



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

*“Sistema electrónico de control de apertura aplicable a una
puerta del automóvil”*

*Que para obtener el título de
Ingeniero en Sistemas Automotrices*

Presenta:

Cerda Aguilera Miguel Angel

Maza Sánchez José Fernando

Villada Neri Diego Esau

Asesores:

Dr. en T. A. Juan Antonio Jaramillo Gómez

M. en H. Sandra Martínez Solís

M. en C. Héctor Jonatan Hernández Marín

Ciudad de México, a 21 de marzo del 2022



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

***“Sistema electrónico de control de apertura aplicable a una
puerta del automóvil”***

*Que para obtener el título de
Ingeniero en Sistemas Automotrices*

Presenta

Cerda Aguilera Miguel Angel

Maza Sánchez José Fernando

Villada Neri Diego Esau

Presidente del jurado

Dra. en E. Gabriela Vélez Martínez

Profesor titular

M. en C. Cecilia Fernández Nava

Asesores

Dr. en T. A. Juan Antonio Jaramillo Gómez

M. en H. Sandra Martínez Solís

M. en C. Héctor Jonatan Hernández Marín

Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Cerda Aguilera Miguel Angel, manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "Sistema electrónico de control de apertura aplicable a una puerta del automóvil", en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA "La Tesis" por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "El IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, "El IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "La Tesis".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "La Tesis", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis", por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de "La Tesis" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, 21 de marzo de 2022

Atentamente



Cerda Aguilera Miguel Ángel

Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Maza Sánchez José Fernando, manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "Sistema electrónico de control de apertura aplicable a una puerta del automóvil", en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante EI IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA "La Tesis" por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "EI IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, "EI IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "La Tesis".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "La Tesis", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis", por lo que deslindo de toda responsabilidad a EI IPN en caso de que el contenido de "La Tesis" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, 21 de marzo de 2022

Atentamente



Maza Sánchez José Fernando

Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Villada Neri Diego Esau, manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "Sistema electrónico de control de apertura aplicable a una puerta del automóvil", en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante EI IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA "La Tesis" por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "EI IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, "EI IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "La Tesis".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "La Tesis", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis", por lo que deslindo de toda responsabilidad a EI IPN en caso de que el contenido de "La Tesis" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, 21 de marzo de 2022

Atentamente



Villada Neri Diego Esau

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por brindarnos la oportunidad de ser parte de esta gran comunidad y de desarrollar las habilidades necesarias para emprender una nueva etapa hacia la vida profesional.

A los asesores que, con sus conocimientos, ideas y enseñanzas permitieron que este trabajo tomara forma y alcanzara su objetivo.

A los profesores que fueron las bases de nuestra formación académica que, sin su esmero, dedicación y pasión por la enseñanza no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

Por último y no menos importante, a familiares y amigos que contribuyeron a este trabajo y a esta etapa de la vida para llegar hasta el final de manera satisfactoria.

DEDICATORIAS

Cerda Aguilera Miguel Angel

Con orgullo y regocijo dedico esta meta:

Principalmente a mis padres Miguel y Adriana que, sin su apoyo incondicional y su sacrificio a lo largo de estos años, este objetivo cumplido no hubiera sido posible.

A mi abuelita Ángeles por su cariño y apoyo absoluto que siempre ha mostrado.

A mi abuelito Heriberto, ya que estaría muy orgulloso por haberme visto cumplir este objetivo.

A mis hermanos Emilio y Adrián por siempre estar a mi lado y por los grandes momentos que hemos compartido juntos, siendo este uno más a la lista.

A todas aquellas personas por su compañía y ayuda que influyeron directa e indirectamente durante todo este recorrido educacional.

Maza Sánchez José Fernando

A Dios por darme la oportunidad de levantarme día a día y tener la dicha de vivir.

A mis padres Oscar y María Asunción que, sin su cariño, ánimo y apoyo incondicional, la culminación de esta meta y etapa en la vida no hubiera sido posible, donde la nostalgia y la distancia no fue un impedimento.

De igual manera a toda mi familia quienes me expresan su apoyo y cariño, en especial a mis hermanos Paola y Kristian, mis abuelitas Candelaria y Esperanza, a mis abuelitos Ariosto y José que a pesar de ya no estar estoy seguro de que se sentirían orgullosos.

Así mismo a mi primo Ulises que de no haberme planteado la idea de cursar mi carrera universitaria en esta gran casa de estudios no estaría viviendo este momento; y por todo su apoyo para hacerme sentir como en casa.

A mi amigo Benito quien me brinda consejos para afrontar los días venideros.

Y finalmente a todos mis amigos, quienes con su compañía y aliento me impulsaron a seguir adelante.

Dedico este logro a...

A mis padres Miguel y Verónica, por hacer lo imposible para verme feliz, por sus consejos, su amor, su sacrificio, por su confianza infinita.

A mi hermana Cielo, por acompañarme siempre, agradezco su comprensión y afecto, deseo con todo el corazón que logre lo que anhela.

A mi tía Minerva, por su apoyo incondicional, por tener el corazón más bondadoso; sin tener el deber siempre ha estado presente.

A mi abuelita Modesta, que ha sido una madre para mí, porque me ha dado amor y cuidado desde que tengo memoria.

A mi abuelito Rutilio, que me ha enseñado la importancia del esfuerzo, la dedicación y el trabajo honrado.

A mis abuelitos que ya no están Felipe y Julia, que me dejaron grandes enseñanzas, vivirán eternamente en mí.

A mis tíos, primos y amigos que conforman una familia para mí, por su cariño y aliento.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
PALABRAS CLAVE	1
KEYWORDS.....	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
OBJETIVOS PARTICULARES	2
INTRODUCCIÓN	3
PARTE I. PANORAMA GENERAL	5
ANTECEDENTES	5
MARCO TEÓRICO	6
SOBRE LA PUERTA AUTOMOTRIZ DEL PROTOTIPO	6
DAÑOS A LA PUERTA DEL VEHÍCULO	7
PARTES DE LA PUERTA	8
CONCEPTOS GENERALES.....	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
JUSTIFICACIÓN	14
ALCANCES	16
PARTE II. DESARROLLO	17
CONOCIMIENTO DEL ENTORNO DE ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DE BASES PARA EMPRENDER EL PROYECTO	17
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PUERTA DEL VEHÍCULO	17
FUENTE DE ENERGÍA	20
PROCESO DE APERTURA DE UNA PUERTA	21
PUNTOS VULNERABLES DE LA PUERTA.....	22

BASES PREVIAS AL DISEÑO	23
METODOLOGÍA PARA COMPARAR OPCIONES	23
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN	23
DISTANCIA MÍNIMA PARA LA APERTURA	23
FUERZA REQUERIDA PARA DESPLAZAR LA MANIJA	25
CARRERA QUE DEBE RECORRER LA VARILLA DE APERTURA PARA DESANCLAR LA PUERTA	26
FUERZAS PARA LA APERTURA DE LA PUERTA	26
SIMETRÍA DE APERTURA TOTAL DE LA PUERTA.....	27
MEDICIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA DE CONTROL DE SEGUROS	28
NIVELES LÓGICOS DEL SISTEMA DE SEGUROS	28
RESUMEN DE DATOS	30
SUBSISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE MANIJA	31
UBICACIÓN DEL SUBSISTEMA PARA ACCIONAR LA MANIJA	31
ELECCIÓN DEL ACTUADOR	32
CONSUMO	33
SUBSISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE SEGUROS	34
ACTUADOR DEL DESBLOQUEO ELÉCTRICO DE LOS SEGUROS	36
SUBSISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE LA PUERTA	37
ELECCIÓN DEL TIPO DE ACTUADOR	37
ELECCIÓN DEL ACTUADOR LINEAL	38
BLOQUEO DE APERTURA	38
SOPORTE	38
CONSUMO	39
SUBSISTEMA DE PROTECCIÓN	40
PARA EL CUERPO DE LA PUERTA	40
PARA EL BORDE DE LA PUERTA	41

CONJUNTO LÁSER-FOTORRESISTENCIA COMO DIVISOR DE TENSIÓN	42
PROTECCIÓN DEL DIODO LÁSER	43
PROTECCIÓN DE LA FOTORRESISTENCIA	43
CONJUNTO RADAR	44
BASE PARA SG90	44
PROTECCIÓN PARA EL SENSOR E18-D80NK	45
CONTROL DEL SISTEMA	46
ANÁLISIS DEL PROBLEMA	46
DEFINICIÓN DE DATOS	47
DETERMINACIÓN DEL DISPOSITIVO DE CONTROL DEL SISTEMA	48
DISEÑO DEL ALGORITMO	49
CIRCUITO ELÉCTRICO DEL SISTEMA	51
DEFINICIÓN DE COMPONENTES	51
DRIVERS PARA COMPONENTES ESPECÍFICOS	52
ACTUADOR LINEAL DE LA PUERTA	52
LÁSER Y PINES DE SEGUROS	53
ACTUADOR UNIVERSAL DE LA MANIJA.....	54
CIRCUITO FINAL.....	56
CALIBRE DEL CABLE Y CONSUMO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA	57
ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	58
PARTE III. VALIDACIÓN	62
PRUEBAS FINALES	62
PRUEBA NÚMERO 1: AUTOMÓVIL CERCA DE LA PUERTA	62
PRUEBA NÚMERO 2: AUTOMÓVIL CON DISTANCIA MAYOR A 40CM DE LA PUERTA	63
PRUEBA NÚMERO 3: OBJETO INTERVINIENDO EN EL CUERPO DE LA PUERTA	64

COMPARACIÓN DE RESULTADOS	65
CONCLUSIONES	65
TRABAJOS FUTUROS	66
PARTE IV. APÉNDICES.....	67
ELEMENTOS DE AYUDA	67
BIBLIOGRAFÍA Y CIBERGRAFÍA	84

“SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL DE APERTURA APLICABLE A UNA PUERTA DEL AUTOMÓVIL”

RESUMEN

En este trabajo se propone un prototipo de sistema electrónico destinado al control en la apertura de una puerta en un automóvil. Dicho sistema estará enfocado al área de confort en busca de contar con una estructura auxiliar que provea a los usuarios la apertura oportuna y seguridad de un accionamiento adecuado del mecanismo de ingreso o evacuación del vehículo, ya que en comparación con el proceso que se lleva a cabo manualmente, éste será capaz de efectuar cálculos inmediatos a través de información de sensores que se registrarán en una tarjeta lógica programable, tomando así la mejor y más precisa decisión para evitar daños a la propiedad del conductor y terceros, así como brindar ayuda a personas que se encuentren bajo condiciones que les impidan llevar a cabo dicha tarea; discapacidades, por ejemplo. Se mostrará el proceso de diseño con cálculos y simulaciones pertinentes para garantizar una configuración funcional; se propone que el sistema conste de tres subsistemas fundamentales: el primero se enfoca en obtener lecturas sobre factores de espacio mediante transductores de entrada, el segundo en procesar los datos con el fin de determinar las mejores condiciones de accionamiento y el tercero en activar la técnica requerida para el desplazamiento angular de la puerta, así como indicadores de acuerdo a la función que esté desarrollando el sistema ya sean visibles, audibles o algún otro tipo para notificar usuario.

ABSTRACT

This document proposes an electronic system prototype meant to control a car's door. This system will be focused in the comfort area in pursuit of having an auxiliary structure which provides users with the security that is implicit in the proper actuation of the entry or evacuation mechanism of the vehicle, since compared with the manual process, this system will carry out immediate calculations through sensors which will be registered in a programmable logic card, deciding this way the best and most precise decision, avoiding the damage to driver and third parties, as well as provide assistance to people under conditions which might impede to carry out such task, for example some kind of disability. The design process with the relevant estimations and simulations will be shown to guarantee a functional configuration; the system is intended to consist of three fundamental subsystems; the first one will obtain readings about space factors with sensors, the second one will process the data to decide the best actuation conditions and the third one will activate the required technique for the angular displacement of the door, as well as some indicators according to the function the system will be performing either visible, audible or any other kind to notify the user.

PALABRAS CLAVE

Sistema electrónico, apertura, puerta, automóvil, desplazamiento angular, espacio, procesamiento de datos.

KEYWORDS

Electronic system, opening, car access, angular displacement, space, data processing.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, desarrollar e implementar un prototipo de un sistema electrónico de control de apertura aplicable a una puerta del automóvil.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar sistemas eléctricos.
- Determinar sistemas mecánicos.
- Determinar sistemas electrónicos.
- Programación de los sistemas.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar el dispositivo eléctrico que abrirá la puerta del vehículo.
- Desarrollar un sistema mecánico capaz de abrir la puerta del vehículo.
- Determinar elementos electrónicos tales como sensores y actuadores.
- Establecer y diseñar fases de control y protección para los componentes eléctricos y electrónicos.
- Determinar el dispositivo programable que realizará el control del sistema.
- Desarrollar un algoritmo de programación para el sistema.
- Validar el funcionamiento del sistema mediante prueba.

INTRODUCCIÓN

El automóvil surgió de la curiosidad e inquietud del ser humano por desplazarse más allá de sus limitaciones físicas. Los factores biológicos se lo impedían, sin embargo, la psicología científica provista por el estudio e investigación permitió la migración de la idea en el interior de un sistema cognitivo a una creación tangible (Martínez Freire, 2013).

Así es como durante la Segunda Revolución Industrial el descubrimiento de combustibles y la invención del motor de combustión interna proporcionaron los pilares para nuevos métodos de transporte que dieron lugar a un desarrollo económico exponencial y de la sociedad en general, por lo que su invención puede considerarse como un hito en la historia de la humanidad que ha cambiado la forma de vida cotidiana por la gran utilidad que ofrecen.

Actualmente la industria automotriz mexicana representa el segundo sector económico más importante del país, además de ser pieza esencial de modernización y globalización. INEGI (2021) hasta agosto del 2021, registró que el número de automóviles en el país es de aproximadamente 34,281,913 sin contar vehículos pesados y de pasajeros.

Este aumento del parque vehicular ha sido tal, que ha suscitado, principalmente en lugares de interés público donde el espacio es reducido, la creación de focos de incidentes que implican daños a la propiedad e incluso morales y humanos. El individuo actúa determinado por una gran cantidad de variables personales, organizacionales, situacionales y/o ambientales que a menudo resultan en errores humanos.

A consecuencia de esto han surgido nuevos retos que, mediante la mejora tecnológica y gracias al crecimiento del mercado, la industria se ha permitido solventar. Por ello cada vez son más las adaptaciones significativas aplicadas a vehículos para obtener diseños eficientes en diversas áreas.

