**

La frenada automática de emergencia AEB (por sus siglas en inglés “Automatic Emergency Brake”) es un sistema que detecta e impide un posible choque con un vehículo que se encuentre en la parte posterior, en primera instancia puede avisar al conductor que existe este riesgo y como última instancia en caso de que el conductor haya hecho caso omiso a estas advertencia el sistema frenara el vehículo para evitar un choque por alcance, en caso de que el conductor haga caso a las alertas y frene pero no lo realice con la intensidad suficiente el sistema puede ajustar e incrementar la intensidad con la que se aplica el sistema de frenos con los fines previamente mencionados.

Este sistema ha estado disponible comercialmente en vehículos de países desarrollados desde aproximadamente en 2006 y aunque en ningún país actualmente es obligatorio este sistema en los vehículos en los países desarrollados en la mayoría de los casos se ofrece como equipo de fábrica o como un opcional, no hay una norma específica que rijan cómo deben de censar las proximidades con otros objetos que puedan representar un riesgo, los

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

fabricantes actualmente usan una combinación de diferentes sensores (ultrasónicos ópticos radares) para esta tarea por lo cual el precio y calidad del sistema se puede ver afectado por los sensores que se implementen.

- **Asistencia de mantenimiento en el carril.**

La asistencia de mantenimiento de carril LKS (por sus siglas en inglés “Lane Keeping Support”) Usando monitoreo de carril este sistema previene que el conductor gire de forma no intencional a otro carril es decir el sistema trata de corregir la trayectoria para mantener el coche en el carril ya sea de forma autónoma girando el volante, frenando, acelerando alguna, algunas o todas las llantas o con cualquier combinación de estas para evitar un accidente con un coche que venga de frente o valla paralelo al vehículo.

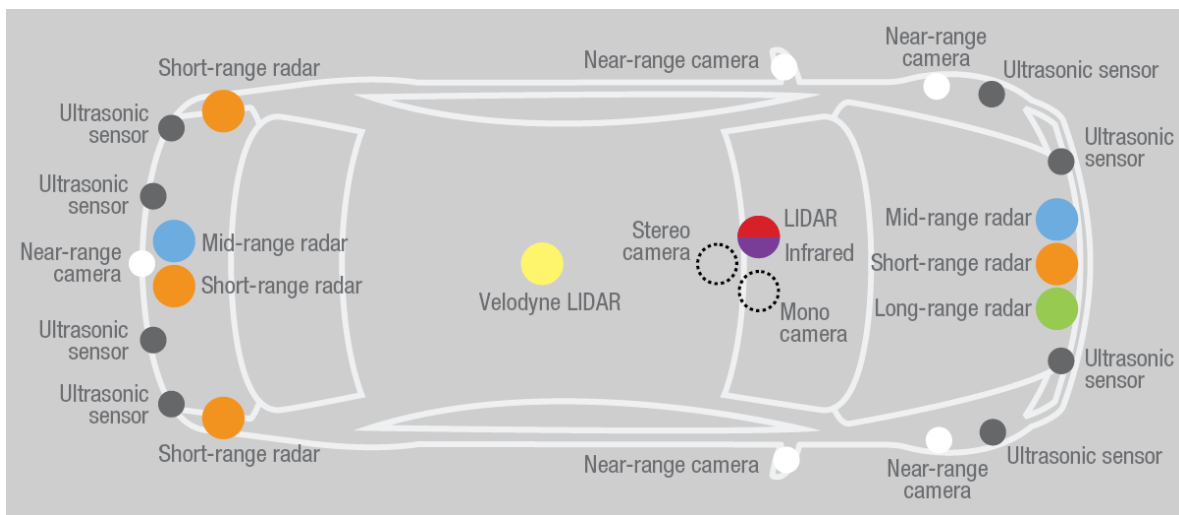


Ilustración 9: Sensores y dispositivos dentro de un auto autónomo.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Capítulo 2: Visión Artificial.

La visión artificial tiene como finalidad la extracción de información del mundo físico a partir de imágenes, utilizando para ello un computador.

Un sistema de Visión Artificial actúa sobre una representación de una realidad que le proporciona información sobre brillo, colores, formas, entre otros. Estas representaciones suelen estar en forma de imágenes estáticas, escenas, dinámicas o tridimensionales.

Etapas de un sistema de visión artificial

El ser humano captura la luz a través de los ojos, y esta información circula a través del nervio óptico hasta el cerebro donde se procesa.

Después, el cerebro interpreta la escena y por último actúa en consecuencia. La visión artificial, en un intento de reproducir este comportamiento, define tradicionalmente cuatro fases principales:

1. La primera fase, que es puramente sensorial, consiste en la captura o adquisición de las imágenes digitales mediante algún tipo de sensor.
2. La segunda etapa consiste en el tratamiento digital de las imágenes, con objeto de facilitar las etapas posteriores. En esta etapa de procesamiento previo es donde, mediante filtros y transformaciones geométricas, se eliminan partes indeseables de la imagen o se realzan partes interesantes de la misma.
3. La siguiente fase se conoce como segmentación, y consiste en aislar los elementos que interesan de una escena para comprenderla.
4. Por último, se llega a la etapa de reconocimiento o clasificación. En ella se pretende distinguir los objetos segmentados, gracias al análisis de ciertas características que se establecen previamente para diferenciarlos.

Estas cuatro fases no se siguen siempre de manera secuencial, sino que en ocasiones deben realimentarse hacia atrás o de forma paralela para aumentar la velocidad del sistema. Así, es normal volver a la etapa de segmentación si falla la etapa de reconocimiento, o a la de reproceso, o incluso a la de captura, cuando falla alguna de las siguientes.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

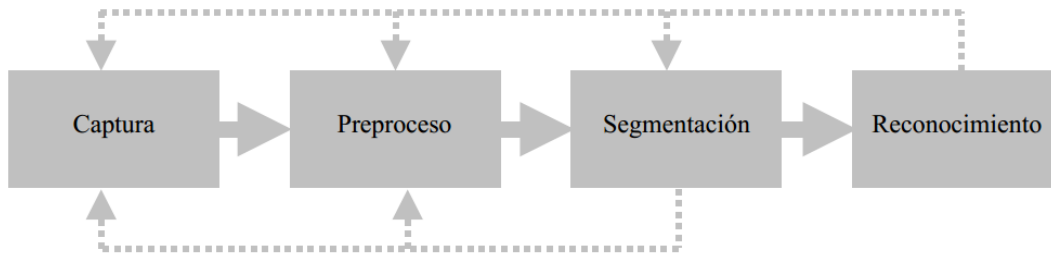


Ilustración 10: Diagrama de bloques de las etapas típicas en un sistema de visión artificial [4].

Para poder realizar el reconocimiento automático de los objetos se realiza una transformación que convierte un objeto del universo de trabajo en un vector X cuyas N componentes se llaman características discriminantes o rasgos.

El valor del vector de características para un objeto concreto se conoce como *patrón*. Es decir, un patrón es una instancia particular de un vector de características determinado.

Una vez determinadas las características discriminantes para un problema concreto, la clasificación de un objeto comienza por la obtención de su patrón.

El siguiente paso consiste en determinar la proximidad o grado de pertenencia de este patrón a cada una de las clases existentes, asignando el objeto a aquellas clases con las que el grado de semejanza sea mayor.

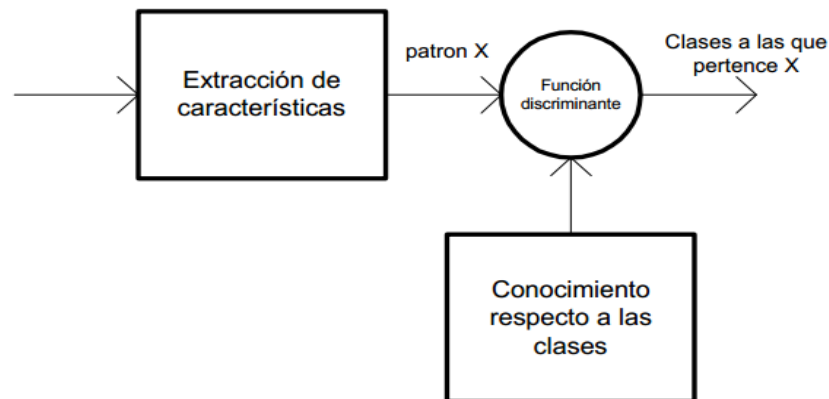


Ilustración 11: Esquema general de funcionamiento de un clasificador.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Características *Haar*

En el reconocimiento de objetos, las característica Haar son muy conocidas para la discriminación de objetos, una característica Haar va a estar definida por parámetros como el tamaño, la orientación o la distribución de las regiones positivas y negativas, pudiéndose construir infinidad de tipos. A su vez, estos parámetros van a depender de los rasgos del objeto a detectar, y más en concreto de la distribución de intensidades de los píxeles que componen dicho rasgo. Así pues, el objetivo a la hora de construir una característica Haar es buscar que su estructura se asemeje a la del rasgo a detectar. Según esto, se pueden encontrar características Haar para la detección de bordes, líneas, contornos, etc.

Después de este apartado, se trató las técnicas modernas utilizadas para identificar las características de los objetos de estudio del proyecto, los semáforos.

Más en concreto, se explicarán dos de las técnicas implementadas por las librerías de OpenCV para la detección de objetos, como son las características Haar.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Capítulo 3: Metodología del diseño: Hardware

Fundamentos teóricos del proyecto

Como introducción al control automático del vehículo se expone a continuación ciertos conceptos teóricos de lo que es un vehículo sigue-líneas, control PID y algoritmos de control empotrados.

Construcción del vehículo.

- **Diseño del chasis**

Actualmente en el mercado existen muchos modelos y diseños de bases para realizar vehículos con características similares a las que se buscan con este proyecto pero estas están elaboradas con materiales costosos y el diseño de la misma no satisfacía del todo las necesidades que se tienen por lo cual se decidió que lo más viable económica y ergonómicamente hablando era diseñar y elaborar una base propia.

Para el diseño de la base del vehículo autónomo tomamos como referencia las especificaciones mismas que tiene el vehículo y usando como punto de partida las bases que se encuentran comercialmente disponibles, especificaciones propias del proyecto y limitantes de diseño (el material con el que se va a trabajar y las técnicas para trabajar el mismo). Se procedió a desarrollar una plataforma de fabricación propia.

Para la elaboración del chasis se decidió usar madera (MDF 3mm) por las ventajas que el mismo material nos ofrece y las cuales se mencionan a continuación:

- Costo: Más barato que acero o acrílico
- Facilidad de conseguir el material en comparación con acero o acrílico
- Maleabilidad: Material maleable en comparación con acrílico
- Resistencia (resistencia mecánica): Soportara las cargas mecánicas que se tengan durante los procesos de pruebas
- Peso: Material liviano en comparación al acero.

El diseño del chasis consta de tres pisos que proporcionan nivelación de los componentes donde habrían de posicionarse en el vehículo.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

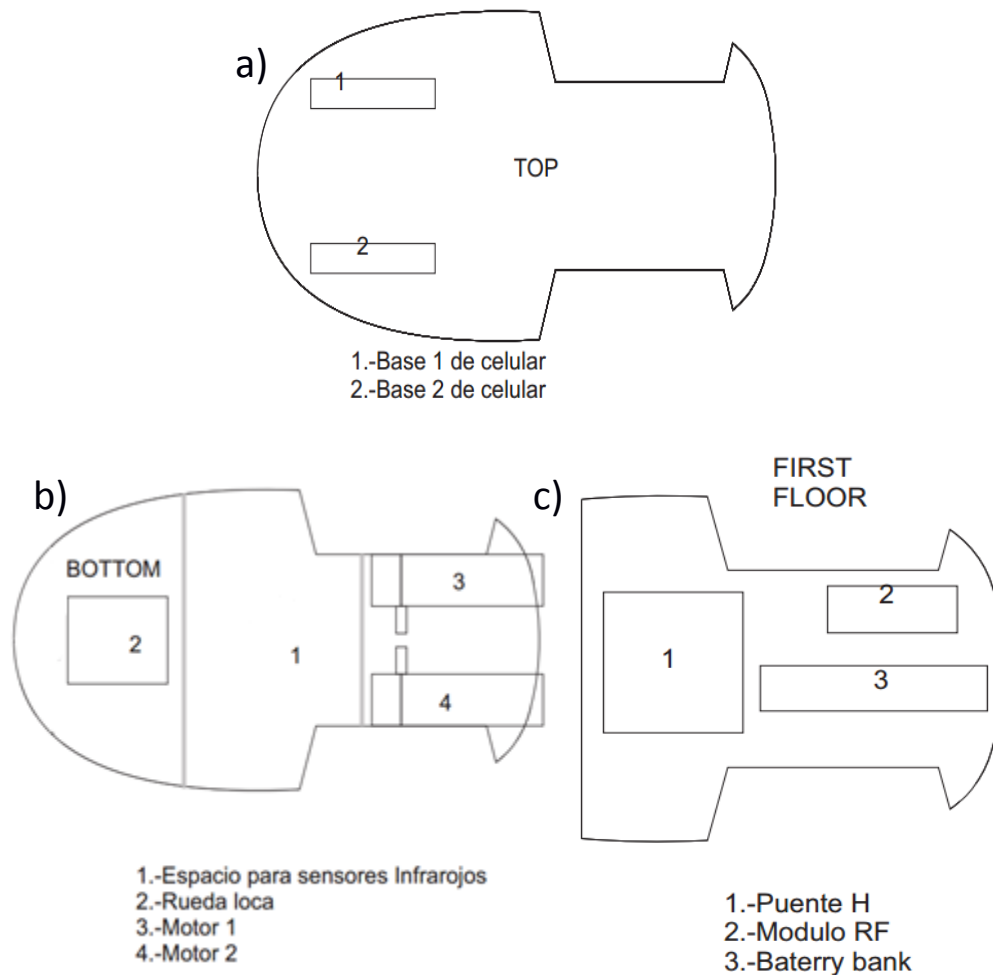


Ilustración 12: a) Base top. b) Primer piso. c) Base principal.