Por su parte el desarrollo de la electrónica y ciencias de la información han tenido una creciente relevancia en cuanto a seguridad y confort. Las grandes prestaciones que pueden ofrecer sistemas cada vez más innovadores han aumentado significativamente, tornando la protección y comodidad que brindan en elementos decisivos de diseño en productos que logren satisfacer tanto regulaciones de carácter gubernamental como las demandas de los consumidores (Guerrero., 2002).

Hablando particularmente sobre la apertura automática de puertas, un sistema que además de otorgar al usuario la posibilidad de acceder o abandonar el vehículo de forma cómoda sin necesidad de preocuparse por medir distancias por percepción sensorial, la incomodidad al llevar varios objetos, los posibles daños materiales junto con la afectación económica, entre otras cosas que ésta actividad cotidiana conlleva, puede considerarse también de gran utilidad para personas con algún tipo de

discapacidad como lo declara Mark Ormrod, atleta británico con amputación triple, sobre el sistema desarrollado por Jaguar Land Rover:

“La innovadora tecnología desarrollada por Jaguar Land Rover tendrá un beneficio real para mí y, además, tendrá la capacidad de cambiar la vida de muchos que como yo tienen problemas para entrar o salir del vehículo. Abrir o cerrar la puerta puede parecer una tarea insignificante para mucha gente, pero en muchas ocasiones son las pequeñas cosas los pequeños obstáculos de cada día los que pueden generar las mayores frustraciones para todos aquellos que tienen que convivir con alguna discapacidad”. (Jaguar Land-Rover, 2018)

Es importante destacar que sistemas de esta naturaleza no solo benefician al usuario promedio sino a gran variedad de personas convirtiéndolos en temas de interés para desarrollar alternativas inteligentes que resuelvan situaciones de la vida a las que regularmente no se les otorga importancia y, sin embargo, representan problemas latentes donde la solución probable es el progreso técnico, que establecerá la vida humana sobre bases que se alejan cada vez más de la existencia natural.

Este documento muestra el desarrollo del prototipo de un sistema de apertura automática implementado en una puerta lateral del automóvil Nissan Pathfinder 1998, a través de los siguientes capítulos.

En la parte 1 trata del panorama general sobre la problemática abordada, se analizan soluciones existentes en torno al tema planteado, puntos de vista y argumentos que justifican el propósito de este proyecto, así mismo, los alcances que tendrá en el futuro.

En la parte 2 presenta el desarrollo mediante diseño, análisis, cálculos, mediciones y simulaciones enfocados en alcanzar los objetivos planteados inicialmente.

En la parte 3 habla acerca del producto final y su validación como prototipo funcional.

Finalmente, la parte 4 incorpora elementos de ayuda, tales como diagramas, tablas y hojas de datos técnicos que fueron útiles durante el desarrollo del proyecto.

PARTE I. PANORAMA GENERAL

ANTECEDENTES

A continuación, se muestran los resultados de la búsqueda desarrollada en la web acerca de proyectos, prototipos, patentes y/o artículos relacionados con abrir una puerta del automóvil o enfocados a evitar daños en la misma.

Tabla 1 Estado del arte

Nombre	Descripción	Características	País	Instituto	Tipo
Ford Door Edge Protector ¹	Sistema que al abrir por dentro permite que un protector se coloque en el borde de la puerta.	Goma protectora en la puerta. Tiempo de 60 ms en volver a su lugar.	Alemania	Ford	Patente
Slamstop ²	Sistema electrónico que permite el cierre automático de la puerta con solo acercarlo al marco.	Detección de magnética de apertura. Sistema retráctil de puerta universal. Detección de obstáculos en el trayecto de cierre.	Diseñado en Europa	Slamstop	Artículo
Contact Sensor System (CoSSy) ³	Sistema que puede detectar el contacto del vehículo con un objeto a bajas velocidades.	Uso de sensores acústicos	Alemania	Continental	Patente
Mobility Door ⁴	Sistema de apertura automática de puertas que detecta al conductor cuando se acerca al vehículo, además de detectar obstáculos que dañen la puerta y su estado.	Control de gestos. Detección de conductor dirigiéndose o alejándose del vehículo. Botón para cerrar la puerta. Lectura de estado de cada puerta. Radar para detectar obstáculos. Programación de cierre y bloqueo al dejar el vehículo. Tecnología de entrada sin llave.	Gran Bretaña	Jaguar Land Rover	Patente
Invisible Butler ⁵	Sistema de apertura y cierre automático de puertas accionado en presencia cercana de la llave.	Sensores que detectan la presencia cercana de la llave. Sensores ultrasónicos para la detección de obstáculos. Apertura automática por medio de llave (exterior) y pantalla táctil (interior).	Estados Unidos	Tesla	Sistema

¹ Nota: Tomado de EL INFORMADOR, 2011

² Nota: Tomado de Guitián Vizoso, 2014

³ Nota: Tomado de LA VANGUARDIA, 2020

⁴ Nota: Tomado de Jaguar Land Rover, 2018

⁵ Nota: Tomado de Juárez, 2015

La tabla anterior muestra alternativas de diseño relacionadas al tema tratado, en particular los sistemas Mobility Door e Invisible Butler, los cuales son los más destacados como puerta automática, sin embargo, no se aborda de manera puntual evitar el contacto de la puerta con algún obstáculo en la apertura para prevenir daños, particularmente en vehículos de gama baja o media.

MARCO TEÓRICO

A continuación, se expone una serie de conceptos teóricos que fueron fundamentales para desarrollar el presente proyecto.

SOBRE LA PUERTA AUTOMOTRIZ DEL PROTOTIPO

Existe gran variedad de diseños de puertas implementados en distintos modelos de vehículos por cada fabricante; en cuanto al modelo de Nissan, la puerta de la Pathfinder 1998 consiste en un diseño convencional como se ilustra en la imagen posterior (Ilustración 1).



*Ilustración 1 Puerta de Pathfinder 1998
Fuente: Elaboración propia.*

Es importante tomar esto en cuenta, ya que el prototipo necesita desarrollar la apertura de la puerta siguiendo el movimiento que dicta el tipo de mecanismo del que se trata.

DAÑOS A LA PUERTA DEL VEHÍCULO

Al estar expuestos al entorno los vehículos pueden sufrir diferentes daños, los portazos son uno de ellos.

Al abrir la puerta el usuario puede cometer errores humanos que como consecuencia pueden producir:

- Abolladuras
- Daños en la parte interna de la puerta
- Daños al mecanismo de bloqueo
- Daños a la pintura del vehículo

Las siguientes ilustraciones ilustran el listado anterior.



*Ilustración 2 Daños al vehículo (Abolladura⁶, internos⁷, mecanismo de bloqueo⁸ y pintura⁹)
Fuente: Elaboración propia.*

El costo de una reparación profesional para estos daños a la carrocería depende principalmente del modelo del vehículo y la severidad del daño recibido, sin embargo, siempre será un gasto extra al bolsillo del usuario que se busca evitar con el prototipo.

⁶ Nota. Tomado de internet(imagen), por NEOMOTOR, 2021, Todos los derechos reservados.

⁷ Nota. Tomado de internet(imagen), por Ruta 401 El blog de los profesionales del taller, 2021, Todos los derechos reservados.

⁸ Nota. Tomado de internet(imagen), por 24/7 CERRAJERO, 2021, Todos los derechos reservados.

⁹ Nota. Tomado de internet(imagen), por E.M.E. de mujer, 2021, Todos los derechos reservados.

PARTES DE LA PUERTA

En esta sección se muestran los componentes principales de la puerta utilizada en este proyecto.

Manija: Se encuentra tanto en el interior como en el exterior del vehículo. Es un mecanismo de palanca empleado para liberar la puerta previamente a la apertura.

Cerradura: Elemento que engancha la puerta a la carrocería.

Cilindro de cerradura: Se puede visualizar al exterior del vehículo. Es un mecanismo que permite desbloquear o bloquear el seguro de la puerta al insertar la llave en él y girarla.

Control de seguros: Sistema que controla electrónicamente el bloqueo y desbloqueo de seguros.

Bisagra: Mecanismo que permite el movimiento de rotación de la puerta para abrir o cerrar. Además, soporta el peso de la puerta y la mantiene en su posición.

Ventana: Elemento generalmente fabricado en vidrio que aísla total o parcialmente el habitáculo del exterior, funcionando también como fuente de ventilación.

Regulador de ventana: Sistema que controla electrónicamente el ascenso o descenso de la ventana.

Asidero: Elemento de apoyo que sirve al usuario para mover la puerta desde el interior.

Espejo lateral: Elemento que se ubica en la puerta al exterior del vehículo cuya función es dar al conductor una visión parcial de lo que se encuentra detrás o lateralmente al vehículo.

Reposabrazos: Elemento interior que le permite al usuario situar un brazo en posición de descanso o como punto de apoyo.

Barra guía: Elemento que se encuentra verticalmente colineal con las bisagras y sirve para que la apertura de la puerta cuente con un control limitado.

A continuación, se muestra un diagrama en vista explosionada de la puerta del vehículo (Ilustración 3).

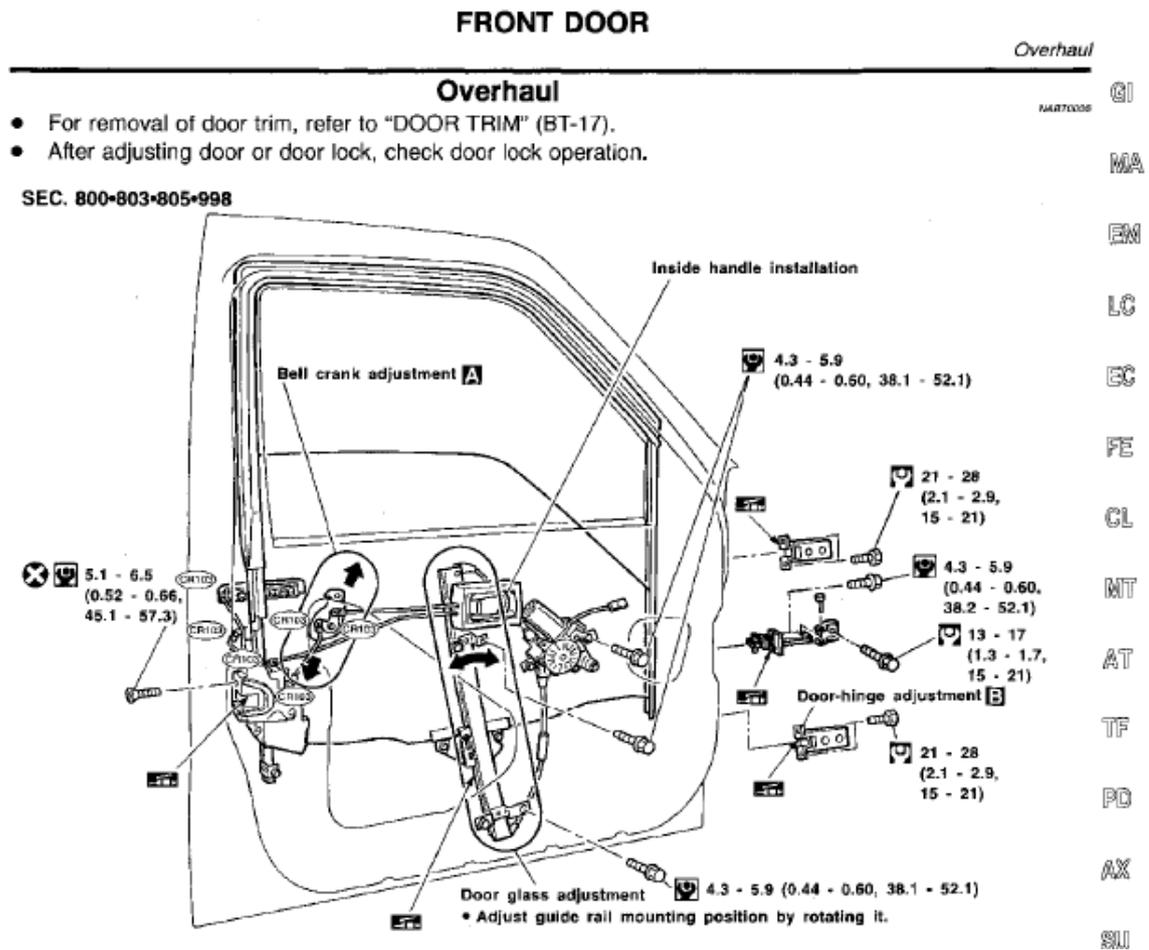


Ilustración 3 Partes principales de la puerta Pathfinder 1998, vista explosionada¹⁰

CONCEPTOS GENERALES

Distancia: Longitud que existe entre dos puntos en el espacio. En matemáticas se considera como el segmento de recta que une dos puntos, mientras que en física se trata de la longitud total de la trayectoria de un objeto móvil. Es importante tener presentes ambos conceptos (Ilustración 4).

¹⁰ Nota. Tomado de Manual BT Pathfinder 1998 por Nissan (imagen), 1998. Todos los derechos reservados.

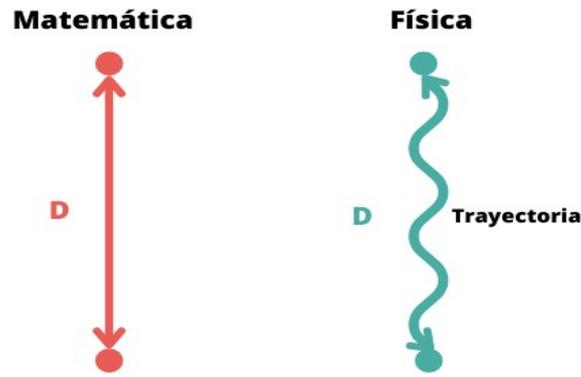


Ilustración 4 Concepto de distancia en física y matemática
Fuente: Elaboración propia.

Masa: Cuantificación de la cantidad de materia contenida en un cuerpo.

Peso: Intensidad con la que un cuerpo es atraído por un campo gravitatorio. (Ilustración 5).

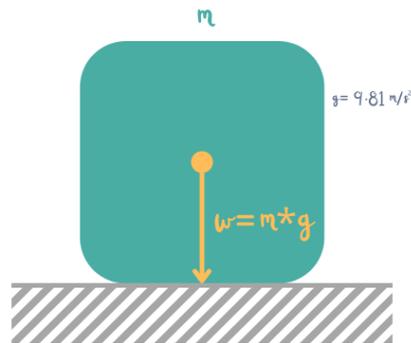


Ilustración 5 Conceptos de masa y peso
Fuente: Elaboración propia.