- Sensores para la detección y el seguimiento de línea.**

El vehículo se desplaza por un camino según los detectores encargados para eso vayan encontrando ciertos patrones en el piso, los patrones en este caso son guías de cintas negras que trazan trayectorias para que el vehículo realice el recorrido deseado.

Los detectores en este caso son sensores ópticos (también llamados sensores infrarrojos reflectivos o sensores IR), conformados por un fotodiodo y un fototransistor.

La configuración recomendada para crear un vehículo seguidor usando sensores infrarrojos reflectivos en un arreglo de fotodiodos y fototransistores separados a una misma distancia unos de otros dentro de una misma placa PCB, donde se incluya las resistencias, acopladores y dispositivos acondicionadores de señal para cada sensor infrarrojo reflectivo.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

La cantidad de sensores usados y posición donde se colocaron los mismos influyeron de forma directa en el control de los motores y la cuantificación de la desviación del vehículo al tratar de seguir la línea marcada.

En el caso de usar dos sensores infrarrojos reflectivos solo se puede conmutar el motor derecho o el izquierdo para corregir la desviación, sin embargo esto implica un constante cambio de motor que seguirá así hasta que el vehículo deje de desviarse, pero esto último casi nunca ocurre además de que aumenta de forma drástica el consumo energético así como que degrada la vida útil de motor.

Para aumentar la fidelidad y exactitud de la desviación así como mejorar la autonomía y vida útil de los motores se aumenta el número de sensores al vehículo, debido a que si mayor es el número de sensores mayor información de la posición de la línea y por lo tanto un control más preciso sobre el movimiento del vehículo.

El vehículo usó un control PID y el sistema de valores empotrados para tabular la desviación y más fácil cuantificar el error. Debido a limitaciones de espacio y cuestiones de resolución se usaron solo cinco sensores que tiene un sensor en el centro y podrá brindarle al vehículo la información de su posición.

En cuanto a la posición que deba tener el arreglo de los sensores infrarrojos reflectivos existen distintas alternativas que van según las necesidades o propósitos del vehículo, las más conocidas son lineal o en U/V.

La primera es usada para vehículos velocistas para detectar antes las curvas y la segunda se suele utilizar en vehículos rastreadores para detectar mejor la curva.

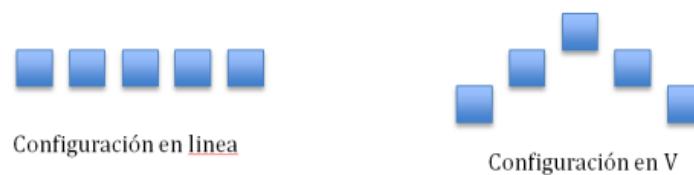


Ilustración 13: Tipo de configuraciones de los arreglos de sensores IR

Para esta aplicación es más útil que detecte la curva de una forma certera por lo cual se decide emplear la configuración en U/V.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Las señales de cada sensor infrarrojo reflectivo pasan a una etapa de tratamiento antes de entrar al microcontrolador para convertirlas a niveles entendibles de tensión que el algoritmo interprete de forma sencilla.

Entre los más comunes son circuitos integrados, que toman las señales de distintas amplitudes provenientes del sensor infrarrojo reflectivo y las convierte a únicamente dos señales a su salida. La ventaja de los circuitos integrados es la estabilidad ante las distintas situaciones, la desventaja de su uso es el espacio en la placa de circuitos que represente la etapa de tratamiento de señal.

En el caso del uso de dispositivos pasivos como resistencias, las cuales se encargan de dar a la salida señales manejables por un microcontrolador, como ventaja se puede enunciar el poco espacio que ocupa en la placa de circuitos que represente la etapa de tratamiento de señal teniendo como desventaja poca sensibilidad.

La desventaja es la poca estabilidad de valores de salida ante distintas situaciones y que no puede actuar de la misma manera en las mismas situaciones.

Por conveniencia de estabilidad a la salida del tratamiento se usan los circuitos integrados en este proyecto.

La salida que se espera usando circuitos integrados es una salida digital igual a 0 volts y 5 volts equivalentes a 0 y 1 respectivamente.

- **Diseño del PCB de los sensores**

El fin de crear una placa de circuitos PCB surgió por la necesidad de economizar fabricando una placa propia en vez de comprar alguna placa de sensores sigue-líneas que tenga seis canales o más, si bien la aplicación requiere cinco canales.

El crear una placa de circuitos facilita la adaptación e integración de la misma al chasis que se creó para el carro.

La plataforma elegida para el diseño de la placa PCB fue EAGLE CAD, debido a las características que este software ofrece como optimización y descarga de librerías entre otros. El esquemático de la placa de sensores se muestra a continuación.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

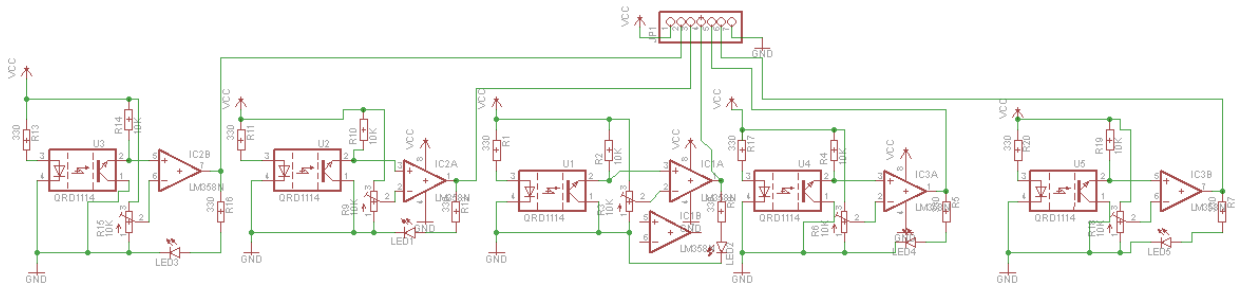


Ilustración 14: Diseño esquemático de los componentes en EAGLE CAD.

Los sensores se colocaron en la parte frontal del vehículo y los motores que brindan el movimiento al vehículo en la parte trasera, para que se obtenga primero la información de la posición y el algoritmo dentro del microcontrolador decida la manera si hay alguna desviación que corregir conmutando los motores y la velocidad con la que estos avanzan.

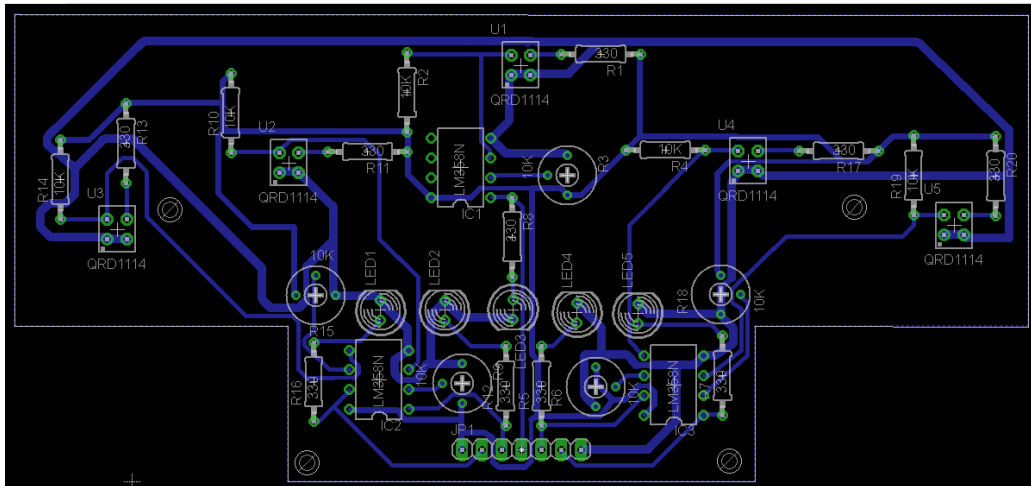


Ilustración 15: Capa PCB sensores capa bottom.

- **Ubicación sensores IR en el vehículo.**

La posición de los sensores IR del vehículo tiene un lugar en específico para que el cambio de posición y ajuste sea el mínimo posible y este que no provoque oscilaciones en alguna parte del vehículo.

La posición ideal debe ser ligeramente por delante de los motores-reductores a todo el vehículo, con el propósito de que los motores reaccionen de manera más pronta a lo que vienen en el camino. Sin embargo, si se ubican muy por delante de los motores, cada ajuste de motor hará un cambio drástico en la posición de todo el vehículo, provocando

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

oscilaciones de leves a abruptas es la parte trasera del vehículo que se encarga de poner todo el vehículo en el centro de la línea negra.

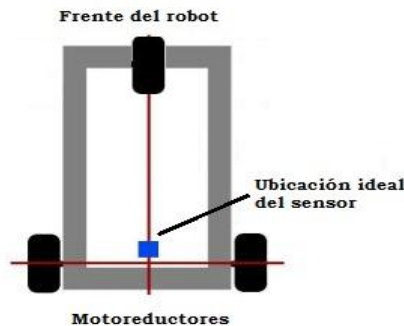


Ilustración 16: Ubicación ideal del módulo de sensores.

La propuesta consta de lo siguiente, en este proyecto se posicionará los sensores IR entre la rueda loca y los moto-reductores. El objetivo de esto es lograr que el vehículo tenga su centro de geométrico sobre la línea negra ya no la parte delantera y así corregir los movimientos oscilatorios que se hacen en la parte trasera del vehículo al tratar de poner la parte delantera en el centro de la línea. Además que le brinda protección ante impactos que pudieran presentarse en la parte delantera que dañen la placa de sensores y afecte el seguimiento de línea.

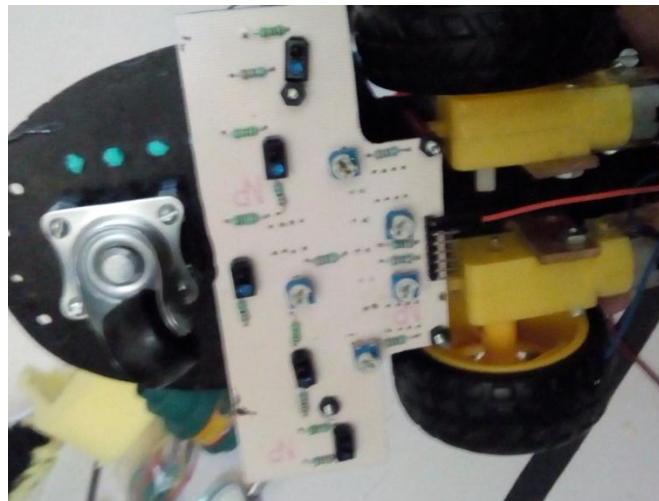


Ilustración 17: Sensores ópticos reflectivos posicionados.

También la altura es un factor que hay que considerar, el reflejo de luz IR un sensor es posible que no llegue a ser detectada si el trayecto llega a ser grande o pequeño de ida y

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

regreso. La altura del sensor QRD1114 según datasheet no debe ser mayor a 12.7mm y menor a 2mm para que sea todavía detectada la luz reflejada del sensor.

La nueva ubicación de la PCB representa una nueva alternativa a la ubicación donde debe colocarse comprado a donde común mente se colocaban en los vehículos velocistas sigue líneas, proporcionándole protección ante impactos que pudieran ocurrir en la parte delantera y evitando daños en el módulo sigue líneas

- **Elección del microcontrolador**

El vehículo recibe señales de sensores externos, establece un enlace de comunicación por radiofrecuencia y ejecuta un algoritmo establecido por un usuario, un microcontrolador es la mejor elección por las necesidades de este proyecto.

En el mercado se encuentran varias alternativas de microcontroladores muy conocidas como lo vendrían siendo por ejemplo, Los microcontroladores PIC de la empresa Microchip Technology o los microcontroladores Atmel.

El desarrollo de este proyecto se enfocará en los microcontroladores Atmel.

Arduino es una plataforma electrónica enfocada a la creación de prototipos mediante el uso de hardware y software dinámicos, además es una plataforma open source (libre), por lo cual se puede utilizar para hacer cualquier proyecto sin la necesidad de tener ninguna licencia y se puede modificar libremente a voluntad o necesidad del usuario.