Fuerza: Magnitud vectorial que cuantifica la intensidad de las acciones que producen cambios en el movimiento o en la estructura de un cuerpo. Se da entre partículas o entre sistemas de partículas.

Momento de torsión: Capacidad de una fuerza para producir un movimiento de giro o rotación alrededor de un punto. Depende de la magnitud de la fuerza, la distancia y el ángulo de aplicación. (Ilustración 6).

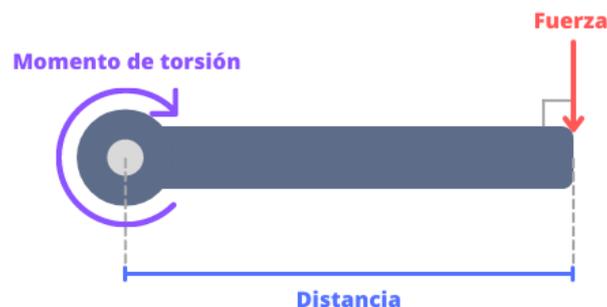


Ilustración 6 Conceptos de momento y fuerza
Fuente: Elaboración propia.

Velocidad angular: Longitud de arco expresada en radianes por unidad de tiempo recorrida por un punto u objeto que gira alrededor de un eje.

Velocidad Tangencial: Magnitud de la velocidad, tangente a la trayectoria de un punto. (Ilustración 7).

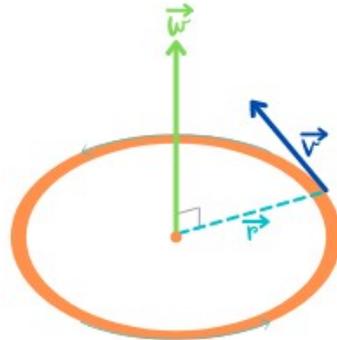


Ilustración 7 Velocidad angular y tangencial
Fuente: Elaboración propia.

Dispositivo programable: Sistema electrónico encargado de almacenar, controlar, transferir y procesar datos para fines específicos que el programador determine mediante un algoritmo que registrará su funcionamiento, el cual puede ser programado en distintos niveles de lenguaje.

Batería automotriz: Fuente de energía capaz de convertir energía química en energía eléctrica que alimenta a los diferentes circuitos del automóvil. En su interior se hallan celdas con electrodos positivos y negativos sumergidos en un electrolito que permite el flujo de corriente. Tiene la capacidad de ser recargada y suministrar grandes corrientes.

PWM: Modulación por ancho de pulso es una forma de transmitir señales analógicas

Transductor: Dispositivo capaz de convertir una determinada manifestación de energía en la entrada, a otra de salida.

Sensor: Transductor que interactúa con un tipo específico de energía y la convierte en señales de naturaleza eléctrica principalmente.

Actuador: Transductor que recibe generalmente señales eléctricas y produce a su salida otro tipo de energía (acústica, lumínica, mecánica, etc.).

Resistor: Elemento eléctrico que limita el flujo de corriente.

Capacitor: Elemento que almacena energía en su interior debido a la creación de un campo eléctrico.

Transistor: Dispositivo empleado para controlar el flujo de corriente eléctrica entre las terminales de Colector y Emisor, por medio de la aplicación de corriente en la Base. Se encuentran en dos presentaciones: NPN y PNP.

MOSFET: Dispositivo que se encarga de controlar una carga eléctrica en sus dos salidas Drain y Source, a partir de un voltaje en la entrada Gate.

Diodo: Elemento que conduce corriente eléctrica en un solo sentido en polarización directa. En polarización inversa evita el paso de la corriente.

Regulador de voltaje: Dispositivo que tiene la capacidad mantener un nivel de voltaje constante y regularlo a partir de una señal de entrada.

Puente H: Circuito eléctrico basado en transistores que permite el control de velocidad y sentido de giro de un motor de corriente directa por modulación de ancho de pulso.

Carga: Una carga en un circuito eléctrico representa cualquier componente que presente un consumo de energía con un propósito específico.

Motores: Son dispositivos que mediante la presencia de campos magnéticos transforman energía eléctrica de entrada en energía mecánica.

Actuador lineal: Dispositivos que implementan un motor para, por medio de mecanismos, transformar su giro en un desplazamiento lineal.

Servomotor: Dispositivo que, basado en el uso de potenciómetro, engranes y motores DC que permite controlar con precisión la posición del eje de salida por medio de PWM

PCB: También conocido como placa de circuito impreso, es una superficie de material aislante sobre el que se trazan líneas de material conductor conocidos como pistas, que unen los diferentes elementos que conforman un circuito eléctrico.

Placa fenólica: Es una pieza aislante que cuenta con elementos con perforación para introducir componentes eléctricos para el diseño de un circuito eléctrico.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede diseñar, desarrollar e implementar un prototipo de un sistema electrónico de control de apertura aplicable a una puerta del automóvil?

Si bien existen diferentes productos relacionados al tema, después de un exhaustivo análisis se han identificado diversas características en éstos.

Por ejemplo, el sistema Ford Door Edge Protector diseñado por la norteamericana Ford Motor Company e implementado en su modelo Focus desde 2012 trata básicamente de una goma protectora que emerge al abrir, la cual protege únicamente el borde de la puerta del propietario, además de dejar de lado la integridad de vehículos ajenos por su falta de control, en este caso electrónico, que permita monitorear el entorno en el que se abrirá la puerta. (EL INFORMADOR, 2011)

Ahora bien, el producto Slamstop desarrollado por la empresa rusa del mismo nombre puede ser implementado en distintos modelos de vehículos desde el 2012, el cual aborda el cierre automático de la puerta cuando ésta se encuentra cerca del marco y permite la detección de obstáculos que impidan el cierre, sin embargo, no evita la colisión de la puerta ni está pensado para su apertura. (Gutián Vizoso, 2014)

Por otra parte, el sistema Contact Sensor System diseñado por la empresa alemana Continental en 2020 detecta objetos externos cuando entran en contacto con la carrocería, es decir, que no se trata de un sistema preventivo, más bien, uno de detección de daños posterior a haberlos sufrido. (LA VANGUARDIA, 2020)

El prototipo Mobility Door creado por la marca inglesa Jaguar Land Rover en 2018 para sus autos, permite la apertura de la puerta, pero este producto está diseñado para vehículos de alta gama orientado a un público reducido. (Jaguar Land-Rover, 2018)

Lo mismo sucede con el sistema incluido en el modelo X de Tesla que salió a la venta en el año 2015. Son autos de alto costo y, por ende, un usuario promedio no tiene el beneficio de acceder a este tipo de sistemas. (Juárez, 2015)

Por ello el desarrollo de un prototipo que abra adecuadamente la puerta resulta de gran interés; el reto principal será obtener un sistema que proteja de manera efectiva tanto la propiedad del usuario (puerta del vehículo) como la ajena (vehículos u otros objetos) al prevenir el tipo de contactos que generarían daños para cualquiera de los interesados y además que sea adaptable a un vehículo común siendo accesible para el público en general.

JUSTIFICACIÓN

Se llevó a cabo una investigación sobre problemáticas relacionadas con el vehículo en general, tales como el aumento vehicular en América Latina, así como la reducción de espacios de estacionamiento y los errores humanos que en conjunto desembocan en mayores incidentes (golpes, ralladuras y abolladuras a la carrocería), los cuales son causa indirecta de daños al medio ambiente debido al uso de productos químicos para las reparaciones y que están constituidos principalmente por hidrocarburos que generan contaminación en aire, agua y suelo, y al mismo tiempo la exposición a éstos agentes afecta la salud de las personas. Además, se han investigado y analizado sistemas similares al proyecto en curso, en los cuales se sustenta la posibilidad de desarrollar el mismo.

El Ford Door Edge Protector diseñado por Ford Motor Company de Alemania se instaló en un modelo Focus 2012 y cuenta con una goma protectora que se encaja en el borde de la puerta mediante un mecanismo que se acciona al abrirla, esto evita que el borde más lejano de la puerta se dañe. (EL INFORMADOR, 2011)

Con respecto al Slamstop desarrollado por la empresa rusa Slamstop, el cual puede ser implementado en cualquier modelo de vehículo desde el 2012, tiene como función principal el realizar un cierre de puerta suave ya que el usuario únicamente debe acercar la puerta al marco y el sistema se encargará de cerrarla. Además, implementa sensores que detectan la interferencia de algún objeto con el cierre para evitar daños. (Guitián Vizoso, 2014)

El Contact Sensor System, propiedad de la compañía alemana Continental presentado en el año 2020 en el Consumer Electronics Show (CES 2020), es un sistema electrónico capaz de detectar el contacto de objetos con la carrocería del automóvil. El sistema incluye sensores distribuidos a lo largo de todo el coche que detectan el sonido producido por diferentes tipos de contacto, por lo que si son activados se podrán tomar fotografías, emitir una alarma o enviar información a un teléfono inteligente, con el objetivo de que el propietario del coche esté informado sobre los hechos. (LA VANGUARDIA, 2020)

El sistema Mobility Door de la compañía británica Jaguar-Land Rover implementado en el 2018 en una Ranger Rover Sport, el cual utiliza sensores de radar y la actual tecnología de acceso sin llave que detecta al usuario para abrir la puerta al recibirlo o cerrarla en caso de que éste se aleje del auto. Cuando se encuentre dentro del vehículo, el pasajero podrá cerrar la puerta mediante un botón. (Jaguar Land-Rover, 2018)

El fabricante estadounidense Tesla implementó en su vehículo eléctrico Model X desde el 2015 el sistema Invisible Butler, el cual permite la configuración de puertas para una apertura automática. Desde el interior el usuario podrá indicar a través de una pantalla táctil que requiere abrir una puerta, entonces el sistema realizará la apertura al mismo tiempo que monitorea obstáculos por medio de sus

sensores ultrasónicos. Por el contrario, fuera del coche el usuario utilizará la llave para indicar qué puerta desea abrir. Cuando se detecta algún objeto, la apertura se detiene y la puerta queda anclada en una posición segura. También cuenta con la tecnología de acceso sin llave o keyless en inglés; cuando el usuario se aleje, la puerta se cerrará y al acercarse, ésta se abrirá. (Juárez, 2015)

El primer trabajo relacionado al tema del proyecto es una tesis de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en el 2011, la cual está enfocada en controlar el cierre de puertas vehiculares de forma inalámbrica detectando obstrucciones mediante sensores. (Escamilla Gutiérrez & Hernández Pacheco, 2011)

El siguiente trabajo desarrollado en el Instituto Politécnico Nacional en el 2016 busca implementar un sistema de automatización de puertas deslizables para vehículos comerciales, ya sea de uso particular o para el transporte de pasajeros, siendo su principal objetivo disminuir los daños en el brazo del operador. (Castro Alatorre, 2016)

Otra tesis realizada en la Universidad Internacional del Ecuador en el 2010 trata sobre el desarrollo de un sistema que mediante sensores realizan la apertura de puertas de un autobús en paradas autorizadas del servicio urbano en el distrito metropolitano de Quito. (Játiva Haro, 2010)

La siguiente tesis llevada a cabo por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Ecuador en 2015, habla sobre la construcción de un prototipo de un parqueadero interactivo automatizado para el laboratorio de la escuela de ingeniería industrial de la ESPOCH, donde se muestra una maqueta en la que una puerta corrediza permite la entrada de un vehículo al recinto. (Tixilema Poquiza, 2015)

El trabajo realizado por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en el 2008 trata sobre la implementación de estacionamientos disponibles para cinco niveles de una unidad habitacional y para el que se automatizará una puerta enrollable de acción rápida, con apertura y cierre vertical para acceder a dichos espacios a través de un elevador. (Novoa Domínguez & Quijada Camacho, 2008)

A partir de lo anterior este trabajo se enfocará en diseñar, desarrollar e implementar un prototipo de un sistema electrónico de control de apertura aplicable a una puerta del automóvil con la finalidad de asistir al usuario ya que se ha evaluado, a partir de las características de los sistemas anteriormente mencionados, que es posible emprender este proyecto por las similitudes que comparten, además de que la automatización de una puerta de un vehículo carece de investigación académica.

ALCANCES

A continuación, se enlistan las condiciones en las que el prototipo desarrolló su funcionamiento correctamente al abrir la puerta del vehículo en el que se implementó sin colisionar con los objetos en cada prueba como se muestra en la sección de *PRUEBAS FINALES* y algunas especificaciones sobre las tareas que realiza para dar a conocer los alcances que tiene.

- El prototipo se implementó en una sola puerta del automóvil
- El vehículo estuvo estacionado durante todo momento
- Las pruebas se realizaron con el vehículo encendido
- No se realizaron modificaciones permanentes al vehículo de trabajo
- El sistema debe indicar al usuario la función que desempeña en cada estado
- Debe contar con la protección eléctrica necesaria para preservar la integridad del sistema
- El sistema no es relativamente invasivo con el espacio del usuario
- Al indicar la apertura el sistema detecta la distancia inicial y si es mayor a 40cm abrirá automáticamente
- El sistema implementa un solo conjunto radar que protege una zona del borde de la puerta
- El sistema implementa un solo conjunto laser-fotorresistencia que protege una zona del cuerpo de la puerta
- El actuador que abre la puerta tarda en abrirla menos de un minuto
- El sistema quita los seguros antes de iniciar la apertura
- El sistema pone los seguros al cerrar la puerta

PARTE II. DESARROLLO

CONOCIMIENTO DEL ENTORNO DE ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DE BASES PARA EMPRENDER EL PROYECTO

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PUERTA DEL VEHÍCULO

El prototipo se implementó en un vehículo Pathfinder de la marca japonesa Nissan modelo 1998 de transmisión automática (Ilustración 8).



*Ilustración 8 Pathfinder 1998
Fuente: Elaboración propia*

Cualquier puerta de un vehículo para pasajeros consiste en dos materiales principales para la estructura y revestimiento: por fuera el material generalmente es de aluminio y por dentro constituido por polímeros. En el interior se instalan y colocan los botones de interacción entre el usuario y la máquina. El cableado para dichos botones se encuentra oculto por el panel.

Las tres conexiones más importantes de la puerta de un auto con accesorios eléctricos son: el cableado y motor para el movimiento de la ventana, el cableado para bloquear o desbloquear los seguros y el cableado para la bocina. En algunas ocasiones también existe el cableado para mover los espejos laterales.