Comparado a otros microcontroladores y que están integrados a sistemas embebidos, se usará esta placa de desarrollo por las siguientes ventajas.

- Gran cantidad de información en libros, revistas e internet.
- Entorno de desarrollo accesible.
- Uso del lenguaje C, que es un lenguaje muy flexible que permite programar con múltiples estilos.
- Permite funcionalidades añadidas importantes, como funciones matemáticas y de manejo de archivos, proporcionadas por librerías.
- Multiplataforma de trabajo como Windows, Linux, IOS.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Placa Arduino UNO

La placa Arduino UNO es de las placas más versátiles de la empresa y de las más usadas por la comunidad que desarrolla proyectos en electrónica.

Se basa en el microcontrolador ATmega 328p e incorpora un conector USB ya instalado, un regulador de tensión, un conversor puerto serie / USB y sistemas de protección.

La aplicación de esta placa en este proyecto es establecer un enlace de comunicación serial con la interfaz de computadora y ser el que reciba todas las órdenes que vienen de la interfaz para que las transmita a través de los transceptores de radiofrecuencia al vehículo.

Placa Arduino MEGA

La placa Arduino MEGA es otra de las placas más usadas por la comunidad de proyectos y más compradas a la empresa. Se basa en el microcontrolador ATmega2560 e incorpora un conector USB ya instalado, un regulador de tensión, un conversor puerto serie / USB, sistemas de protección.

La aplicación de esta placa en este proyecto es controlar la conducción autónoma del vehículo, recibir las señales de los sensores IR, establecer un enlace de comunicación con la otra placa Arduino conectada a la computadora y recibir todas las ordenes e instrucciones que vengan desde la computadora.

- **Diseño PCB de la SHIELD de transmisión de datos**

En Proteus 8, haciendo uso de una librería con las dimensiones de un Arduino UNO, se diseñó inicialmente una SHIELD para el Arduino MEGA2560 que sería montada en la placa de desarrollo que controla las funciones en el vehículo.

Contaba con dimensiones y conexiones compatibles para una placa Arduino Mega, y en esta placa de desarrollo se planeaba inicialmente montar el transceptor NRF24L01, el driver controlador de motores y algunas borneras dónde conectar los cables que van a los motores y proporcionan la alimentación.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

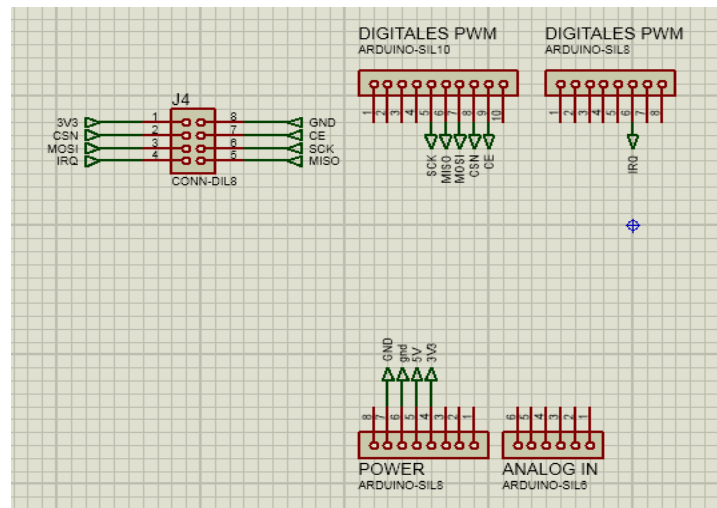
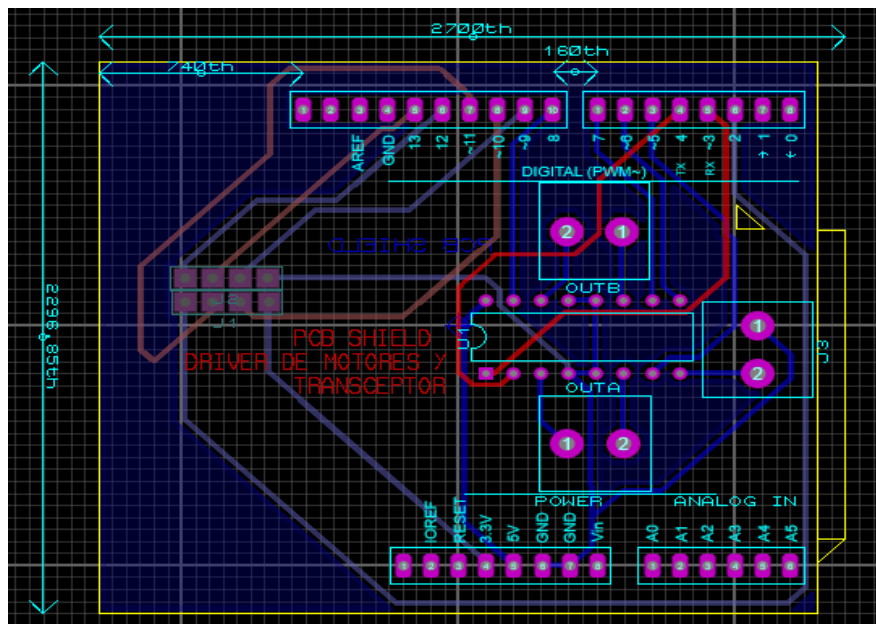


Ilustración 18: Diseño PCB de la SHIELD transmisión por RF.

Sin embargo, al revisar las especificaciones y el material con que ensamblaremos los sensores y demás dispositivos a esta PCB, se decidió que era mejor crear otra PCB especial para la placa de desarrollo Arduino Mega porque este diseño resultaba insuficiente y complicado de ensamblar con el cable plano y los puertos de la placa de desarrollo.



Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

transceptor de la PCB coinciden con los que se usarán en la placa Arduino UNO encargada de enviar los datos al vehículo y recibir una señal de confirmación del mismo.

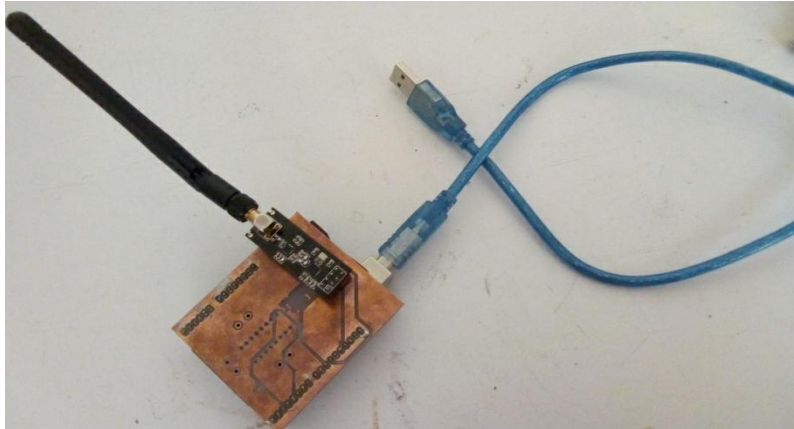


Ilustración 20: Montaje de la SHIELD Arduino UNO para transmisión de datos por RF.

- **Diseño PCB de la SHIELD de recepción de datos y control de motores.**

La SHIELD que se creó para esta aplicación debía cubrir las necesidades de la recepción de datos por RF, la recepción de señales del módulo de sensores IR, el control en la recepción de señales del sensor ultrasónico y control de giro de los motores así como enlazar la alimentación de la batería a los mismos.

En el software de EAGLE se encontró una librería con las dimensiones de una tarjeta Arduino MEGA, que incluía las pistas, pads, componentes y perforaciones en las capas Top y Bottom.

Ante esto se vio la necesidad de eliminar las pistas y componentes electrónicos y solo dejar las perforaciones y los pads que nos servirían para conectar los componentes que usamos a los puestos de la placa.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

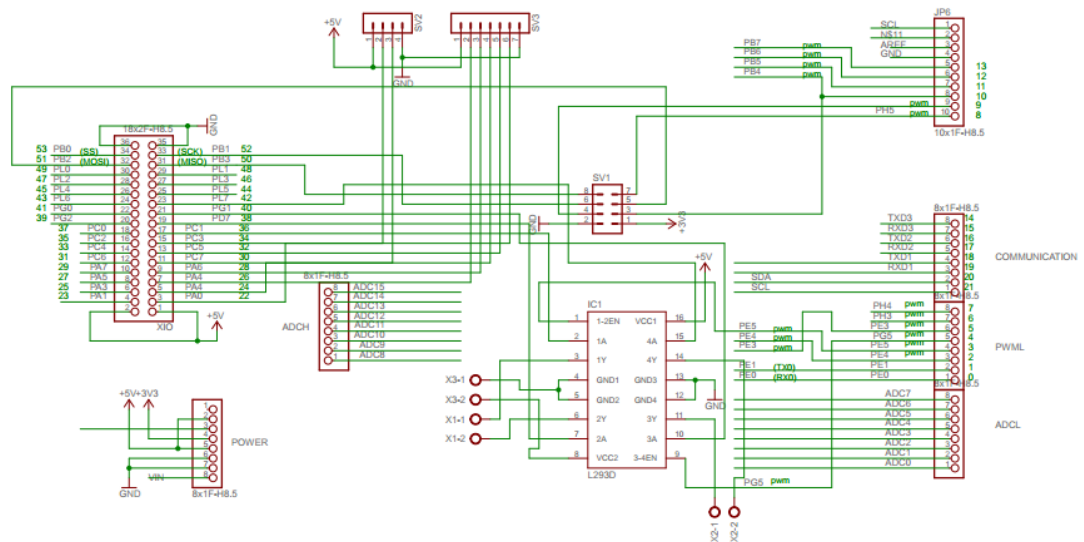


Ilustración 21: Diseño PCB de la SHIELD de Recepción de datos por RF, señales, control de motores y distancia.

Para este caso, el ruteo fue suficiente solo por una cara de la baquelita, cuestiones de tiempo y economía para fabricar la PCB así como soldar lo componentes en la SHIELD.

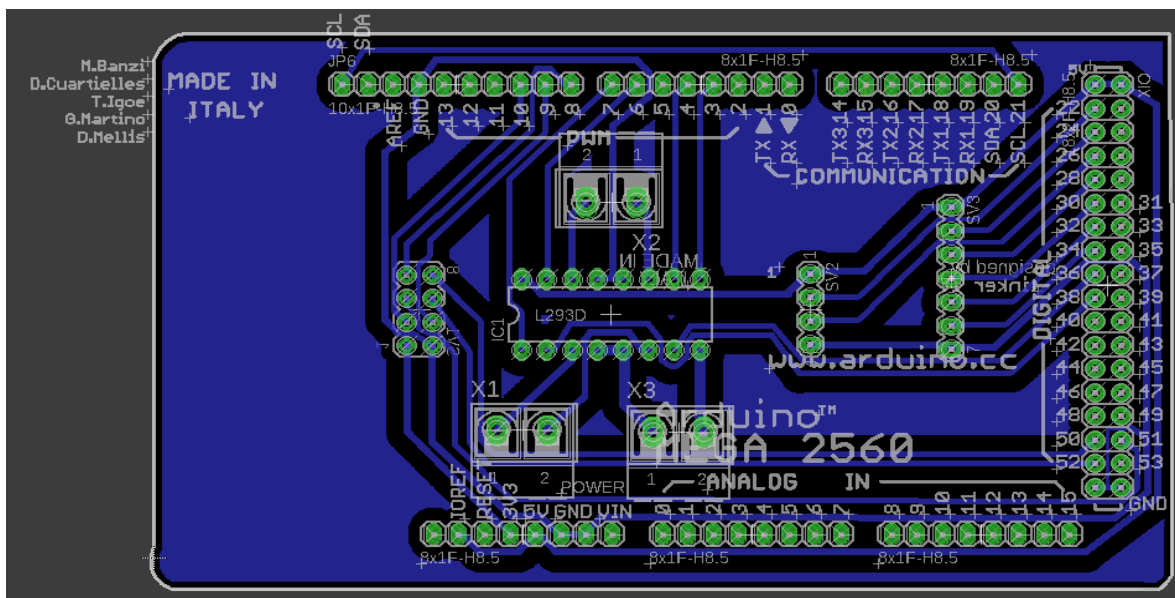


Ilustración 22: Ruteo PCB de la SHIELD de Recepción de datos por RF, señales, control de motores y distancia.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

La PCB montada a la placa de desarrollo se observa que tiene dos borneras que conectan a los motores y una bornera para la batería que suministra de energía a los motores.

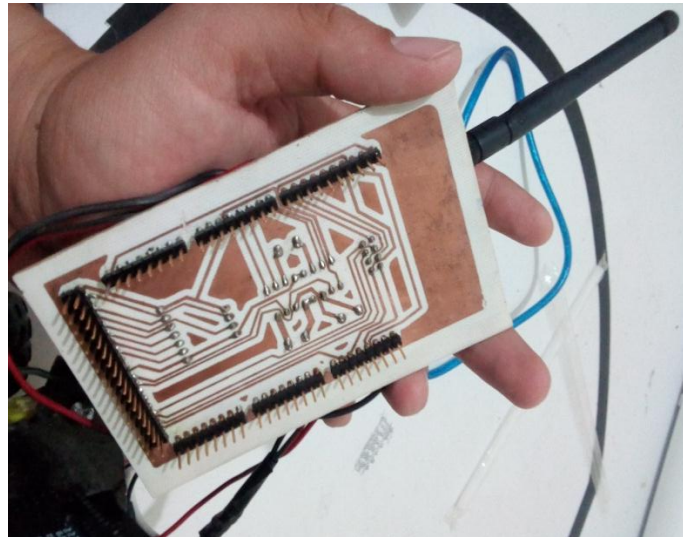


Ilustración 23: Montaje de la SHIELD Arduino MEGA de Recepción de datos por RF, señales, control de motores y distancia.

También esta sección, se define la necesidad de los actuadores que se encargaran de mover mecánicamente al vehículo, que se necesitan para brindar movimiento y el modo en que son usados en este proyecto.

La relación de giro del motor sin engranaje con el motor con engranaje viene dado como el número de vueltas que puede dar en moto-reductor por cada número de vueltas que el motor de corriente directa da (un ejemplo, 30:1, 10:1, 80:1).

Mientras mayor sea la relación del motor mayor es el torque, pero más lento es el giro del moto-reductor. Y mientras menor sea la relación del motor menor es el torque, pero es más rápido es el giro del el moto-reductor.

En este proyecto se usó el moto-reductor DG01D-A130 por tamaño, rendimiento, alimentación (y consumo de corriente) y su relación de vueltas de 40:1, no es muy veloz pero es más que suficiente para mover al vehículo con toda la carga que lleva encima.

- **Controlador de motores**

El sistema que toma las decisiones es el microcontrolador, el microcontrolador debe tener una interfaz de potencia que le permita tener un control eficiente de ambos motores y pueda

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

alimentarlos de la misma fuente que alimenta al microcontrolador. Debido a que el microcontrolador no puede suministrar directamente las señales (que son de máximo 40mA en cada puerto) de control por ser insuficientes en corriente (es requerido 250mA por motor) y podría dañarse al tratar de hacerlo.

La interfaz que se elaborara en este caso es el Circuito Integrado L293D.

El L293D es un controlador de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 0.6 A. por puerto Tiene la misma función de los puentes H, muy usados en la robótica para controlar e invertir el sentido de giro y velocidad de un motor de DC.

Un integrado muy interesante y accesible de Texas Instruments ya que está formado por cuatro medios puentes que se activan por parejas formando cada una un puente completo H, así pues se tiene dos puentes completos H que se activan de forma independiente.

El C.I. L293D viene con diodos de protección incorporados que evitan que corrientes parásitas que pueden llegar a generar los motores dañen algunos otros elementos en el circuito. La elección de este controlador respecto a otros comercialmente disponibles en el mercado fue por lo siguiente:

- Bajo coste.
- Simplicidad de montaje al incorporar los diodos de protección.
- Protección térmica frente a sobrecarga de los motores.
- Limitación de la intensidad entregada a los motores (0.6A) que impide que la tensión entregada por la batería se sitúe por debajo de los 4V, situación que comprometería la alimentación del microcontrolador.

Para la aplicación en este vehículo, se requiere control más avanzado de los motores, no solo para el control de desplazamiento, sino también para el control de la velocidad en cada uno de los motores.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

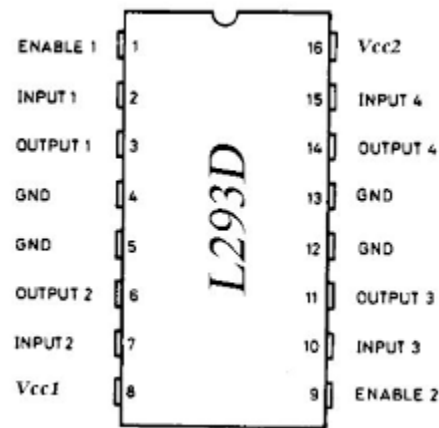


Ilustración 24: Diagrama de controlador L293D

- Conexiones y visualización general del proyecto**

A continuación se muestra las conexiones realizadas del proyecto.

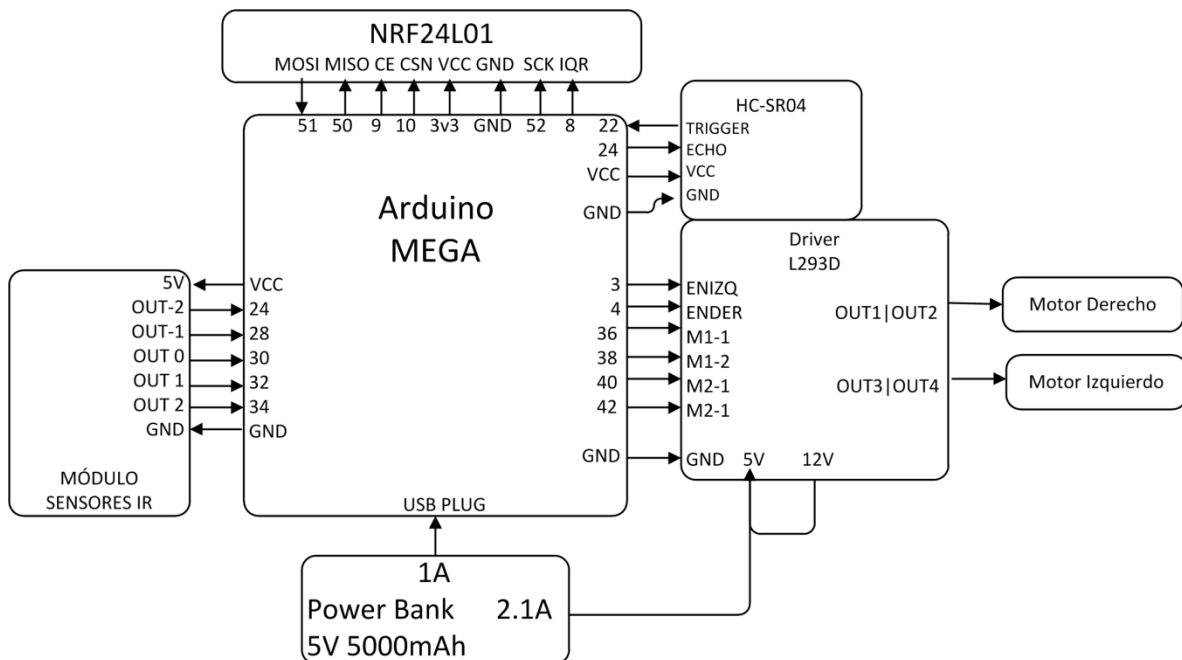


Ilustración 25: Diagrama de conexión del receptor con el seguidor de línea.

El siguiente esquema es solo para la conexión del Arduino UNO con el módulo RF y la computadora con la interfaz corriendo.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

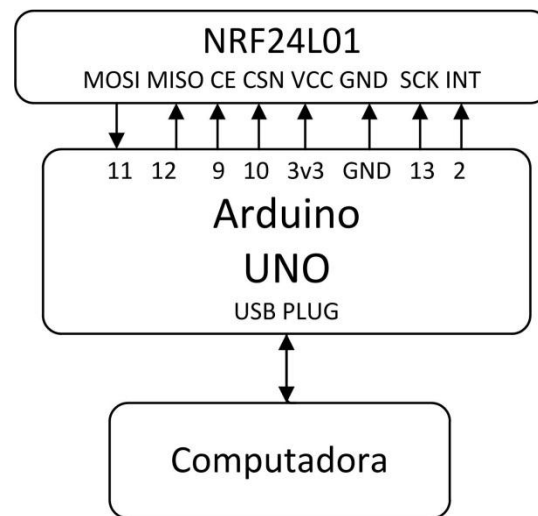


Ilustración 26: Diagrama de conexión del transmisor con la computadora.

• Diagrama general de funcionamiento

En aspectos más generales, este diagrama muestra el funcionamiento del vehículo y su conexión con la interfaz de computadora.

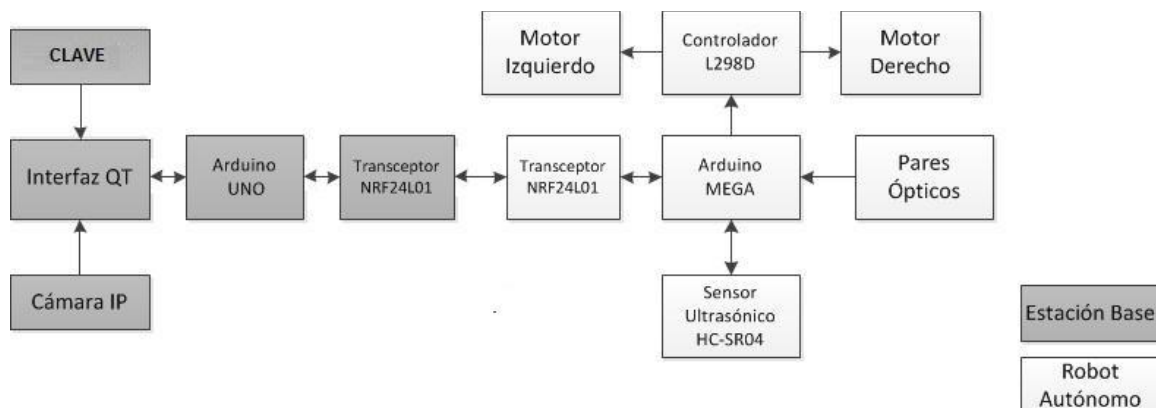


Ilustración 27: Diagrama general de funcionamiento del vehículo con visión artificial.

Herramientas de diseño Hardware

- COREL DRAW X5: es un editor de gráficos vectoriales desarrollado y comercializado por Corel Corporation. También es el nombre de Graphics Suite de Corel, que incluye además el editor de imágenes de mapa de bits Corel Photo-Paint, así como otros programas relacionados con gráficos.

Se usó este software para el diseño del chasis y exportar el diseño para fabricación.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

- **PROTEUS 8:** es un conjunto de herramientas de software propietario que se utiliza principalmente para la automatización del diseño electrónico. El software es utilizado para crear esquemas e impresiones electrónicas para la fabricación de placas de circuito impreso así como simulación de circuitos. Se usó este software de diseño para la creación de la PCB para los sensores IR y la PCB para montarse sobre la tarjeta de desarrollo conectada a la interfaz de computadora.
- **EAGLE CAD 9:** Es una aplicación de automatización de diseño electrónico programable (EDA) con captura esquemática, diseño de placa de circuito impreso (PCB), enrutador automático y características de fabricación asistida por computadora (CAM).

Se usó este software de diseño para la creación de la PCB de la placa de desarrollo dentro del auto con visión artificial.

- **OPENSCAD:** Es un modelador basado en script que utiliza su propio lenguaje de descripción; Un script OpenSCAD especifica primitivos geométricos (como esferas, cajas, cilindros, etc.) y define cómo se modifican y combinan.

Se usó este software para el modelado en 3D de la base del semáforo donde también se colocaron LED's y un dispositivo lógico para el cambio de estado.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Capítulo 4: Metodología del diseño: Software.

Implementación del control PID.

El control de velocidad y encendido de los motores fue regulado en su camino para seguir una referencia. Como vehículo sigue líneas, el camino que trata de seguir fue una línea negra en el suelo haciendo uso de los sensores IR que emite luz sobre la superficie blanca y solo será reflejada en superficies negras, las señales provenientes de los sensores infrarrojos reflectivos brindan información sobre qué tan desviado está el vehículo en su camino.

Como un sistema de segundo orden, el vehículo cruza de izquierda a derecha el camino al tratar de posicionarse sobre el camino.

La solución que a este proyecto se le pretendió dar fue agregar un control PID de valores interpolados, donde uno y varios sensores infrarrojos reflectivos de los cinco usados se le asigna un valor de desviación que el sistema tratará de corregir y hacer su desplazamiento similar a la referencia que hay que seguir.

En el sistema de control implementado en lazo cerrado, la posición de los sensores IR sobre la línea negra es lo que se planea controlar, porque de ello depende la posición del vehículo con los actuadores (moto-reductores) ubicados en la parte trasera del vehículo.

El lazo retroalimentado representa a las señales de los sensores IR que llegan por los puertos al microcontrolador. Y la sección de PID, la referencia de entrada y el operador matemático corresponden al proceso dentro del microcontrolador de recibir las señales, cuantificar y tomar una decisión de control de velocidad o apagado de motores.