Todas estas conexiones convergen en un arnés que embona con su contraparte para hacer de las conexiones más robustas y duraderas.

El vehículo incorpora distintos tipos de testigos luminosos que notifican al conductor sobre el estado general de diferentes sistemas, para la puerta en particular se presenta el “Door opening warning light” que da aviso sobre una puerta abierta (Ilustración 9).



*Ilustración 9 Testigo luminoso de puertas abiertas
Fuente: Elaboración propia*

La puerta del piloto cuenta con un panel de control destinado al cierre y apertura tanto de su propia ventana, como de las restantes. Accionar el switch hacia arriba cierra la ventana, por el contrario, presionarlo la abre. En el panel de control, también se ubica el botón de bloqueo de vidrios que al accionarse evita la manipulación de las otras ventanas, lo cual es útil especialmente cuando entre los pasajeros hay niños. (Ilustración 10)



*Ilustración 10 Panel de control de ventanas.
Fuente: Elaboración propia.*

Es posible accionar mecánicamente el seguro de la puerta desde el exterior mediante la llave, insertándola en el cilindro y girándola a la dirección correspondiente (Ilustración 11).



*Ilustración 11 Sistema de apertura y cierre para llave
Fuente: Elaboración propia*

En el interior se encuentra un accionamiento mecánico de seguros que permite al usuario controlar el estado de estos (Ilustración 12).



*Ilustración 12 Mando de bloqueo mecánico en el interior de la puerta
Fuente: Elaboración propia*

Las puertas traseras cuentan con un seguro para evitar que principalmente niños las abran por accidente.

Además, el panel de control implementa un dispositivo electrónico para conductor y copiloto que puede accionar los seguros de todas las puertas (Ilustración 13).



*Ilustración 13 Mando eléctrico de seguros
Fuente: Elaboración propia*

El vehículo cuenta con un sistema eléctrico para controlar los espejos laterales que se ubican en las puertas delanteras. Tiene un botón para escoger el espejo derecho o izquierdo y una palanca para ajustarlo. También se puede ajustar de forma manual.

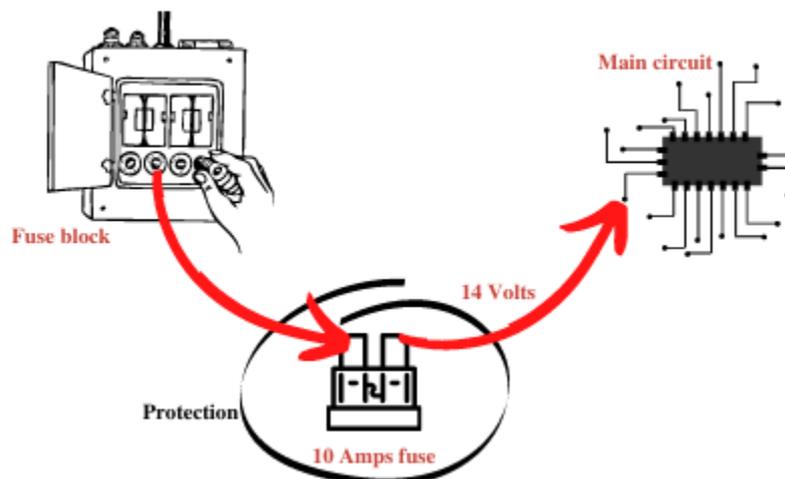
FUENTE DE ENERGÍA

La fuente que se encarga de alimentar al vehículo es una batería de la marca Gonher, modelo G-24. Cuenta con un voltaje de 12V y una capacidad de 65Ah. Sus dimensiones son 27.5 cm de largo, 17.2 cm de ancho y 22.9 cm de alto, además de tener un peso de 17.35 kg (Ilustración 14).



*Ilustración 14 Batería automotriz G-24
Fuente: Elaboración propia*

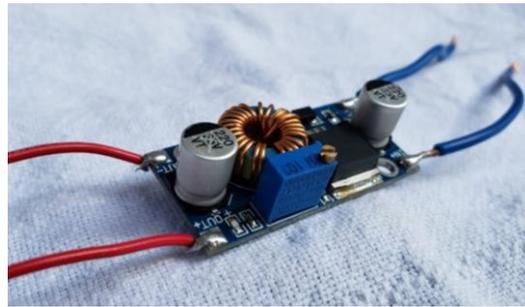
Al ser la fuente de energía inmediata del vehículo y debido a sus características eléctricas, se determinó que esta proveería la energía requerida a los componentes del proyecto, específicamente por medio de dos salidas del cuadro de fusibles (pines 19 Y 29) para que el prototipo se active únicamente con el automóvil encendido. Se implementaron portafusibles con sus respectivos fusibles tipo hoja de 10A, debido a que se consideró la protección del sistema y de los componentes del vehículo ya que estos se quemarían al tener una sobrecarga y desconectarían el sistema antes de sufrir daños (Ilustración 15).



*Ilustración 15 Conexión del circuito de protección
Fuente: Elaboración propia*

Debido a que la mayoría de los componentes operan a 5V se incluyó un regulador de voltaje XL4005 (Ilustración 16), que puede recibir de 5V a 32V para regularlos, dependiendo del valor de entrada, de 0.8V a 30V con una corriente de salida máxima de 5A. Este dispositivo resulta adecuado ya que los

elementos que se alimentan a 5V consumen entre 70 y 100mA cuando el sistema se encuentra inactivo mientras que, durante la apertura, que es cuando más dispositivos se encienden simultáneamente, se alcanzan aproximadamente 400mA.



*Ilustración 16 Módulo regulador de voltaje XL4005
Fuente: Elaboración propia*

PROCESO DE APERTURA DE UNA PUERTA

La forma de abrir una puerta de automóvil, independientemente de la marca y modelo, sigue el mismo principio: quitar el seguro, accionar el mecanismo para desenganchar la puerta y rotarla, a excepción de los autos monovolúmenes que cuentan con puertas de corredera, las cuales cuentan con una apertura vertical y no lateral como la mayoría de los vehículos.

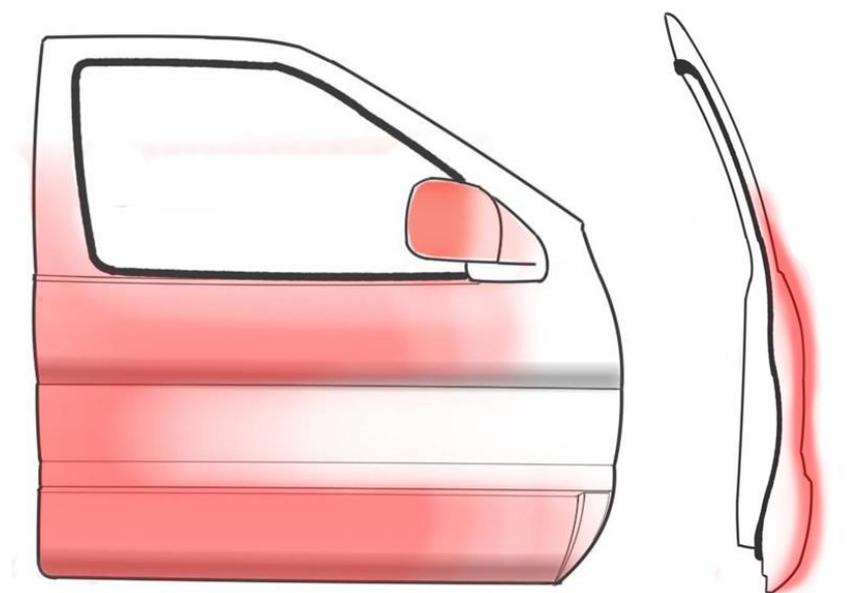
Para quitar un seguro, se puede hacer principalmente de dos formas: eléctricamente mediante el uso de un control remoto que generalmente acompaña a la llave, botones y/o switches; y de forma manual, directamente con el uso de la llave cuando el usuario se encuentra fuera del vehículo o accionando un mecanismo de varillas (pasador) o chicotes a través de un botón mientras el usuario está en el interior del vehículo.

Una vez liberado el seguro de la puerta, es posible accionar el mecanismo para desengancharla del cerrojo que se encuentra unida a la carrocería. Generalmente, tanto al interior como en el exterior, hay una manija que al rotarla realiza dicha acción de desenganche. Liberada la puerta, se realiza el movimiento de rotación aplicando una fuerza.

El vehículo del proyecto cuenta con un mecanismo manual de apertura. Consiste en dos varillas que van desde la manija hasta el núcleo del subsistema; la varilla superior está destinada al seguro, mientras que la varilla inferior se acciona con la manija.

PUNTOS VULNERABLES DE LA PUERTA

Este proceso de determinación es necesario para definir las posiciones óptimas de los sensores utilizados para monitorear el entorno, los cuales se muestran más adelante. Por puntos más vulnerables se entiende que son las zonas de la puerta que con mayor facilidad podrían recibir un golpe al abrir, basando esta consideración en que su ubicación se encuentra en bordes o es más sobresaliente con respecto a puntos más hondos en la superficie exterior de la puerta, particularmente por el diseño de la silueta del modelo Pathfinder 1998 en el que se trabajó. Se realizaron algunos bocetos con el fin de apreciar de una manera más ilustrativa las líneas de diseño de la carrocería y dichas zonas en rojo para facilitar su identificación (Ilustración 17).



*Ilustración 17 Zonas más vulnerables de la puerta determinadas, vista frontal y lateral
Fuente: Elaboración propia*

BASES PREVIAS AL DISEÑO

Antes de continuar a las siguientes secciones, es fundamental definir metodologías y procesos generales implementados durante el desarrollo del proyecto con el fin de tornar más eficiente la explicación que ofrece este documento.

METODOLOGÍA PARA COMPARAR OPCIONES

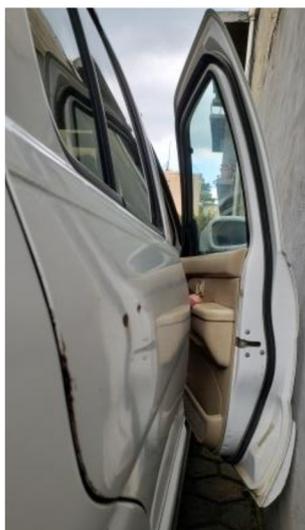
En varias secciones del desarrollo se tomaron decisiones fundamentadas en tablas comparativas que exponen las necesidades del proyecto y como las opciones las satisfacen, según el criterio propio de diseño. El puntaje tiene un rango de uno a cinco, donde una calificación alta establece un buen desempeño, mientras que una baja indica uno pobre; la suma final es la que dicta la forma de proceder.

METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

De igual forma se implementaron tablas para la escritura y organización de datos obtenidos, en estas se registran diez mediciones que se manipulan de diferente forma dependiendo del propósito de cada tabla. En las tablas solo se muestran las diez mediciones de mayor relevancia, en el resto de ellas la cantidad colocada ya muestra el promedio final.

DISTANCIA MÍNIMA PARA LA APERTURA

Es necesario determinar un recorrido mínimo de la puerta ya que, en algunas ocasiones, aunque sea posible abrir la puerta el espacio ni siquiera será suficiente para el descenso (Ilustración 18).



*Ilustración 18 Demostración de espacio insuficiente para descender
Fuente: Elaboración propia*

Debido a esto, se establece una variable que sea útil para notificar al usuario si la apertura será la adecuada para apenas salir del vehículo antes de ejecutar cualquier otro comando. Este dato se obtiene mediante el promedio de varias mediciones de apertura de la puerta tomadas a quince sujetos de prueba

de diferente edad y anatomía. Como puede observarse en la imagen se midió el segmento A-B, que es la distancia con la que cada sujeto difícilmente desciende del vehículo (Ilustración 19).



Ilustración 19 Demostración del descenso con espacio mínimo
Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que, al tratarse de una variable, esta puede ser modificada para fines específicos si es indispensable para algún usuario que requiera una distancia mayor para salir del vehículo adecuadamente. A continuación, se muestra la tabla de resultados obtenidos donde el promedio resultó ser 40.77cm, dato utilizado en la programación como lectura mínima para abrir automáticamente cuando se indique, y se aclara que únicamente es de utilidad para fines de este proyecto ya que se sabe que la muestra con la que se trabajó no representa a un gran sector de la población.

Tabla 2 Apertura mínima, mediciones

Sujeto No.	Edad	Apertura mínima (cm)
1	21	38.50
2	15	39.00
3	81	44.00
4	16	38.00
5	15	37.00
6	55	45.00
7	18	38.00
8	21	43.00
9	45	42.50
10	39	43.00
11	41	44.00
12	67	47.50
13	43	37.50
14	26	39.50
15	13	35.00
Promedio		40.77

FUERZA REQUERIDA PARA DESPLAZAR LA MANIJA

Fue necesario obtener mediciones de la fuerza requerida para accionar la manija y liberar la puerta, principalmente para determinar el dispositivo capaz de ejecutar esta acción. Mediante una báscula se tomaron varias mediciones de fuerza (Ilustración 20).

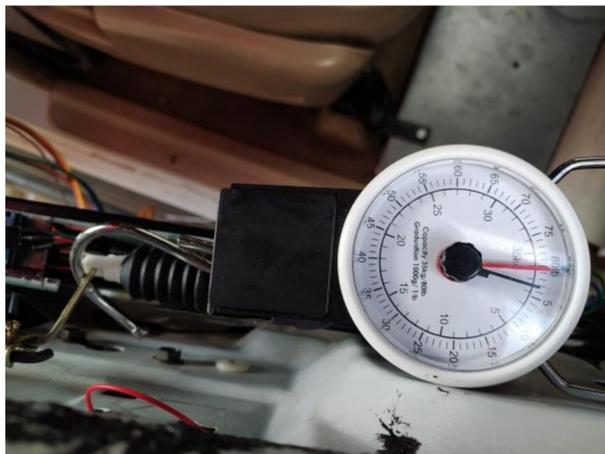


Ilustración 20 Posicionamiento de la báscula
Fuente: Elaboración propia

Se realizó el proceso de medición de la siguiente manera: con una pieza metálica atornillada con la varilla de accionamiento y una segunda varilla de transmisión de movimiento, se colocó el gancho de la báscula a la segunda varilla y se aplicó fuerza de manera paralela con la primera. La báscula cuenta con dos agujas, una de color rojo que va midiendo la fuerza y una de color negro que registra la medición de mayor valor. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 3 Mediciones de fuerza para la liberación de la puerta

Medición	Fuerza necesitada(lbf)
1	3.5
2	4
3	3.2
4	3.5
5	3.7
6	3
7	3.5
8	3.9
9	3.7
10	3
Promedio:	3.5
(kgf):	1.589

De acuerdo con la tabla anterior, es necesario emplear un dispositivo que proporcione una fuerza superior a 1.589kgf.