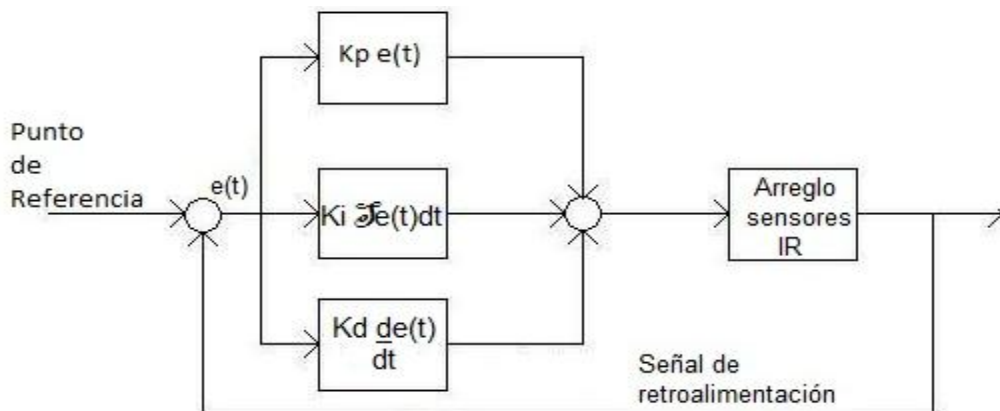


Ilustración 28: Diagrama de control PID.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Para la conducción por sigue líneas, se implementa un algoritmo donde se busca conocer en qué posición se encuentra el vehículo en todo momento. Se determina en el algoritmo que la parte central del vehículo siempre se coloque sobre la línea negra en el piso, con la configuración de cinco sensores el sensor que se encuentra en el centro, el algoritmo dentro del vehículo se entera si el centro del vehículo está sobre la línea.

Sin embargo, en la práctica, el vehículo presenta un comportamiento oscilante con respecto a la línea en el camino como se muestra en la siguiente ilustración.

Comportamiento de un vehículo sigue líneas.

En los sistemas de control, este comportamiento se asemeja a un sistema de segundo orden, donde la respuesta a un impulso es oscilante respecto al tiempo y las amplitudes de las oscilaciones se van decrementando aproximándose al valor del impulso.

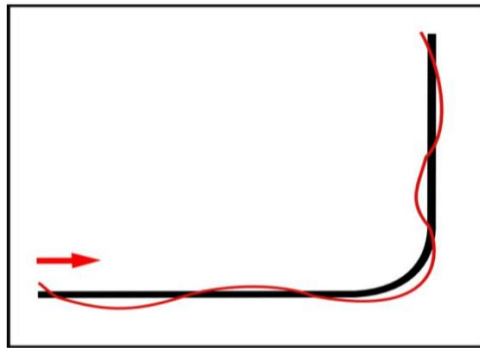


Ilustración 29: Ejemplo de control PID donde la línea negra representa el camino a seguir y la línea roja representa la trayectoria realizada [14].

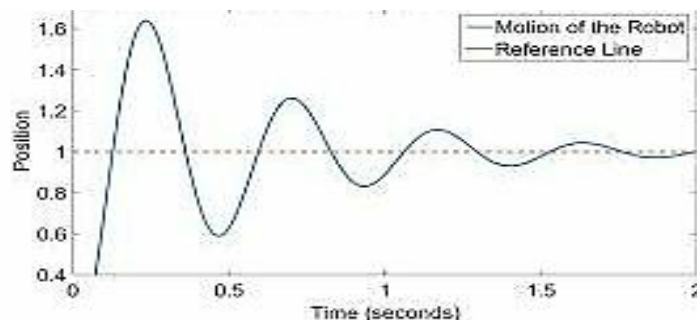


Ilustración 30: Respuesta en el dominio del tiempo del sistema de control [14]

En el vehículo, se implementa un sistema de control PID para dar una respuesta rápida al desfase y estabilizar el recorrido que realiza el vehículo.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Conocer la posición del vehículo se logra usando cinco sensores, y cada sensor representa un valor de desviación o error durante el camino.

Se usará el método de valores ponderados, es decir, asignaremos un valor diferente para diferentes combinaciones de valores de sensor y lo usaremos para calcular la desviación del centro. Se usa el sensor del centro como error cero por ser el caso cuando el vehículo se encuentra sobre la línea. La ponderación consistirá en asignar valores de error discretos a las distintas combinaciones de lectura de los sensores, estos valores de error serán tanto positivos como negativos. De esta manera, se logra distinguir si el vehículo presenta desviaciones a la derecha o a la izquierda y que la acción de control no puede ser la misma.

Sensor Izq. 2	Sensor Izq. 1	Sensor Central	Sensor Der. 1	Sensor Der. 2	Valor de error
0	0	0	0	1	4
0	0	0	1	1	3
0	0	0	1	0	2
0	0	1	1	0	1
0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	-1
0	1	0	0	0	-2
1	1	0	0	0	-3
1	0	0	0	0	-4
0	0	0	0	0	-5 o 5 (dependiendo del valor anterior)

Tabla 1: Valores ponderados para cada combinación

Construcción de la interfaz

Se comenzó en pensar en agregar a la interfaz los elementos para su presentación final y además los elementos para verificar y monitorear su funcionamiento.

La imagen siguiente muestra la interfaz usada para el control de auto, que cuenta con varias pestañas para cada función que han de desempeñar (Checar anexo “manual de usuario” para ver de forma más específica las funciones de cada uno de los botones).

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

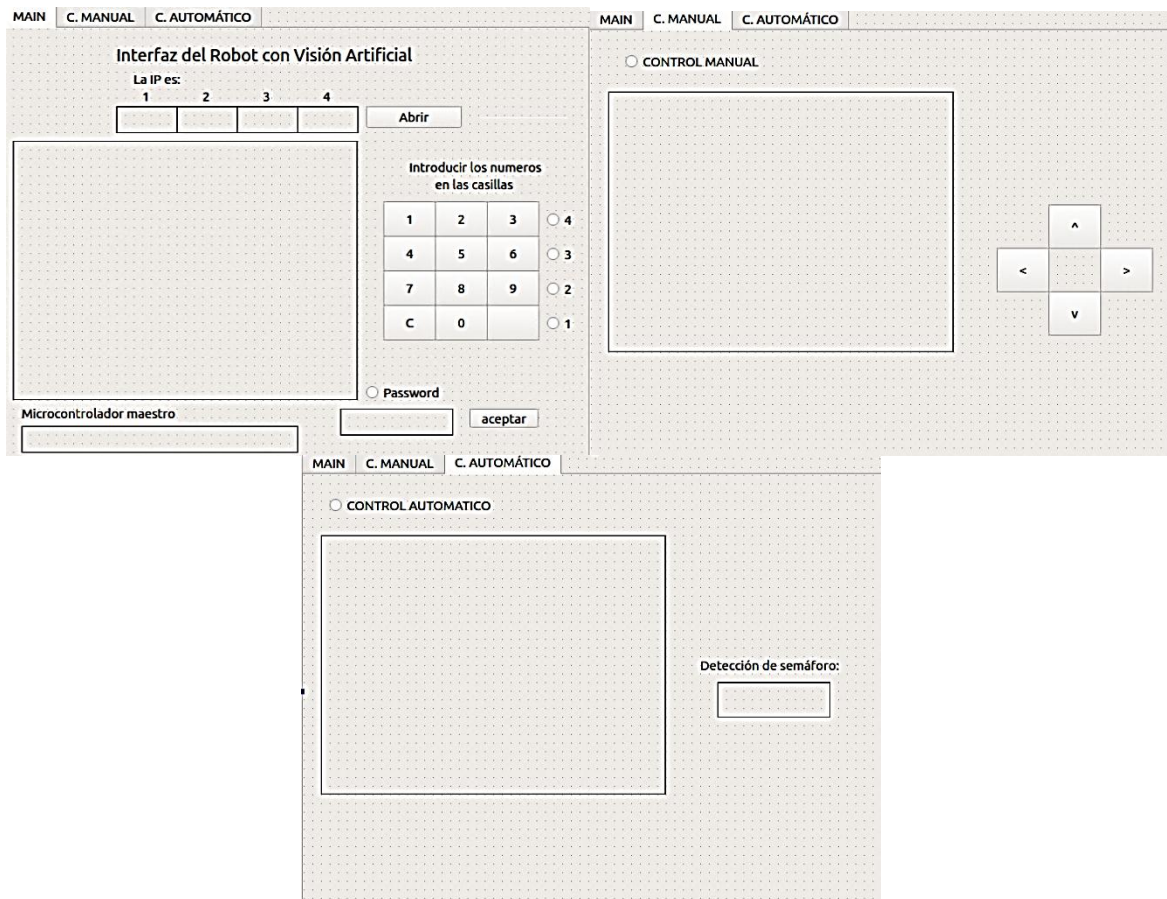


Ilustración 31: Diseño de la interfaz en QT.

- **Conexión de la interfaz con Arduino**

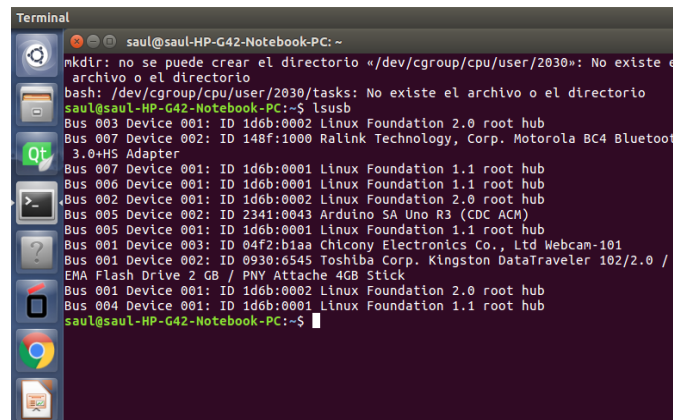
La conexión de una placa de desarrollo a la computadora se realizó por medio del puerto serial, entonces en Qt se debe crear virtualmente uno usando la clase “*QserialPort*”.

En este caso se usó una configuración de 115200 Bauds, 8bits y no-paridad. Dicha configuración fue la misma para Arduino y QT.

Para conectar la placa de desarrollo arduino a la interfaz de computadora es necesario saber si está conectado, en Ubuntu introducimos el comando *lsusb* a la terminal del sistema Ubuntu, después despliega a continuación un listado de dispositivos conectados mediante buses al computador.

Para este propósito se emplea un “protocolo de comunicación” que usará el puerto serial. El protocolo que se diseñó utiliza una cadena de caracteres ASCII en donde se envían y reciben instrucciones de que se ha establecido un enlace de comunicación.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora



```
Terminal
saul@saul-HP-G42-Notebook-PC:~$ lsusb
Bus 003 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 007 Device 002: ID 148f:1000 Ralink Technology, Corp. Motorola BC4 Bluetooth
3.0+HS Adapter
Bus 007 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 006 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 002 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 005 Device 002: ID 2341:0043 Arduino SA Uno R3 (CDC ACM)
Bus 005 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 001 Device 003: ID 04f2:b1aa Chicony Electronics Co., Ltd Webcam-101
Bus 001 Device 002: ID 0930:6545 Toshiba Corp. Kingston DataTraveler 102/2.0 / H
EMA Flash Drive 2 GB / PNY Attache 4GB Stick
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 1.1 root hub
Bus 004 Device 001: ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
saul@saul-HP-G42-Notebook-PC:~$
```

Ilustración 32: Dispositivos conectados a la computadora

Se observa en la ilustración 32 que se encuentra un dispositivo de la marca Arduino conectado, cada dispositivo de una marca que cuente con un puerto USB cuenta con un código de producto (product ID) y un código de vendedor (vendor ID), estos se encuentran codificados en hexadecimal y deben ser convertidos a decimal para que la interfaz de Qt identifique el puerto del dispositivo al que establecerá una comunicación tipo serial.

- Decodificación de Vendor ID

$$2341 = 2 \cdot 16^3 + 3 \cdot 16^2 + 4 \cdot 16 + 1 \cdot 16^0 = 9025$$

- Decodificación de Product ID= 0043

$$43 = 4 \cdot 16 + 3 \cdot 16^0 = 67$$

- **Prueba de la interfaz**

Desde Qt se compiló y corrió la interfaz creada para probar la funcionalidad en las modalidades manual y autónoma.

Algo que se vio necesario para un prototipo y hacerlo único entre otros prototipos fue crear un sistema de identificación de usuario con su vehículo, el motivo de esto fue crear un sistema de seguridad cibernética el cual evite que el usuario solo pueda controlar un vehículo a la vez y que ese vehículo sea el suyo así como protegerlo de que alguien más pudiera controlar su vehículo (Checar anexo “manual de usuario” para ver de forma más específica el procedimiento de dicha prueba).

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora



Ilustración 33: Validación del usuario

- **Prueba modo manual**

En el código, la sección encargada para la conducción manual verifica si los botones para mover al auto se encuentran presionados o no para enviar por puerto serial a la placa Arduino un carácter que será transmitido por RF y recibido por el vehículo y ejecutar así un movimiento de acuerdo a la instrucción que se halla recibido.

En la práctica, se observó el carácter “d” para mover a la derecha el robot no se transmitía por puerto serial, se probó con el carácter “z” y se decidió enviar ese.