CARRERA QUE DEBE RECORRER LA VARILLA DE APERTURA PARA DESANCLAR LA PUERTA

Para conocer el valor de la carrera de desplazamiento se desmontó la tapa interna de la puerta para dejar al descubierto el mecanismo. Se midió la distancia máxima de recorrido de la varilla, el cual resultó ser aproximadamente de 15.8mm. Sin embargo, para liberar la puerta el desplazamiento lineal es de aproximadamente 10.7mm. Este dato es útil para verificar si la carrera del actuador universal es suficiente (19mm, consultar anexo 2).

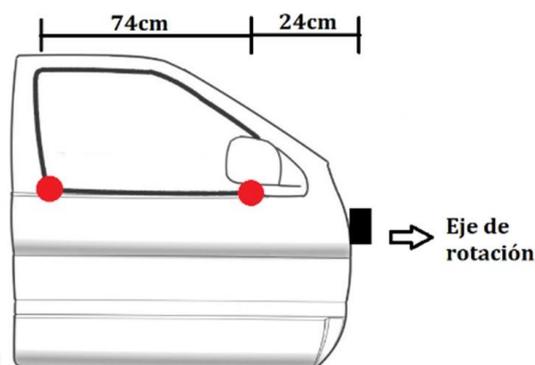
FUERZAS PARA LA APERTURA DE LA PUERTA

Es necesario determinar las fuerzas necesarias para la apertura de la puerta y así elegir el actuador con la potencia requerida para desarrollar esta tarea. Para realizar las mediciones se utilizó nuevamente la báscula como herramienta (Ilustración 21).



*Ilustración 21 Puntos cercano y lejano de aplicación de fuerza
Fuente: Elaboración propia*

Las mediciones se realizaron en dos extremos de la puerta. La fuerza necesaria es inversamente proporcional a la distancia del eje de rotación de la puerta; a mayor distancia, menor fuerza y a menor distancia, mayor fuerza (Ilustración 22).



*Ilustración 22 Puntos de sujeción de la báscula
Fuente: Elaboración propia*

Los datos se muestran en la siguiente tabla. La transformación de lbf a N se obtiene al multiplicar el promedio obtenido por 0.454kgf/lbf y 9.81N/kgf.

Tabla 4 Mediciones de fuerza

Medición	Punto alejado (lbf)	Punto cercano (lbf)
1	8	43
2	8.8	44
3	8.0	43.8
4	8.3	40.2
5	8.5	42.3
6	8.2	42.2
7	8.9	41.1
8	7.9	39.1
9	8.2	43.2
10	8.3	43.8
Promedio:	8.31	42.27
kgf:	3.77	19.17
N:	37N	188.25N

Los resultados obtenidos son útiles para verificar si la fuerza que puede desarrollar el actuador es suficiente como se muestra en la sección *SUBSISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE LA PUERTA*

SIMETRÍA DE APERTURA TOTAL DE LA PUERTA

Para garantizar la carrera adecuada del actuador, es indispensable determinar las características de la apertura máxima de la puerta, que evite un giro excesivo resultando en daños a algún componente. Se abrió totalmente la puerta y se observó un triángulo que se consideró rectángulo, con las siguientes medidas: 167mm de base, 254 mm de alto y un ángulo calculado de 56.68°. Con esto se determinó que el actuador de 3000mm de carrera era suficiente (Ilustración 23).

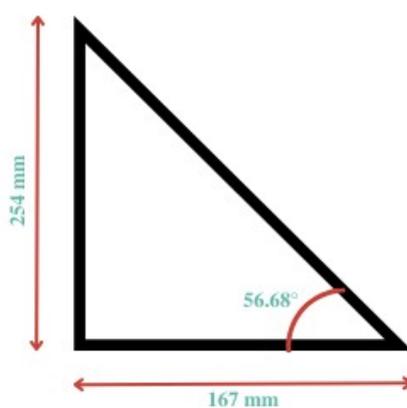


Ilustración 23 Simetría de la apertura total
Fuente: Elaboración propia

MEDICIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA DE CONTROL DE SEGUROS

Para diseñar un sistema que sea duradero se necesitan conocer los valores de voltaje y corriente que maneja. Por ello se realizaron mediciones de voltaje y corriente al activar y desactivar los seguros.

Tabla 5 Mediciones de voltaje y corriente al activar y desactivar el sistema.

Medición	Voltaje (V)	Bloqueo	Desbloqueo
		Corriente (mA)	Corriente (mA)
1	11.42	3.41	0.97
2	11.42	4.74	2.4
3	11.43	1.23	2.35
4	11.42	2.91	3.16
5	11.43	5.24	5.13
6	11.43	3.84	4.77
7	11.42	5.18	5.08
8	11.43	4.83	4.98
9	11.42	4.23	4.85
10	11.42	2.60	5.09
Promedio:	11.424	3.321	3.878

Los resultados de corrientes indican que podrían conectarse directamente los pines de seguros al dispositivo programable, sin embargo, los valores de voltaje hacen necesario el diseño de un driver.

NIVELES LÓGICOS DEL SISTEMA DE SEGUROS

Debido a que cierta información sobre los sistemas de casi cualquier automóvil es de difícil acceso o restringida, ya sea por secreto industrial o derechos de autor, por ejemplo, y además de que los datos brindados por el fabricante en el manual usado para esta sección no fueron suficientes para lograr consolidar un sistema, se llevó a cabo un ejercicio de experimentación para determinar los niveles lógicos de la unidad de control del sistema de seguros. Se utilizó el regulador de voltaje LM2596, se unieron las tierras del dispositivo y la del sistema, mientras que la salida de voltaje positiva del regulador se conectó con el pin de entrada de señal primero al que activa y después al que desactiva los seguros. El voltaje se fue variando desde 11.2V, que es el voltaje de los pines de control, hasta 0V descendentemente (Ilustración 24).

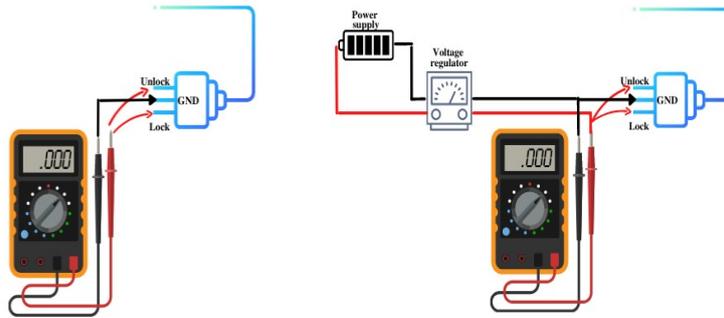


Ilustración 24 Conexiones de medición de corriente (izquierda) y voltaje (derecha)
Fuente: Elaboración propia

La teoría indica que al igualar los voltajes de los pines de control y del regulador, el sistema no se activaría o estaría en el rango del uno lógico, en cambio al reducirlo a cierto valor, la diferencia de potencial sería tal que activaría el sistema o entraría al rango del cero lógico. Las mediciones del valor en que se observó el cambio de estado lógico se muestran a continuación.

Tabla 6 Valores de cambio de estado lógico descendente en la unidad de control de seguros

Medición	Cambio de estado al bloquear (V)	Cambio de estado al desbloquear (V)
1	3.32	3.26
2	3.33	3.27
3	3.31	3.28
4	3.33	3.27
5	3.32	3.28
6	3.33	3.27
7	3.32	3.28
8	3.31	3.28
9	3.33	3.29
10	3.31	3.27
Promedio	3.321	3.275

Es decir que, para el sistema de seguros se estima que la unidad de control detecta un valor de cero lógico entre 0V y 3.275V, mientras que para un uno lógico se debe enviar una señal de entre 3.321V al voltaje de la batería siendo el rango entre 3.275V y 3.321V un estado indeterminado (Ilustración 25).

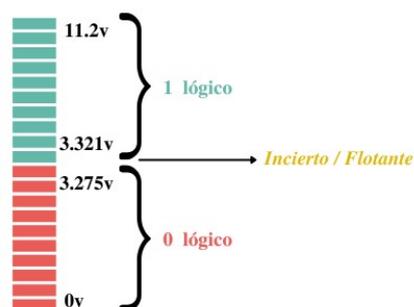


Ilustración 25 Rango de estados lógicos de los seguros
Fuente: Elaboración propia

RESUMEN DE DATOS

A continuación, se muestra un compendio de los resultados obtenidos en la sección anterior para facilitar la identificación de datos.

Tabla 7 Recopilación de resultados de la sección de conocimiento del entorno de estudio

Descripción	Valor	Unidad
Distancia mínima de apertura de la puerta	40.77	Cm
Fuerza de accionamiento de varilla	1.589	Kgf
Carrera mínima de actuador de manija	10.7	mm
Fuerza apertura de la puerta en el punto más alejado del eje	37	N
Fuerza apertura de la puerta en el punto más cercano al eje	188.25	N
Carrera mínima de actuador de accionamiento de la puerta	254	mm
Promedio de voltaje en el sistema de seguros del vehículo	11.424	V
Promedio de corriente en el desbloqueo de seguros	3.878	mA
Promedio de corriente en el bloqueo de seguros	3.321	mA
Valor de cambio de estado lógico al desbloquear seguros del vehículo	3.275	V
Valor de cambio de estado lógico al bloquear seguros del vehículo	3.321	V

SUBSISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE MANIJA

El primer desafío planteado fue el desarrollar un subsistema capaz de liberar la puerta de la carrocería, por lo que fue necesario conocer el sistema previamente, así que se desmontó la cara interior de la puerta. Se siguieron paso a paso las instrucciones que provee el fabricante en el manual del modelo Pathfinder 1998, particularmente en el capítulo del BODY TRIM, sección BT-17 “DOOR TRIM” (consultar anexo 1). El mecanismo consiste en una manija que actúa como palanca, un resorte de torsión doble que se opone al movimiento para regresar el sistema a su estado inactivo, así como una serie de varillajes que conectan la manija con el gancho que sujeta la puerta a la carrocería (Ilustración 26).



*Ilustración 25 Mecanismo de manija
Fuente: Elaboración propia*

Como se puede observar en la sección *FUERZA REQUERIDA PARA DESPLAZAR LA MANIJA* de este documento, la tabla 3 expone los métodos de medición que resultaron en las bases para crear un subsistema adaptado a los requerimientos del proyecto necesarios para accionar la manija. A continuación, se muestra el desarrollo.

UBICACIÓN DEL SUBSISTEMA PARA ACCIONAR LA MANIJA

Se realizó un ejercicio objetivo para definir la ubicación del subsistema en el cual se evalúan dos opciones, la externa se refiere a conservar la tapa de la puerta que da al habitáculo y colocar el subsistema en la misma, mientras que la interna trata sobre retirarla para trabajar sin ella.

Tabla 8 Evaluación de la ubicación del subsistema.

Requerimientos	Con tapa	Sin tapa
Espacio disponible	●●●●	●●●●
Facilidad de colocación	●●●●	●●●●●
Diseño de menor complejidad	●●●	●●●●
Estética, el sistema no debe notarse tanto	●●●●	●●●
No debe ser invasivo con el usuario	●●●	●●●●
No debe interferir con otros sistemas del auto	●●●●	●●●
No se deben realizar modificaciones al auto	●●●●	●●●●
Fácil acceso al sistema	●●●	●●●●
Evaluación	29	36

Al evaluar los resultados se concluyó que un subsistema instalado sin la tapa de la puerta sería la mejor opción para este proyecto ya que, a pesar de ser en cierta forma poco estético y que al estar más cerca de otros sistemas o mecanismos de la puerta tendría más probabilidad de interferir con ellos, se cuenta con un espacio de trabajo amplio, es más fácil de colocar, no se requiere un diseño tan complejo, se evita la necesidad de hacer modificaciones permanentes al vehículo y es, posteriormente a la colocación, de fácil acceso si algún tipo de mantenimiento es necesario.

ELECCIÓN DEL ACTUADOR

Se propusieron dos dispositivos que podrían sustituir el papel de manija accionando sólo el varillaje. Los requerimientos se compararon en base al criterio de diseño para definir qué actuador utilizar.

Tabla 9 Determinación del tipo de actuador

Requerimientos	Servomotor	Actuador universal
Compactibilidad	●●●●●	●●●●
Control preciso	●●●●	●●●●●
Facilidad de uso	●●●●	●●●●●
Compatibilidad con entornos de desarrollo	●●●●●	●●●●
Capacidad de trabajo con batería automotriz	●●●	●●●●●
Precio	●●	●●●●
Evaluación	23	27

Como se aprecia en la tabla anterior, el actuador universal resultó ser la mejor opción ya que es relativamente compacto, preciso, de uso sencillo por medio de una sola señal eléctrica, adaptable al automóvil y económico.

El modelo seleccionado es un actuador universal (Ilustración 27) que funciona con un voltaje de 12V, incluye piezas metálicas adicionales que permiten su conexión a mecanismos para transmitir una fuerza de 2.5kgf (consultar anexo 2), mayor a los 1.9kgf resultado de aplicar un factor de protección de 20% a los 1.589kgf necesarios para mover la varilla de la manija como se muestra en la tabla 7.



*Ilustración 26 Actuador universal
Fuente: Elaboración propia*

CONSUMO

El consumo de corriente de este dispositivo dependerá de la fuerza que tenga que vencer en la carga, y de acuerdo con las mediciones realizadas durante su funcionamiento, se pudo reportar un pico de corriente de más de 7A.

Debido a esto, en la sección *CIRCUITO ELÉCTRICO DEL SISTEMA* se explica la implementación de la etapa de potencia y control del actuador.

SUBSISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE SEGUROS

Se determinó factible controlar el sistema integrado en el vehículo, por lo que se realizó un estudio sobre su funcionamiento; el modelo Pathfinder 1998 cuenta con un sistema de seguros eléctricos que pueden ser activados o desactivados mediante switch. Para esta sección el objetivo fundamental fue el control de seguros de la puerta mediante señales de un dispositivo programable externo al vehículo. Debido a esto, fue necesario estudiar el sistema; el manual del fabricante proveyó la información necesaria, en particular el capítulo ELECTRICAL SYSTEM, sección EL-170 “POWER DOOR LOCK” (Ilustración 28) que muestra los diagramas de conexiones de los dispositivos de los seguros ilustrando sobre el funcionamiento del circuito, así como una breve explicación de ubicación y configuraciones.