El estado de cada push bottom tiene dos variables booleanas de valor contrario que sirven para saber cuándo se está presionado o no. Cuando hay un botón presionado cualquiera (avanzar, retroceder, izquierda, derecha) los valores booleanos preestablecidos cambian de valor y una sección de código analiza estas variables y manda un carácter para cada movimiento a ejecutar. Cuando hay un botón cualquiera que dejó de estar presionado o está sin presionar los valores booleanos vuelven o permanecen a sus valores preestablecidos y una sección de código analiza estas variables y manda un carácter para todos los casos y detener así el vehículo.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora



Ilustración 34: Cámara enlazada a la interfaz de computadora.

La siguiente tabla muestra los caracteres que son enviados en modo manual.

Dato	Desplazamiento
f	Avanzar
r	Retroceder
l	Izquierda
z	Derecha
s	Detener

Tabla 2: Datos enviados en control manual.

- Prueba modo automático**

La siguiente tabla muestra los caracteres que son enviados en modo automático.

Dato	Desplazamiento
a	Autónomo
s	Detener

Tabla 3: Datos enviados en control manual.

Al enviar este comando se ejecutan tres funciones: leer el valor de los sensores, calcular el error de desviación y controlar los motores en función de corregir el valor de desviación.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

- **Detección del semáforo**

Este proyecto adaptó el enfoque del seguimiento autónomo del vehículo y utilizó clasificadores en cascada basados en características de Haar para la detección de objetos. Dado que cada objeto requiere su propio clasificador y sigue el mismo proceso en el entrenamiento y la detección, este proyecto solo se centró en la detección de semáforos.

Las librerías de OpenCV proporcionan un entrenador y un detector.

Las muestras positivas (que contienen el objeto de destino) se toman con una cámara en distintos ángulos dichas imágenes se recortaron de tal manera que solo el objeto deseado sea visible. Las muestras negativas (sin objeto objetivo), por otro lado, se recolectaron aleatoriamente. En particular, las muestras positivas al semáforo contienen la misma cantidad de semáforos rojos y semáforo verde. El mismo conjunto de datos de muestra negativo se utilizó para el entrenamiento del semáforo. A continuación se muestran un ejemplo de muestras positivas.



Ilustración 35: Imagen del semáforo a detectar.

El siguiente esquemático muestra el procedimiento de detección de semáforo así como el reconocimiento de color



Ilustración 36: Esquemático del proceso de detección de color.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Para las pruebas del vehículo se creó una pieza 3D (ilustración 36) con las dimensiones más compatibles de la imagen del semáforo donde se colocará y probará el sistema de reconocimiento de imagen.

El código en Qt envía por comunicación serial un dato para el caso que se haya detectado luz roja y otro dato para el caso que se haya detectado luz verde. Ambos datos son transmitidos por RF al vehículo para que ejecute la función que se haya enviado por serial.



Ilustración 37: Maqueta del semáforo.

Herramientas de diseño software

- **IP WEBCAM:** IP Webcam trata de una App que convierte el celular en una cámara en IP con múltiples opciones de visualización. Funciona en cualquier plataforma con VLC player o navegador web. Emite a través de una red WiFi sin conexión a internet.

Se usó esta App para proporcionar de imagen en tiempo real a la aplicación de Qt Creator con la ayuda de OPENCV.

- **ARDUINO.** es un proyecto de código abierto y una comunidad de software, usuarios y proyectos que diseña y fabrica microcontroladores de placa única y kits de microcontroladores para crear dispositivos digitales y objetos interactivos que pueden detectar y controlar objetos en el mundo físico y digital.

Se utilizó este software para la programación de los microcontroladores.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

- **MATLAB:** Es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

Se utilizó este software para la visualización de resultados de las pruebas del controlador PID.

Resultados

Después de una fase de desarrollo prueba y debug, y rediseño de los elementos, el prototipo del vehículo quedó finalmente terminado así como la interfaz que se enlaza con el mismo.

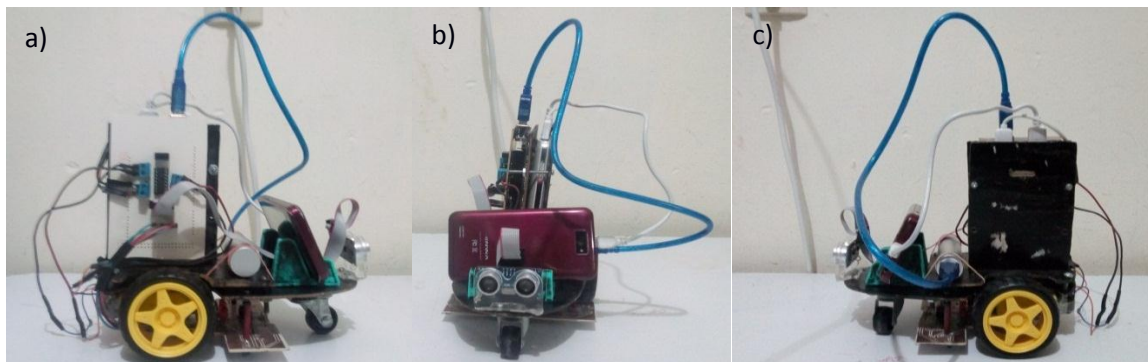


Ilustración 38: a) Vehículo perfil izquierdo, b) Vehículo de frente, c) Vehículo de perfil derecho.

Una vez integrada la parte de hardware y software era necesario conocer el comportamiento en los modos de conducción autónoma y manual para lograr caracterizar el sistema y ajustar detalles de diseño en caso de presentarse.

Modo automático.

- **Detección de semáforos**

Al iniciar ésta modalidad, se programó un retraso de tres segundos después de seleccionar el modo automático para que la interfaz reconozca el modo de conducción y luego continuar con su función.

La detección de semáforos depende de a que distancia se encuentre del vehículo, cuando el vehículo se encuentra desplazándose en el circuito tiene un movimiento lento y las

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

oscilaciones del sistema no dificultan la detección de semáforos y qué luz del semáforo se encuentra encendida.

Desafortunadamente, las condiciones lumínicas afectan dificultan la detección de semáforos y sobretodo opaca la luz del semáforo. Las imágenes que se muestran a continuación son en situaciones de luz controlada tomadas a medio día.

El vehículo avanza cuando el semáforo tiene luz verde y la visión del vehículo lo detecta y envía un dato por RF que lo hará avanzar.



Ilustración 39: Detección de luz verde.

El vehículo se detiene cuando el semáforo tiene luz roja y la visión del vehículo lo detecta envía un dato por RF que lo hará detenerse.



Ilustración 40: Detección de luz roja.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Para ambas situaciones acontece que distancia de la detección de la luz del semáforo varía, porque se dan situaciones que el semáforo se puede detectar entre muy cerca y muy lejos, y la luz que se encuentre encendida también se puede detectar a raíz de ello.

El modo en que se detecta la luz de un semáforo se basa a partir de la cantidad de intensidad que esta luz emite y que el proceso de detección y filtrado de luz, después de haber detectado un semáforo, requiere de una mínima cantidad de contornos del color para validar que efectivamente una luz el semáforo está encendida.

Para este proyecto no fue contemplado usar la luz amarilla del semáforo pues era requerido conocer más el funcionamiento del sistema con luz roja y verde que en un vehículo autónomo real tiene la obligación de tomar una determinada decisión cuando exista una luz del semáforo encendida.

- **Seguimiento de línea**

Para conocer el comportamiento del vehículo en modo autónomo mientras seguía el circuito marcado en el suelo se caracterizó el sistema, obteniendo los valores de desviación cada cierto tiempo y conociendo así el efecto que está realizando del controlador PID en el vehículo cuando este trata de seguir una línea recta, parecido a un sistema de 2do orden.

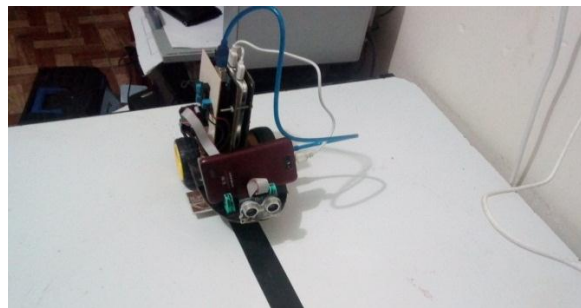
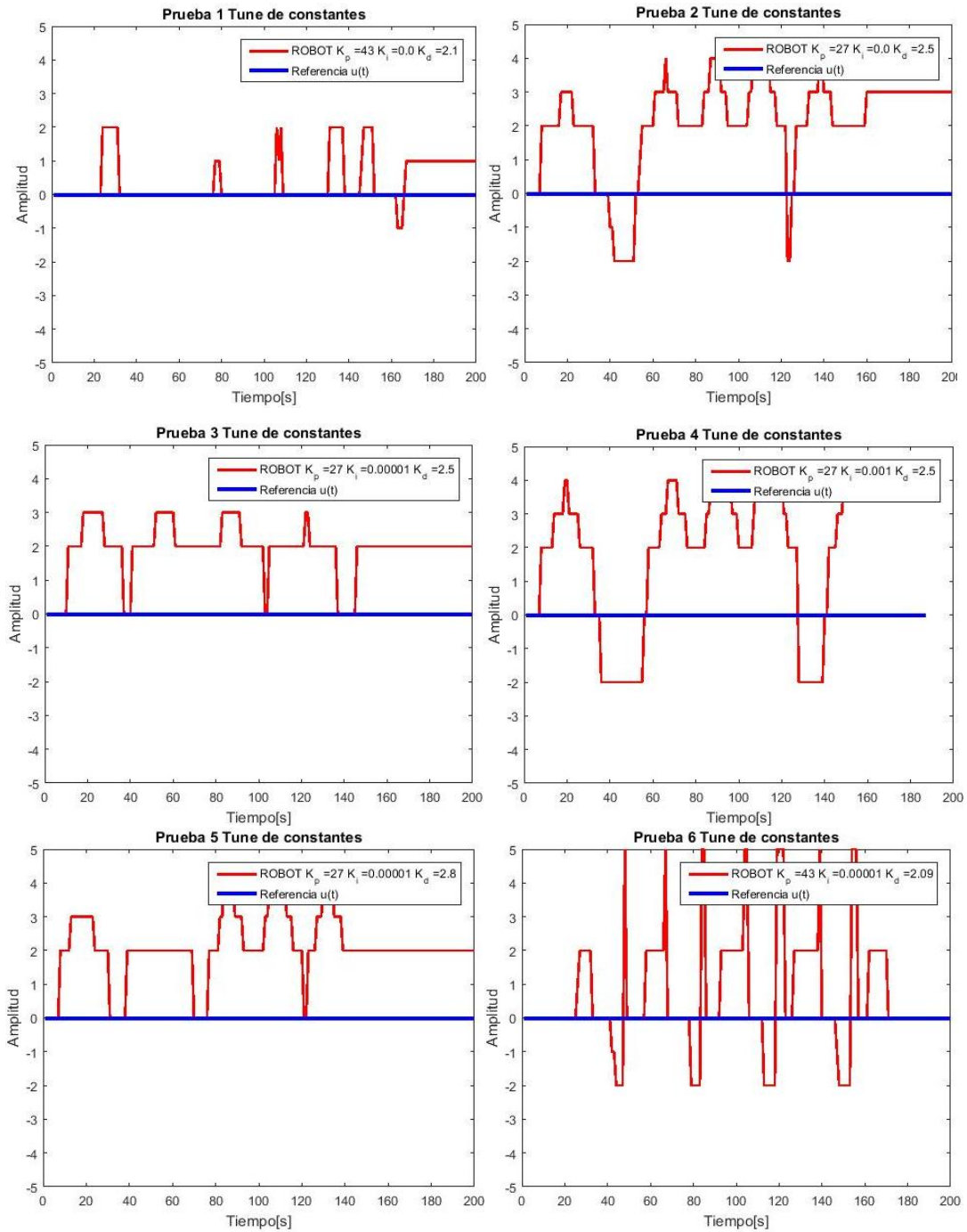


Ilustración 41: Detección de luz roja.