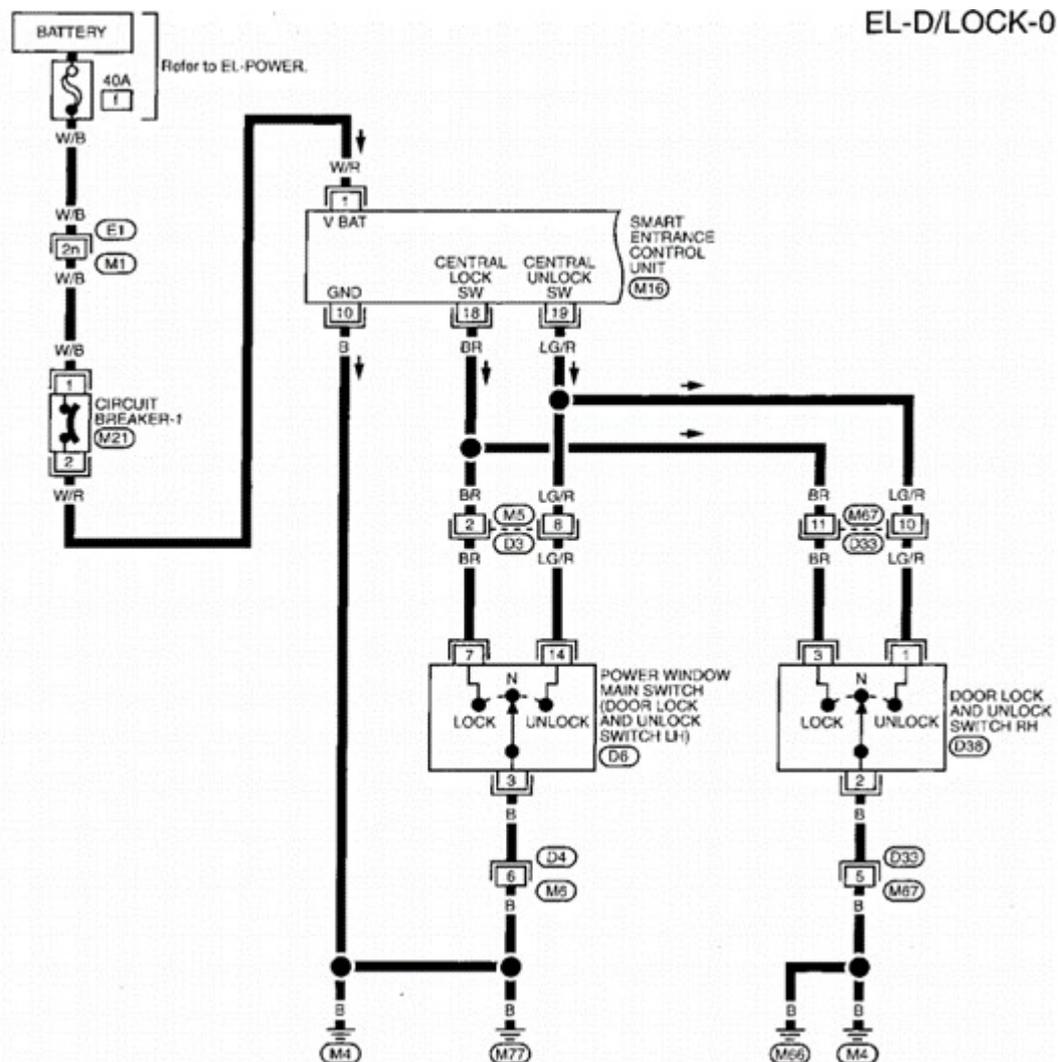


Ilustración 28 Diagrama eléctrico de seguros Pathfinder 1998¹¹

¹¹ Nota. Tomado de Manual EL Pathfinder 1998 por Nissan (imagen), 1998 Todos los derechos reservados.

Del diagrama anterior se observa que la unidad de control es alimentada directamente por la batería del auto, además de que cuenta con un *fusible link* y un *circuit breaker* como protección. Más importante aún, se identificó el switch de la puerta con la que se trabajó el cual tiene el sufijo RH, y se trata de un interruptor de un polo tres tiros normalmente abierto activo en bajo.

También se señalan las configuraciones de los pines, así que después de identificarlos se determinó que para bloquear los seguros se necesitaba cerrar el circuito en los nodos 3-2, o más bien, enviar cero al pin 18 de la unidad de control, mientras que para desbloquear los seguros el circuito a cerrar era por medio de los nodos 1-2, es decir, enviar un cero al pin 19 (Ilustración 29).

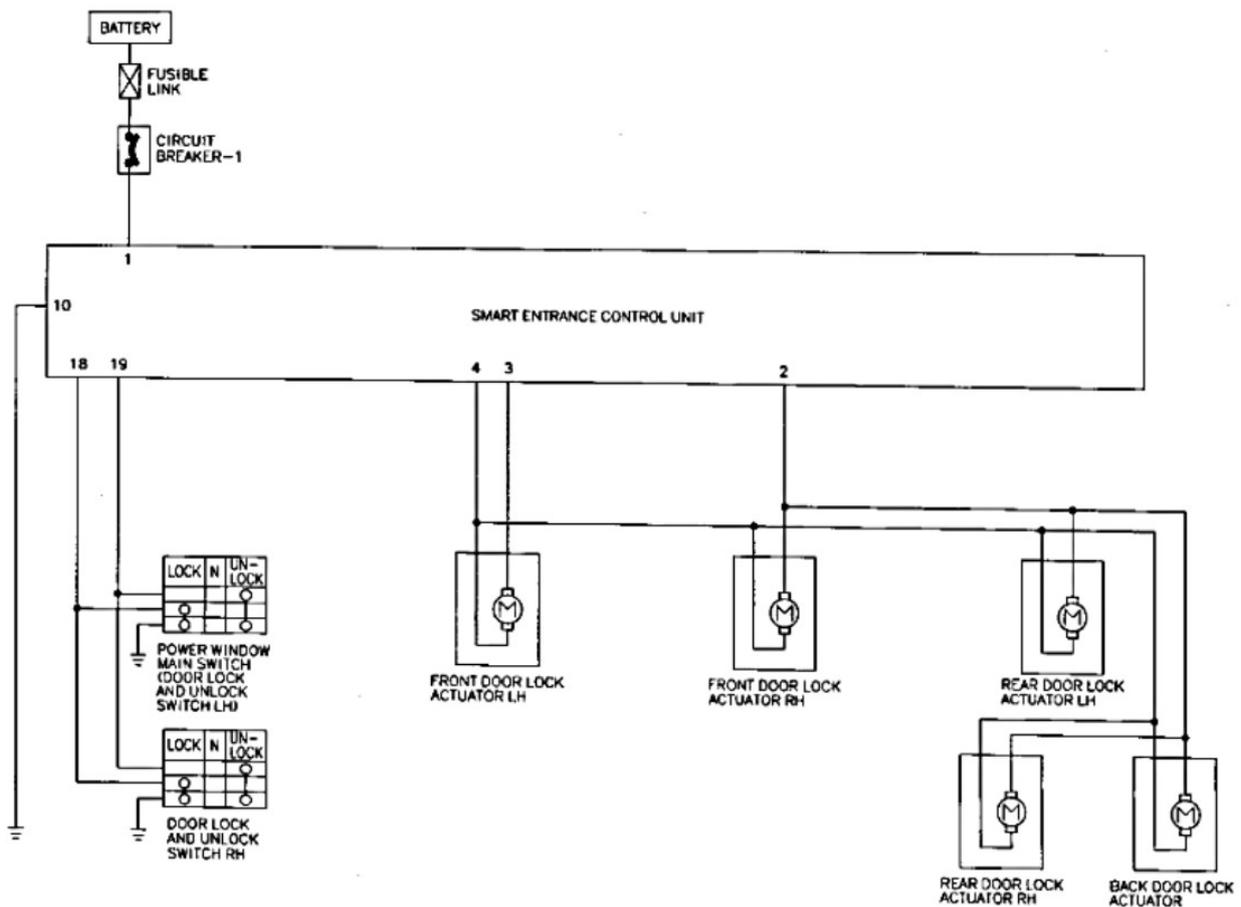


Ilustración 29 Localización de pines de control de seguros eléctricos¹²

¹² Nota. Tomado de Manual EL Pathfinder 1998 por Nissan (imagen), 1998 Todos los derechos reservados.

ACTUADOR DEL DESBLOQUEO ELÉCTRICO DE LOS SEGUROS

El sistema eléctrico de seguros incorporado consiste en un actuador con sistema de engranajes internos que cuenta dos posiciones de salida para bloquear y desbloquear el anclaje de la puerta. Se encuentra instalado en las inmediaciones del elemento de retención, por lo que ya no fue necesario realizar una instalación adicional sino más bien, hacer uso de este mismo elemento, lo que se tradujo en ahorro de tiempo y dinero (Ilustración 30).

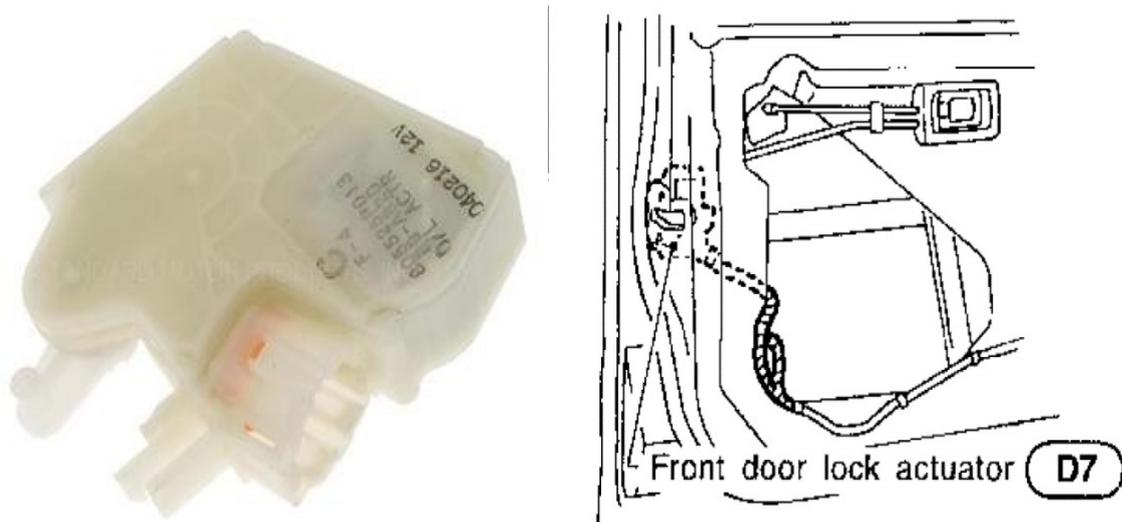


Ilustración 30 Actuator de seguros eléctricos¹³ y su ubicación¹⁴

Debido a que el sistema de seguros se activa en bajo y está conectado directamente a la fuente del vehículo se consideró un riesgo la conexión directa al dispositivo programable, por lo que se diseñó el driver para este subsistema como se muestra en la sección *CIRCUITO ELÉCTRICO DEL SISTEMA*.

¹³ Nota: Tomado de mundorepuesto.com por mundorepuesto(imagen), Todos los derechos reservados.

¹⁴ Nota. Tomado de Manual EL Pathfinder 1998 por Nissan (imagen),1998 Todos los derechos reservados.

SUBSISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE LA PUERTA

En esta sección se describe el proceso de diseño desarrollado con el objetivo de obtener un subsistema capaz de proporcionar la fuerza de empuje para el accionamiento de la puerta. Por lo tanto, se evaluó el comportamiento de la puerta durante la apertura y como se expuso anteriormente, en la sección del marco teórico, el modelo Pathfinder 1998 cuenta con un sistema de puerta convencional, el cual en la apertura desarrolla un movimiento rotacional cuyo eje se basa en un sistema de doble bisagra apoyado directamente en la carrocería, además cuenta con una barra guía que tiene un tope para evitar la apertura excesiva (Ilustración 31).



Ilustración 31 Sistema de soporte mecánico de la puerta Pathfinder 1998
Fuente: Elaboración propia

ELECCIÓN DEL TIPO DE ACTUADOR

Ante la gran variedad de dispositivos que podrían desempeñar la tarea de esta sección del proyecto, se analizaron únicamente un par de opciones. A continuación, se muestra una tabla comparativa para la definición del actuador que se implementó.

Tabla 10 Definición del tipo de actuador para el accionamiento de la puerta

Puntos de evaluación	Actuador lineal	Motor DC
Facilidad de implementación	●●●●●	●●●
Estética en el vehículo	●●●	●●
Uso eficiente de espacio	●●●	●●
Facilidad de alimentación	●●●●	●●●●
Accesibilidad	●●●●	●●●●
Resultado (puntos):	19	15

Por medio de la tabla anterior, se concluyó que el tipo de actuador más adecuado para el sistema sería de tipo lineal debido principalmente a la facilidad de implementación y al uso eficiente del espacio.

ELECCIÓN DEL ACTUADOR LINEAL

Con los datos Fuerza apertura de la puerta en los puntos más alejado y el más cercano al eje de la puerta, de la tabla 7 se determinó que el actuador lineal JS-TGZ-U2, el cual se alimenta a 12V DC para desarrollar un recorrido total de 300mm a 6mm/s, cumple con el objetivo de esta sección principalmente porque es capaz de proporcionar una fuerza de 1500N durante el avance o retroceso. Esto es suficiente ya que, es posible obtener la fuerza que debe desempeñar el actuador cuando su punto de aplicación de fuerza se encuentra aproximadamente a 20cm del eje de giro, por medio de la fórmula de punto pendiente.

Considerando (X_1, Y_1) como (37N, 74cm) y (X_2, Y_2) como (188.25N, 24cm)

La pendiente

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{24 - 74}{188.25 - 37} = -\frac{40}{121}$$

Considerando X como variable, obtenemos:

$$X = \frac{Y - Y_1}{m} + X_1$$

Entonces, para $Y=20$ cm:

$$X = \frac{Y - Y_1}{m} + X_1 = \frac{20 - 74}{-\frac{40}{121}} + 37 = 200.35N < 1500N$$

En la sección *CIRCUITO ELÉCTRICO DEL SISTEMA* se explica la implementación de la etapa de potencia y control de este elemento.

BLOQUEO DE APERTURA

Para evitar que la puerta se desplace más de lo necesario, ya sea por algún movimiento accidental del pasajero u otras fuerzas, se analizaron las características del actuador lineal. Estas permiten bloquear la apertura por la resistencia que representan los elementos mecánicos internos del propio actuador.

SOPORTE

Se fabricaron elementos mecánicos indispensables para el funcionamiento del prototipo, principalmente para actuadores mecánicos. En primer lugar, para el actuador lineal se diseñaron dos bases de metal, una fija que se ubica en los pies del copiloto y otra anclada a la puerta, ambas soportan las cargas ejercidas por el actuador durante el cierre y apertura de la puerta, y permiten el desplazamiento angular que este requiere. Para el actuador universal se diseñó una base cuyo propósito es mantenerlo fijo para la liberación de la puerta, además funge como soporte para el circuito eléctrico principal y otros componentes.

Los elementos anteriormente mencionados fueron montados mediante sujeciones mecánicas ya que permiten colocarlos y retirarlos fácilmente (consulte anexo 7).

CONSUMO

Se activó el actuador lineal conectándolo directamente a la batería del vehículo y se registró un voltaje de la fuente de 14.44V. Las tablas posteriores muestran los valores de corriente demandada por el actuador lineal durante cierre y apertura.

Tabla 11 Valores de corriente con el vehículo encendido

Medición	Abriendo (A)	Cerrando (A)
1	1.05	0.88
2	1.02	0.85
3	0.9	0.82
4	0.89	0.83
5	0.87	0.79
6	0.86	0.78
7	0.88	0.81
8	0.83	0.8
9	0.85	0.77
10	0.87	1.22

Como se puede observar en la tabla anterior, se alcanza un pico máximo de 1.22A, este valor será considerado más adelante.

SUBSISTEMA DE PROTECCIÓN

Durante la apertura, la puerta puede colisionar con objetos estáticos o en movimiento, debido a esto es necesario implementar un subsistema que sea capaz de detectarlos para detener el accionamiento. En la sección *PUNTOS VULNERABLES DE LA PUERTA* se muestran las áreas que se planean proteger en la medida de lo posible. Para esto, se analizaron distintos sensores que podrían lograr el objetivo según criterio propio considerando sus ventajas y desventajas para determinar cuál implementar.

PARA EL CUERPO DE LA PUERTA

El cuerpo, es decir las secciones horizontales de la vista frontal de la ilustración 17, debe tener una cobertura amplia que permita proteger la mayor área posible. Se estableció que al proteger la sección inferior siendo la más sobresaliente, como se muestra en vista lateral de la ilustración 17, la parte superior estaría relativamente segura. Para obtener el mejor subsistema de protección se analizaron diferentes sensores, los cuales se muestran a continuación.

- De proximidad infrarrojos
- Conjunto fotorresistencia-láser
- Ultrasónicos
- De movimiento

Tabla 12 Definición del sensor para el cuerpo de la puerta.

Puntos de evaluación	Infrarrojos	Láser	Ultrasónico	Movimiento
Precio económico	●●●	●●●●●	●●●●	●●●
Facilidad de implementación	●●●●	●●●●●	●●●	●●●
Estética en el vehículo	●●●●	●●●●	●●●	●●●
Rango de medición	●●●	●●●●	●●●●●	●●●●●
Detección de diferentes objetos	●●	●●●●●	●●●●	●●●
Desempeño bajo diferentes entornos	●●	●●●●●	●●●●●	●●●●
Accesibilidad	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Resultado (puntos):	23	33	29	26

Como se muestra en la tabla anterior, el dispositivo de detección de obstáculos más apto para el cuerpo de la puerta sería el láser con fotorresistencia debido a que puede detectar una gran variedad de objetos como se explica en la sección *CONJUNTO LÁSER-FOTORRESISTENCIA COMO DIVISOR DE TENSION*.

Además, se concluyó que el sensor ultrasónico sería adecuado para otro propósito, esencialmente para la determinación del cumplimiento de la distancia mínima requerida para iniciar el proceso de apertura.

PARA EL BORDE DE LA PUERTA

Es de suma importancia que este subsistema abarque el área del borde que se considere proteger debido al movimiento rotatorio de la puerta. Por esta razón el sensor determinado a continuación se usa en conjunto con el servomotor SG-90 como se explica en la sección *CONJUNTO RADAR*. Para la elección del sensor se analizaron dos dispositivos como se muestra en la siguiente tabla.

- Sensor de proximidad fotoeléctrica
- Ultrasónico

Tabla 13 Definición del sensor para el cuerpo de la puerta.

Puntos de evaluación	Fotoeléctrico	Ultrasónico
Precio económico	●●●●	●●●●●
Facilidad de implementación	●●●●●	●●●
Estética en el vehículo	●●●	●●●
Distancia mínima de medición	●●●	●●●●
Detección de diferentes objetos	●●●●●	●●●●
Facilidad de alimentación	●●●●●	●●●●
Desempeño bajo diferentes entornos	●●●●	●●●
Accesibilidad	●●●●●	●●●●●
Resultado (puntos):	34	31

Ambos sensores podrían cumplir la función deseada, sin embargo, las dificultades que presenta el sensor ultrasónico en la programación del subsistema al trabajar en conjunto con el servomotor SG-90 harían al sensor fotoeléctrico la opción más viable.

CONJUNTO LÁSER-FOTORRESISTENCIA COMO DIVISOR DE TENSIÓN

Para la protección del cuerpo de la puerta se implementó un diodo láser, con un alcance del haz de luz de 1.5 a 2m sin verse afectado por ruido; el largo de la puerta es aproximadamente 1.16m por lo que el dispositivo cubre sin problemas el espacio. En adición se implementó una fotorresistencia y una resistencia de $10\text{k}\Omega$ como divisor de tensión; al incidir luz sobre la fotorresistencia su valor disminuye drásticamente a valores menores a 150Ω , por el contrario, al bloquearse el paso de luz esta aumenta aproximadamente a más de $1\text{M}\Omega$. Así, mediante la siguiente fórmula es posible estimar el voltaje de la resistencia de $10\text{k}\Omega$, que es el valor que recibe el pin del dispositivo programable dependiendo del estado de la fotorresistencia:

$$V_x = \frac{V_f (R_x)}{R_t}$$

Por lo tanto, con $V_{fuente} = 5\text{V}$, con luz:

$$R_{fotorresistencia} = 150\Omega$$
$$V_{R10k\Omega} = \frac{(5\text{V})(10\text{k}\Omega)}{10\text{k}\Omega + 150\Omega} = 4.93 \text{ V}$$

Sin luz:

$$R_{fotorresistencia} = 1 \text{ M}\Omega$$
$$V_{R10k\Omega} = \frac{(5\text{V})(10\text{k}\Omega)}{10\text{k}\Omega + 1\text{M}\Omega} = 0.05 \text{ V}$$

Con esta información, el Arduino interpreta una interrupción por la presencia de un objeto a punto de colisionar con la puerta en su apertura. El funcionamiento del conjunto consiste en alimentar el láser para que la luz emitida por él sea recibida por la fotorresistencia, de esta manera por la forma de conexión el nodo de la ilustración tendrá un voltaje cercano al de la fuente, pero al bloquear el haz de luz el aumento de resistencia generará un estado bajo que indicará que se debe detener la apertura (Ilustración 32).

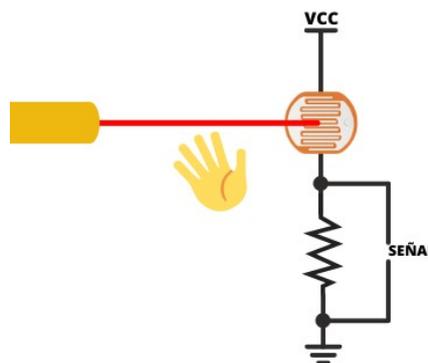


Ilustración 32 Configuración de divisor de tensión de la fotorresistencia.
Fuente: Elaboración propia

PROTECCIÓN DEL DIODO LÁSER

Para evitar el contacto de agentes externos con el láser tales como lluvia, sol y viento se diseñó una pieza impresa en 3D (Ilustración 33).

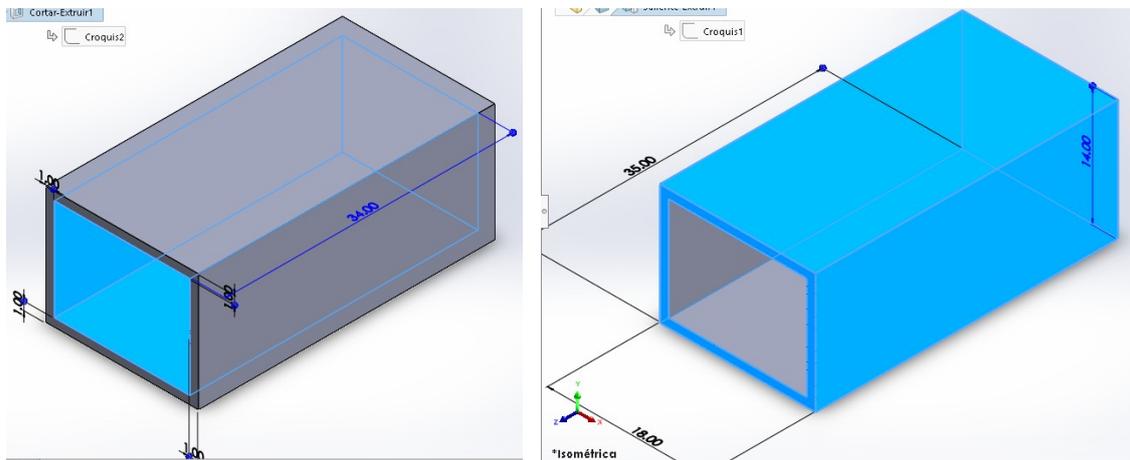


Ilustración 33 Pieza protectora del módulo láser
Fuente: Elaboración propia

PROTECCIÓN DE LA FOTORRESISTENCIA

Del mismo modo, la fotorresistencia requiere ser aislada del ambiente, principalmente de la luz solar. De esta manera el láser se convierte en la única influencia para el divisor de tensión (Ilustración 34).

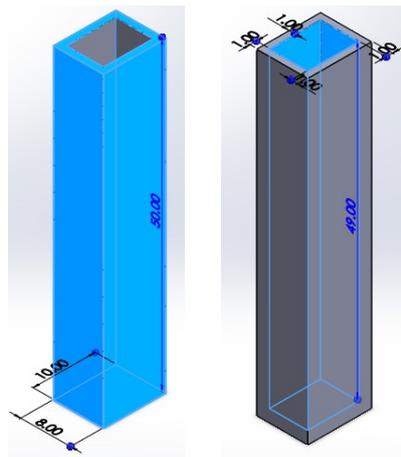


Ilustración 34 Pieza protectora de la fotorresistencia
Fuente: Elaboración propia

CONJUNTO RADAR

Un sensor se montó sobre el eje de un servomotor SG90 que, durante el proceso de apertura, oscilaba repetitivamente de 15 a 165 grados. El sensor acoplado detecta objetos a la distancia calibrada, cuando esto sucede se envía una señal al dispositivo programable para detener el proceso de apertura (Ilustración 35).

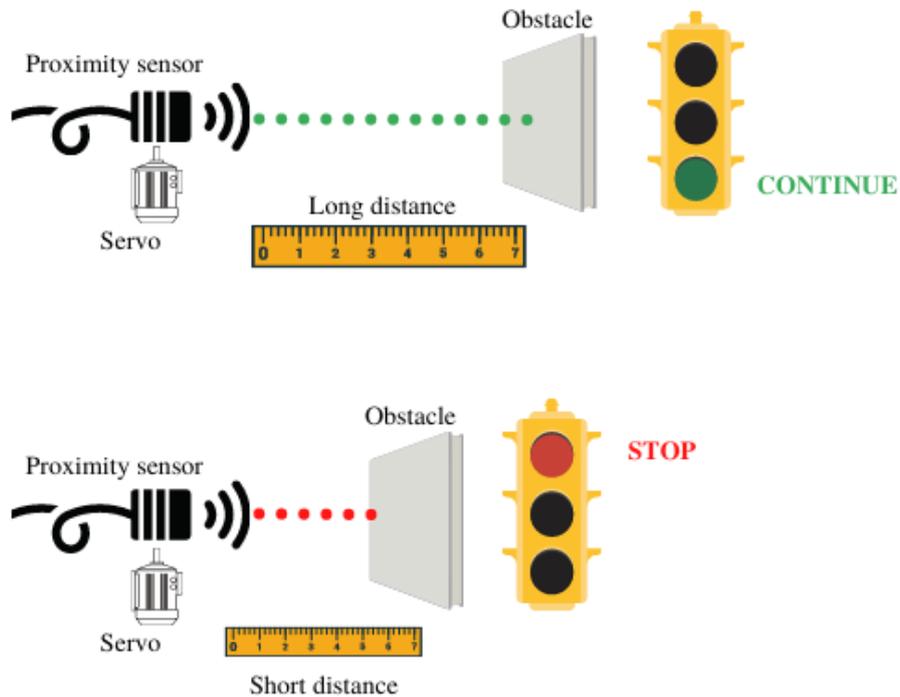


Ilustración 35 Funcionamiento del conjunto radar
Fuente: Elaboración propia

BASE PARA SG90

Para el caso del servomotor, se realizó el diseño de una base protectora que se encarga de guardarlo y sostenerlo (Ilustración 36).