Las siguientes imágenes muestran el comportamiento del vehículo para los distintos valores de K_p , K_i y K_d introducidos en el controlador PID, tomadas de doce pruebas realizadas.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora



Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

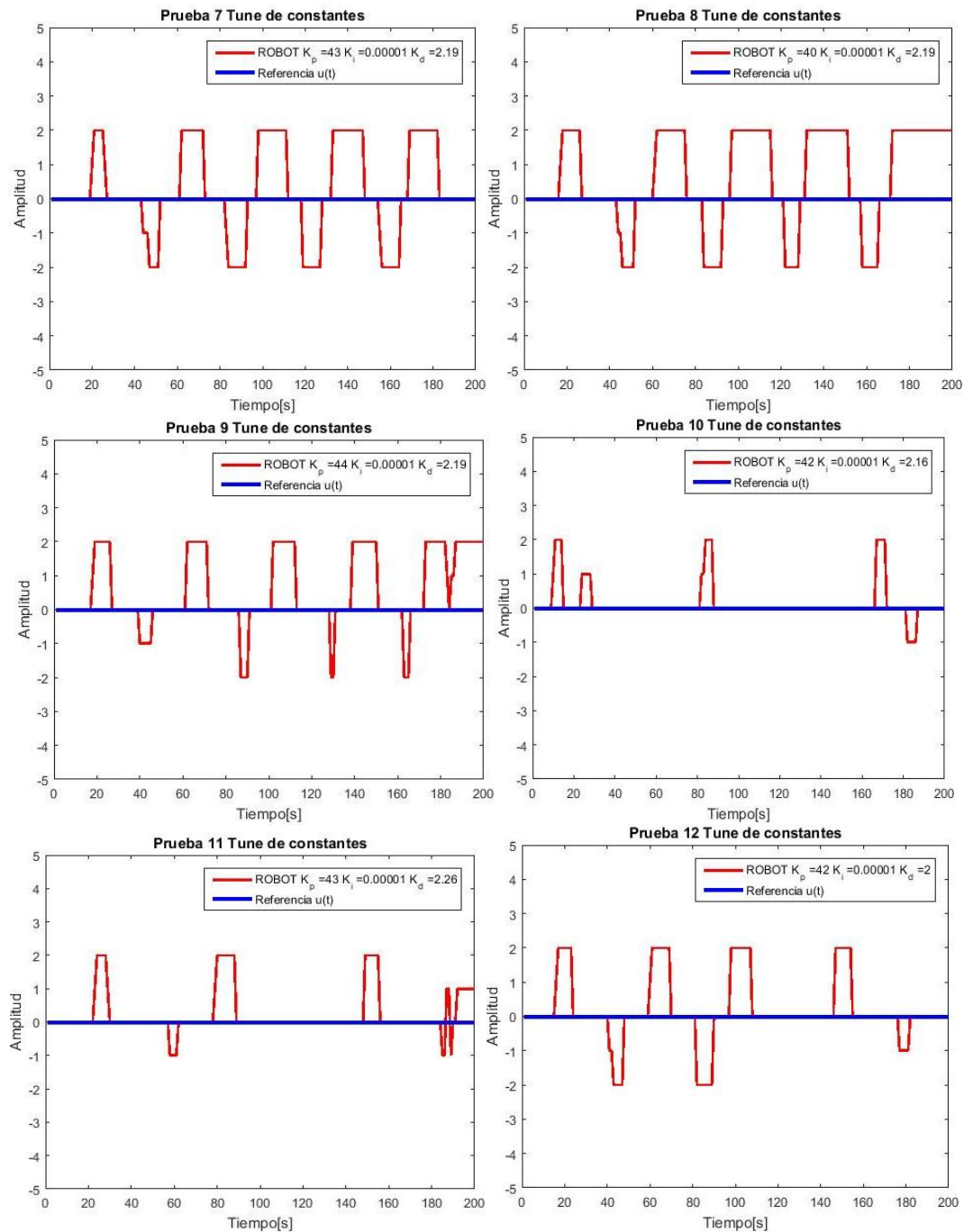


Ilustración 42: Seguimiento de línea PID usando distintos valores de K_p , K_i , K_d .

Como se observa la ilustración 39, la prueba número 10 con los valores $K_p = 42$, $K_i = 0.00001$, $K_d = 2.16$ representan la mejor opción a usar en el vehículo, por tener la

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

mínima cantidad de oscilaciones y de corta duración, integrando así esos valores al controlador PID en el código principal.

Modo Manual

- **Consumo total de energía del sistema.**

Tomando como consideración las corrientes máximas de todos y cada uno de los componentes que comprenden el sistema se calculó la corriente máxima en amperes que puede consumir el sistema:

componente	cantidad	corriente unitaria	corriente total
lm358	3	5.00E-02 Amp.	1.50E-01 Amp.
LED	5	2.00E-02 Amp.	1.00E-01 Amp.
qrd1114	5	5.00E-02 Amp.	2.50E-01 Amp.
Total			5.00E-01 Amp.

Tabla 4: Cálculo de corrientes de componentes electrónicos.

Módulos

modulo	corriente
motores	5.00E-01 Amp.
comunicación	2.36E-02 Amp.
sensores	5.00E-01 Amp.
arduino	5.00E-01 Amp.
ultrasónico	1.50E-02 Amp.
TOTAL	1.54E+00 Amp.

Tabla 5: Cálculo de corrientes de los módulos.

- **Autonomía máxima**

Tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Consumos de corrientes analizados en la sección “Análisis de corriente”
- Velocidad máxima analizada en la sección “Velocidad máxima teórica”
- Considerado la capacidad de la batería de 5100mAh como referencia.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

$$autonomia = \frac{vmax * capacidad\ de\ la\ bateria}{consumo\ de\ corriente} = \frac{2.601km/h * 5.1Ah}{1.54Ah} = 8.6137km$$

Cabe destacar que este valor de autonomía se puede ver mermado por factores como:

- Clima
- Humedad
- La tracción generada por las ruedas
- Peso total del vehículo
- Irregularidades de la superficie donde se encuentre circulando
- Carga de la batería
- **Velocidad máxima teórica**

Como consideración para el cálculo de la velocidad máxima teórica se tomó como velocidad de referencia la RPM del motor sin carga y con un voltaje de alimentación de 6v.

$$rpm = 200vuelatas/minuto$$

$$diametro\ de\ rueda = 6.9cm$$

$$velocidad = \frac{rpm * \pi * diametro}{6000} = \frac{200 * \pi * 6.9cm}{6000} = 0.7225 \frac{m}{s} = 2.601km/h$$

Cabe destacar que esta velocidad se puede ver reducida en forma sustancial por factores como:

- La tracción generada por las ruedas
- Peso total del vehículo
- Irregularidades de la superficie donde se encuentre circulando carga de la batería
- **Relación peso potencia**

La relación es una medida la cual mide una proporción de cuanta masa tiene que mover cierta unidad de potencia esta sirve para comparar el comportamiento dinámico de los vehículos, Para el cálculo de la relación peso potencia se tomaran en cuenta los siguientes valores.

Objeto	Peso
Carro (sin celular y batería)	465grs

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

batería	110grs
Celular	127grs
total	702grs

Tabla 6: Peso total por cada elemento del vehículo.

- **Cálculo de potencia**

El rato es requerido para obtener la capacidad y rendimiento del vehículo en datos técnicos de un vehículo comercial.

$$Potencia = V * I = 5v * 500 \times 10^{-3} A = 2.5w$$

$$Potencia(HP) = \frac{Potencia}{750} = \frac{2.5w}{750} = 3.3333 \times 10^{-3} HP$$

$$relacion\ peso\ potencia = \frac{peso\ vehiculo}{potencia\ (HP)} = \frac{.702Kgrs}{3.3333 \times 10^{-3} HP} = 210.6kgrs/HP$$

- **Pruebas de distancia**

La detección de distancia de objetos u obstáculos funciona independientemente del modo de conducción seleccionado, para la modalidad autónoma y manual el vehículo se detendrá cuando la distancia en la que se encuentra el obstáculo con el vehículo es menor a 30 cm.

Una característica especial que tiene el modo manual en comparación del modo automático es la opción de que el usuario tiene la libertad realizar una maniobra con la que pueda evitar el obstáculo y seguir su camino. Trata de que cuando el sensor ultrasónico detecta algún obstáculo a menos de 30 cm, deshabilita las funciones de avanzar hacia adelante o girar en cualquier dirección, pero la función de retroceder no se encuentra deshabilitada, por lo que el usuario puede realizar alguna maniobra donde pueda retroceder lo suficiente para girar a la izquierda o a la derecha y rodear al obstáculo.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

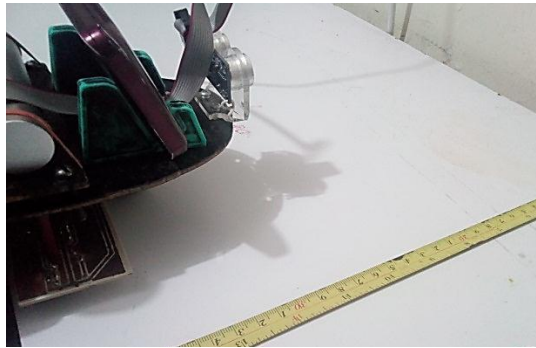


Ilustración 43: Pruebas de distancia en modo manual.

Nota: En la presentación del proyecto modular del pasado 25 de octubre de 2018 se bajó la distancia de 30 cm a 15 cm por motivos de espacio, evitando que se detuviera seguido en las pruebas por todos los objetos y personas que se encontraban cerca del sensor ultrasónico que eran detectadas a menos de 30 cm.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Recomendaciones

- En próximas etapas de desarrollo, la señal de identificación de usuario podría implementarse con un buzzer que haga como claxon un sonido.
- En próximas etapas de desarrollo, se implementará el color amarillo en el semáforo y a raíz de ello se implementará una función en el sistema del vehículo para moderar su velocidad cuando una luz amarilla se encuentre enfrente del vehículo.
- En próximas etapas de desarrollo, se trabajará en mejorar la distancia en la que se detiene el vehículo en modo automático cuando se detecta el semáforo con luz roja, mejorando el algoritmo de detección de semáforos para que, dependiendo el tamaño del semáforo en la imagen de visión, se pueda determinar si se encuentra o muy cerca o muy lejos el vehículo del semáforo.
- Se trabajara en mejorar y optimizar el procesamiento de imagen para que no sea tan susceptible a la contaminación lumínica.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Conclusiones

Un proyecto que, como tal hay ya en la industria en la actualidad, tiene bastantes detalles técnicos que en su principio no se consideraron pero se van conociendo y/o descubriendo durante el desarrollo de un proyecto así. Lo cual aumento la complejidad que en un principio se había contemplado que el proyecto iba a tener Por fortuna, con la ayuda de nuestro asesor que conoce mucho del tema de los automóviles y los automóviles autónomos, poco a poco se fue mejorando detalles, mediante el cambio de puntos de vista de cómo lo observa el estudiante a cómo lo es en la vida real.

Como el proyecto tenía visión artificial, esta área es muy extensa que no puede tratarse en seis u ocho meses, pues son temas que estudiantes de maestría o doctorado estudian por años por toda la teoría involucrada en el tema. Afortunadamente la aplicación dada a este proyecto fue lo suficiente para desarrollarse bien en las pruebas de funcionamiento.

El equipo concluye que este proyecto nos dejó con el conocimiento y la experiencia de como sobrellevar los proyectos que requiere muchos detalles para su funcionamiento, y que en cada proyecto que se haga siempre habrá detalles que se irán conociendo o descubriendo para que el funcionamiento sea el mejor posible o el esperado desde el principio.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Referencias

- [1] A. M. Víctor, “Detección y reconocimiento de semáforos por visión artificial”, tesis de pregrado, Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III, Madrid, España, 2013.
- [2] A. Javier. “*Mercedes-Benz Future Truck 2025*”, *Motor Pasión*, Recuperado en Marzo 2018. [Online]. Disponible: <https://www.motorpasion.com/mercedes/mercedes-benz-future-truck-2025>.
- [3] C. Manuel. “Así es la visión inteligente de un Tesla”, Clipset 20 minutos. Recuperado en Febrero 2018. [Online]. Disponible: <https://clipset.20minutos.es/tesla-autopilot-ve-el-mundo/>
- [4] S. M. José Luis, “Visión por computador”. Madrid, España. Dykinson, S.L., 2003
- [5] Dr. E. Marmolejo, Rubén. “QT Creator y Arduino conexión con QSerialPort”, Obtenido en Abril 2018. [Online]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/qt-creator-y-arduino-qserialport/>
- [6] “A pesar de los progresos, el número de defunciones por accidentes de tránsito sigue siendo demasiado alto”. *World Health Organization*. [Online]. Obtenido en Marzo 2018. Disponible: <http://www.who.int/es/news-room/detail/19-10-2015-despite-progress-road-traffic-deaths-remain-too-high>
- [7] “Lesiones causadas por el tránsito”, *World Health Organization*. [Online]. Obtenido en Marzo 2018. Disponible: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- [8] Russ Rader. “DRIVER SEAT: Robot cars won't retire crash-test dummies anytime soon”. Insurance Institute for Highway Safety, Highway Loss Data Institute. Obtenido en Febrero 2018. [Online]. Disponible en: <http://www.iihs.org/iihs/sr/statusreport/article/51/8/1>
- [9] Fuente: <https://es.xiaomitoday.com/noticias/elon-musk-sedan-model-3-retraso/>
- [10] F. Laspide, Flavio. “Diseño e implementación de un robot para la automatización de un almacén”, Trabajo Final de Grado. Universidad Pública de Navarra. (2014). Pamplona. España.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

[11] González, Oscar. Programa de ejemplo de control PID en VB6. BricoGeek.com.

[Online]. Disponible en: <http://blog.bricogeek.com/noticias/programacion/programa-de-ejemplo-de-control-pid-en-vb6/>

[12] "Robot seguidor de Línea", Grupo Los Resistentes, (2012). [Online]. Disponible en: <http://grupolosresistentes.blogspot.com/2012/12/robot-seguidor-de-linea.html>.

[13] Dr. E. Marmolejo, Rubén. "Puerto Serial – protocolo y su teoría", Obtenido en Septiembre 2018. [Online]Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/puerto-serial/>

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

ANEXOS

Manual de usuario del vehículo



Tabla de contenido

Precauciones de seguridad.....	página 2
Pestaña principal.....	página 3
Pestaña control manual.....	página 5
Pestaña control automático.....	página 7
Identificación de robot.....	página 8
Introducción de la dirección IP.....	página11
Control Manual.....	página14
Control Automático.....	página18

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Precauciones de seguridad

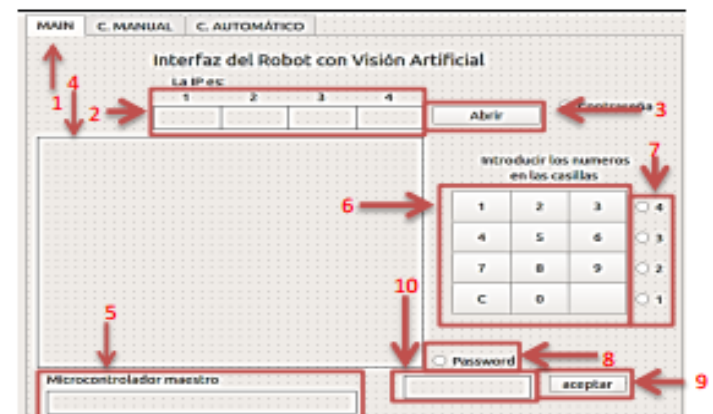


- Antes que comentar a utilizar el vehículo mediante la interfaz, asegúrese de leer las instrucciones de seguridad que describirán a continuación. Asegúrese siempre de que el producto se utiliza correctamente.
- Las precauciones que se indican en cada página tienen como objetivo evitar poner en riesgo la integridad del vehículo o de las personas que se encuentren alrededor.
- Asegúrese también de explorar el terreno donde controlará el vehículo y que después de haberlo usado no haya sufrido daños para seguirlo usando posteriormente.
- Además que revise que todo los componentes se encuentren conectados y en su lugar para hacer funcionar correctamente el vehículo.

2

Pestaña “PRINCIPAL”

En esta pestaña representa la primer capa de la interfaz de computadora que el usuario debe de conocer y familiarizarse por ser la primer pestaña que verá al controlar el vehículo. En esta pestaña el usuario se autentifica con el vehículo, conecta la cámara IP con la interfaz y revisa el estatus de la placa de desarrollo maestra.



1. Pestaña “PRINCIPAL”.
2. Casillas de dirección IP.

3

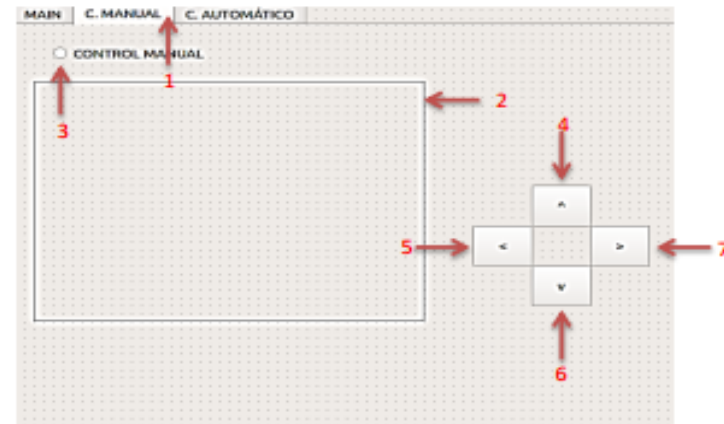
Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

3. Botón "Introducir".
4. Pantalla de la cámara.
5. Estado de conexión del Microcontrolador Maestro.
6. Teclado numérico para ingresar la dirección IP.
7. Selectores de casillas de dirección IP.
8. Habilitador de Contraseña.
9. Botón "aceptar".
10. Mensaje de confirmación.

Pestaña "CONTROL MANUAL"

En esta pestaña el usuario es capaz de controlar por su cuenta el vehículo por medio de cuatro sencillos botones para llevarlo por la dirección que el usuario desee.

De la misma manera el usuario podrá observar en tiempo real por donde es llevado el vehículo.



1. Pestaña "CONTROL MANUAL".
2. Pantalla de la cámara en tiempo real.
3. Activación de control manual.

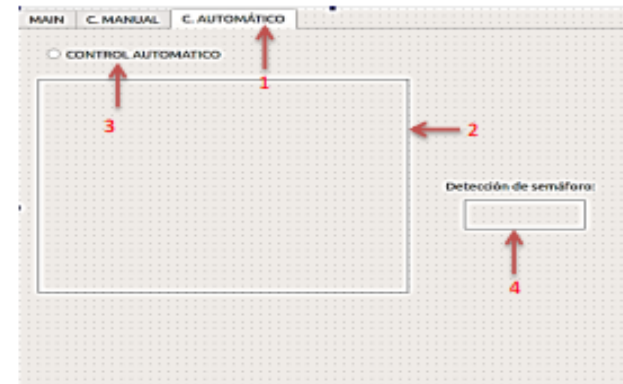
Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

4. Flecha de movimiento hacia adelante.
5. Flecha de movimiento hacia la izquierda.
6. Flecha de movimiento hacia la derecha.
7. Flecha de movimiento Hacia atrás.

Pestaña "CONTROL AUTOMATICO"

En esta pestaña el usuario permite que el vehículo se controle a sí mismo y muestre la autonomía del vehículo ante cierto tipo de situaciones.

De la misma manera el usuario podrá observar en tiempo real por donde es llevado el vehículo.



1. Pestaña "CONTROL AUTOMÁTICO"
2. Pantalla de la cámara en tiempo real.
3. Activación de control automático.
4. Mensaje de Decisión del vehículo.

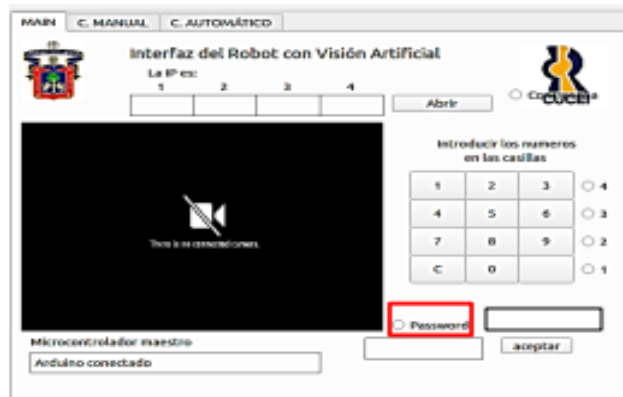
Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Identificación con el robot

ROSAC Robotics tomó en cuenta que todo usuario debe tener su propio vehículo que controlar, por ello implementó un sistema de identificación con cifrado de clave para que nadie con una interfaz de esta marca controle otro vehículo que no sea el suyo.

El procedimiento para identificarse con el robot.

1. Activa la opción de "Password". Todas las funciones de la interfaz no estarán habilitadas si no se autentifica el usuario.



2. Introduzca por orden el código de su vehículo.

8

3. Una vez ingresado todo el código en un recuadro se ocultará por seguridad.



4. Presione el botón de "aceptar" para enviarlo al vehículo por Radio frecuencia.



9

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

5. En seguida en el recuadro a un lado del botón **aceptar** se muestra el mensaje *Validado* lo que significa que el usuario está habilitado de operar el vehículo.



Nota: Si aparece el mensaje *ERROR*, le sugerimos intentar de nuevo ingresar el código de su vehículo. La manera en que el usuario también puede asegurarse de que se ha enlazado al vehículo es que el mismo hará un movimiento hacia adelante y hacia atrás después de introducir la clave del mismo.

Introducción de la dirección IP a la interfaz.

1. Encienda la cámara IP y encuentre la dirección IP que le proporciona.



La dirección en este caso es 192.168.100.5

2. Seleccione cada casilla por orden pulsando el radio selector.



3. Introduzca por orden los dígitos de la dirección IP.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

4. Introduzca la clave IP por medio del botón "Introducir".



Precauciones



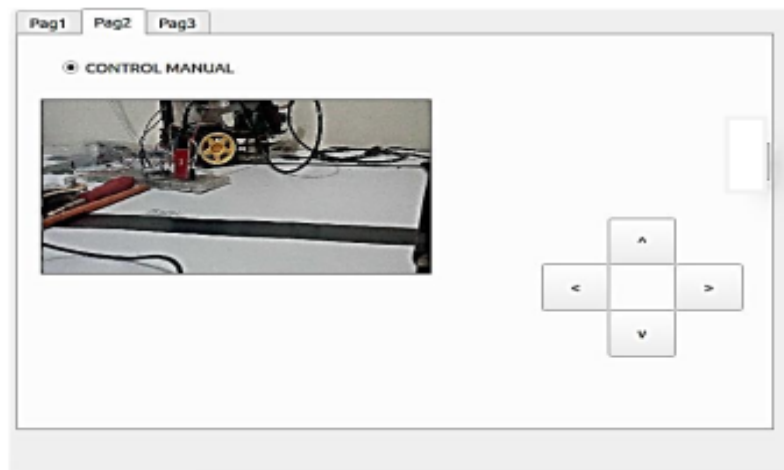
- El límite de dígitos que se pueden introducir en cada casilla es de tres dígitos. Si agrega un cuarto no será reconocido por la interfaz y se producirá un error. El Botón "C" permite borrar únicamente la casilla en la que se cometió el error y se había seleccionado.
- Asegurase que la cámara la cámara IP esté conectada a la misma red WIFI a la que se conectó, de lo contrario no será posible reconocer la red si no es de la misma área.
- Cuide el nivel de batería de la cámara IP, la aplicación cierra de repente cuando pierde conexión con la cámara IP que se enlazó. Sugerimos conseguir otra cámara y conectarla a la misma red WIFI que se conectó a la interfaz para evitar que la aplicación se cierre.


Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

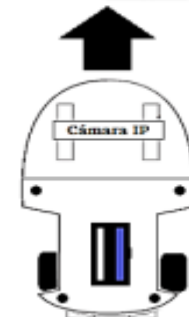
Control “*MANUAL*”


El vehículo mantiene su desplazamiento si se mantiene presionado en cualquier dirección.

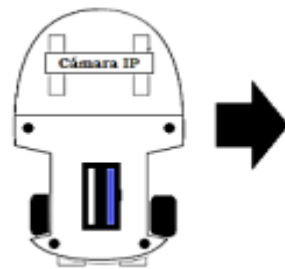
El usuario coloca el vehículo sobre piso plano y selecciona control AUTOMÁTICO para iniciar con el control. Seleccione el radio botón para el control manual.



1. Para ir hacia adelante pulse el botón 

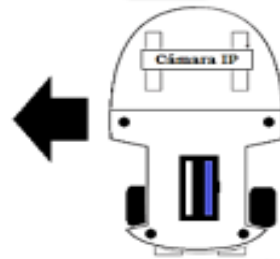


2. Para ir a la derecha pulse el botón 



Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

3. Para ir a la izquierda pulse el botón



4. Para ir a atrás pulse el botón



Precauciones

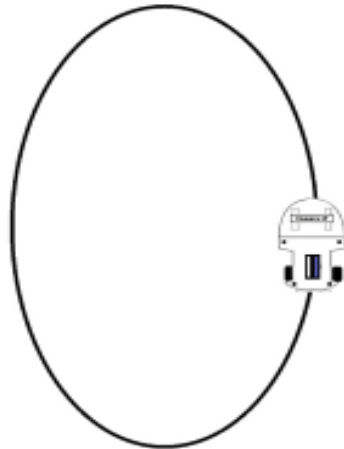


- Maneje al vehículo sobre pistas planas y no por sitios rocosos u ondulados, debido que en su parte inferior tiene el módulo de sensores infrarrojos para el seguimiento de línea y pueden dañarse si pasa por terrenos que no sean planos.
- El robot solo recibe una instrucción a la vez, para evitar saturar el bus de comunicación evite presionar más de un botón a la vez.
- Evite dejar a más de 10 metros el robot de la interfaz, la interfaz y la cámara IP del robot se conectan a la misma red LAN y si se desconecta uno u otro de la red la interfaz se cierra inesperadamente y todo el sistema queda detenido.
- Si un objeto se encuentra enfrente del robot a una cierta distancia se deshabilitarán todos los botones excepto el botón de ir en reversa, lo que permite que el usuario planeé el movimiento que haga.

Vehículo Autónomo y Monitoreado por Computadora

Control “AUTOMÁTICO”

El control automático tiene todo preparado para que el vehículo siga un camino sin la intervención del usuario. El usuario únicamente debe colocar el vehículo sobre el circuito y después seleccionar la opción **control AUTOMÁTICO**.



El movimiento autónomo consiste en poner el centro del robot a seguir el circuito en el suelo y no solo la

parte delantera como muchos vehículos sigue líneas hacen.

El vehículo en su recorrido se encontrará con semáforos, si encuentra el semáforo en **rojo** se detendrá el tiempo que la señal este en **rojo**.



El vehículo en su recorrido se encontrará con semáforos, si encuentra el semáforo en **verde** se detendrá el tiempo que la señal este en **verde**.