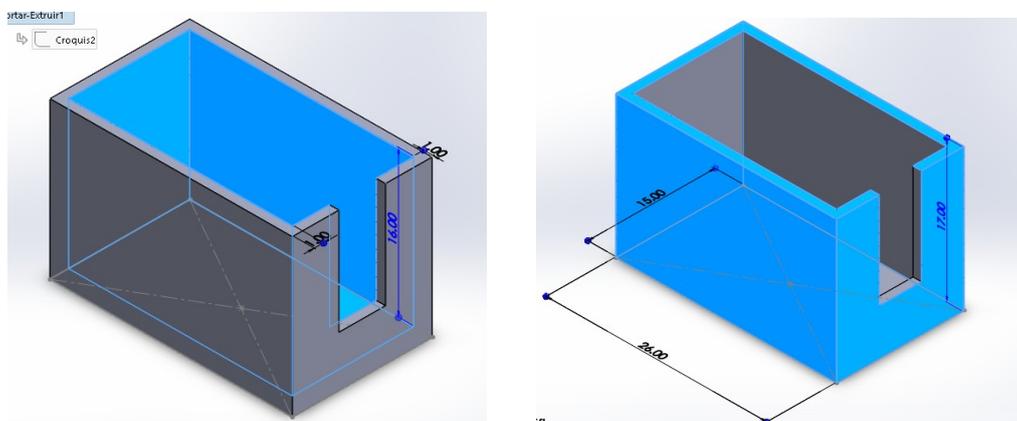
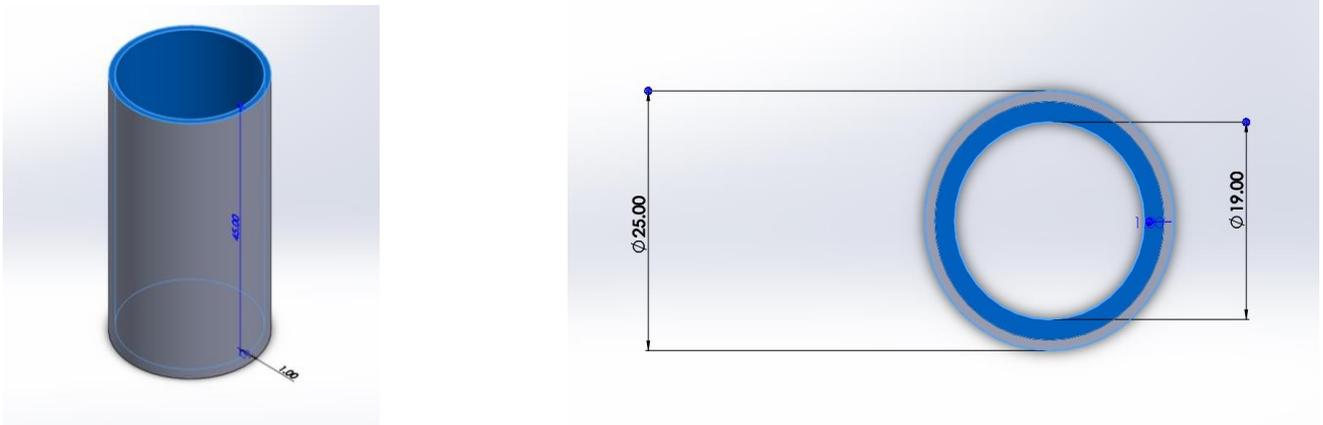


Ilustración 36 Medidas en milímetros de la base para el servomotor SG90
Fuente: Elaboración propia

PROTECCIÓN PARA EL SENSOR E18-D80NK

La luz solar afecta la precisión de este sensor debido a que está basado en la recepción de haces infrarrojos. Por lo que esta pieza es indispensable para el funcionamiento diurno del sistema (Ilustración 37).



*Ilustración 37 Medidas en milímetros de la pieza protectora
Fuente: Elaboración propia*

CONTROL DEL SISTEMA

En esta sección se expondrá el desarrollo del área de control destinada al sistema, para ello se siguió una metodología que consistió en una serie ordenada de pasos que se muestran a continuación.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En cuanto a la definición del problema, se analizó detalladamente lo que se deseaba que el sistema realizara, y sobre todo cómo actuaría el algoritmo de control durante el proceso.

Como enuncia el objetivo del proyecto, se necesita desarrollar un sistema electrónico de control de apertura aplicable a una puerta del automóvil. Por consiguiente, se estableció el problema acorde a él.

Consiste en lo siguiente:

1. Al inicio el usuario activa el sistema mediante un dispositivo.
2. Se realiza la determinación del espacio lateral disponible; si es suficiente se abre la puerta, de lo contrario se necesita que el usuario decida si continuar o simplemente volver al punto inicial.
3. De cualquier forma, en que se continúe con la apertura, se ejecutarán en orden los siguientes pasos: desactivar seguros, accionar el varillaje de la manija, iniciar el empuje mediante el elemento actuador. Durante este proceso, se monitorea el medio con el radar y el conjunto láser-fotorresistencia para evitar en lo posible el contacto de la puerta con objetos externos al vehículo.
4. El proceso se detiene si se detecta algún objeto o al completar la apertura total.
5. Ya detenido el sistema se espera el descenso e indicación del usuario para cerrar, manteniendo la puerta en la última posición. Si el proceso de apertura se detiene sin haber completado la apertura máxima, es posible indicar que se siga abriendo la puerta de manera segura.
6. Una vez recibida la señal de cierre se procede a ejecutar esta acción durante el mismo tiempo que tomó la apertura, además de colocar los seguros.

DEFINICIÓN DE DATOS

Se clasificaron las entradas y salidas que influyeron en el control del sistema para dar orden, debajo se muestra esta información.

Entradas: Información que recibe el dispositivo de control para procesarla y determinar el protocolo a seguir.

Activación del sistema

- Sensor capacitivo

Reconocimiento del medio

- Sensor infrarrojo
- Laser-Fotorresistencia
- Sensor ultrasónico

Salidas: Señales que emite el dispositivo de control con un propósito específico.

Actuadores del proceso de apertura

- Actuador lineal, por medio de puente H
- Actuador universal, por medio de driver
- Bloqueo y desbloqueo de seguros

Actuadores adicionales

- Servomotor SG90
- Módulo Láser
- Reproductor MP3 YX5300

Procesamiento: Son los métodos, bibliotecas y fórmulas utilizadas para procesar señales de entrada con el fin de convertirlas en información útil para el control.

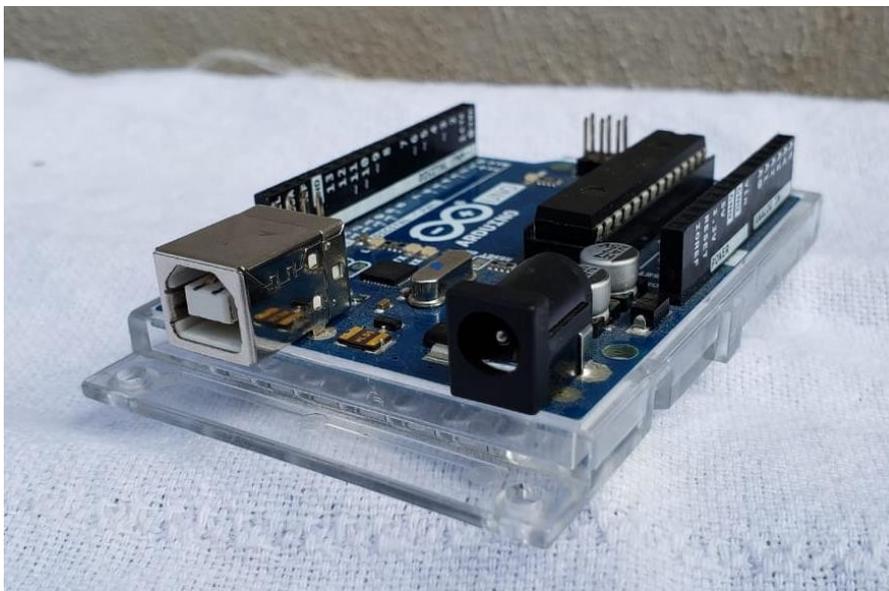
DETERMINACIÓN DEL DISPOSITIVO DE CONTROL DEL SISTEMA

Conscientes de la existencia de la amplia variedad de dispositivos programables disponibles en el mercado que podrían desempeñar el control del sistema, fue necesario establecer los objetivos primordiales de este. A continuación, se presentan los requerimientos para el dispositivo de control.

- Suficiente capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos
- Suficientes puertos de entrada y salida
- Disponibilidad en el mercado, es decir de fácil acceso
- Asequible económicamente
- Disponibilidad de hardware y software

Citando a José A. Mañas, “La resolución práctica de un problema exige por una parte un algoritmo o método de resolución y por otra un programa o codificación de aquel en un ordenador real. Ambos componentes tienen su importancia; pero la del algoritmo es absolutamente esencial, mientras que la codificación puede muchas veces pasar a nivel de anécdota” (1997, p.3) el dispositivo de control y el lenguaje de programación pasa a segundo plano en la resolución de problemas, ya que lo más importante es obtener un algoritmo que provea la respuesta deseada durante todo el proceso.

Lo anterior permitió determinar que el microcontrolador AVR 328P implementado en la placa de desarrollo Arduino UNO era suficiente para el prototipo, ya que cuenta con catorce pines digitales y seis analógicos de entrada/salida, es ampliamente utilizado en prototipos por su bajo costo y disponibilidad de recursos en hardware y software además de tener la capacidad de almacenamiento y procesamiento para la gran mayoría de aplicaciones (Ilustración 38).



*Ilustración 38 Arduino UNO
Fuente: Elaboración propia.*

DISEÑO DEL ALGORITMO

Con base en el análisis del problema, se concluyó que el tipo de algoritmo necesario se asemeja en gran parte a una máquina de estados. A continuación, se muestra información detallada de cada uno de los estados implementados en el algoritmo y un diagrama.

Sleep: Estado de espera en el cual el dispositivo de control se encuentra en modo ahorro de energía; solo se mantienen activas las funciones de lectura para iniciar el proceso.

Scan: Este estado realiza una sola lectura de distancia mediante el sensor ultrasónico, para determinar el espacio disponible para la apertura, a partir de ello se decidirá si continuar con el estado Free o Continue.

Continue: Si la distancia disponible para abrir no es la adecuada para permitir al usuario descender del vehículo, este estado se mantiene en espera de una indicación para abrir de todas formas o abortar el proceso.

Free: Estado que conforma la primera fase de apertura, en la que se quitan seguros, se acciona la manija y el actuador de manera sincronizada para liberar la puerta.

Open: Segunda fase de apertura. En este estado se mantiene accionado el actuador lineal mientras se realizan lecturas del medio para tratar de evitar contactos con objetos externos mediante el radar y el conjunto láser-fotorresistencia.

Wait: Estado que, al haberse detenido la apertura por algún objeto externo, permite continuar con la misma, si no es necesario permite cerrar. También servirá para dar tiempo al descenso del usuario.

Still: Si en el estado Wait se indica que se requiere seguir abriendo, este estado ejecuta la apertura durante el tiempo que queda para la apertura máxima o bien hasta detectar de nuevo un objeto que estorba al proceso. Será posible generar un bucle entre el estado anterior y este, sin embargo, al llegar a la apertura máxima no se ejecutará ninguna acción más.

Close: Estado en el que se revierte el accionamiento del actuador lineal para cerrar la puerta. Se ejecuta este proceso durante el mismo tiempo que llevo abrir la puerta.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo del proceso para que sea más claro el funcionamiento del sistema durante este (Ilustración 39). Se realizó la traducción del algoritmo al lenguaje del Arduino IDE (consultar anexo 4).

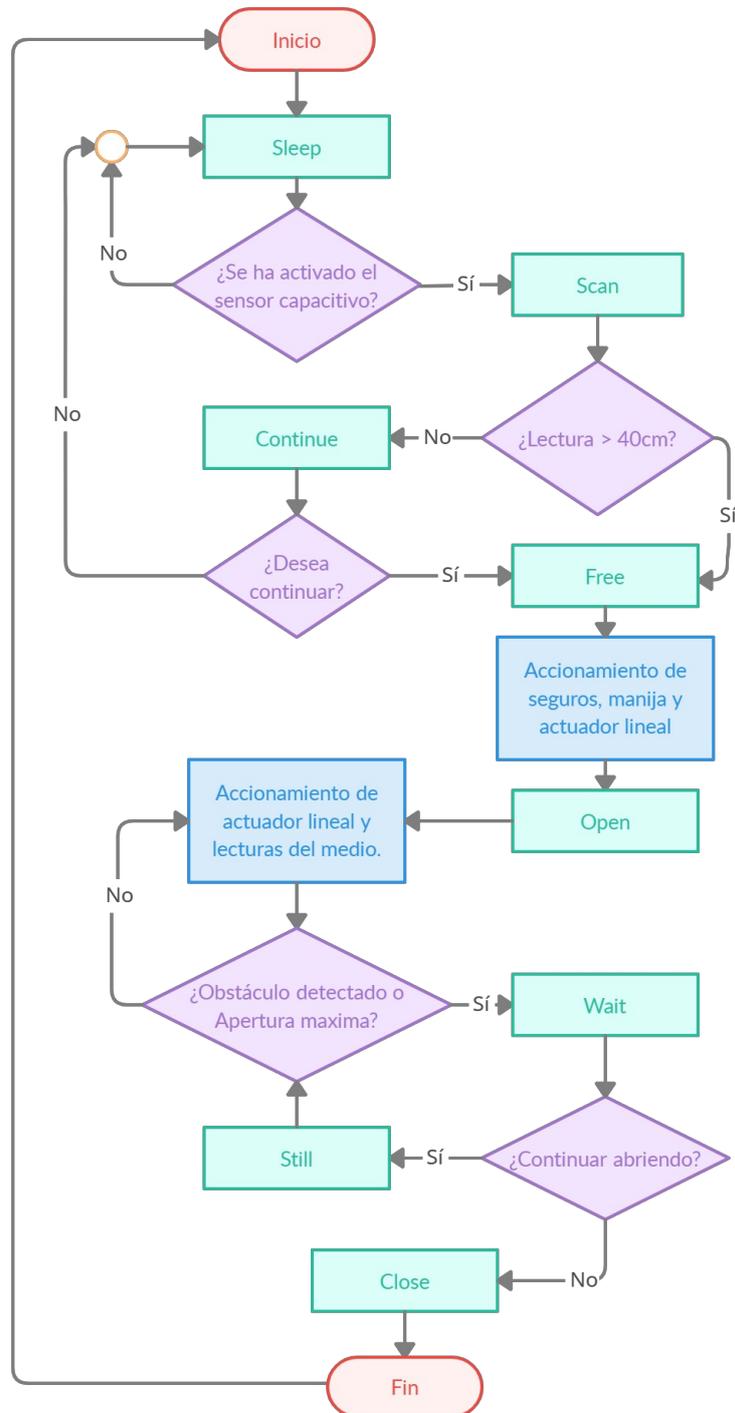


Ilustración 39 Diagrama de funcionamiento del programa.
Fuente: Elaboración propia

CIRCUITO ELÉCTRICO DEL SISTEMA

DEFINICIÓN DE COMPONENTES

Partiendo del capítulo anterior, en esta sección se definieron las funciones que desarrolla cada entrada o salida del Arduino UNO, considerando ciertos factores técnicos, se comienza mostrando esta información mediante una tabla.

Tabla 14 Funcionalidad de pines de cada componente

Componente	Función de Pin
MP3 Player YX5300	Rx, Tx
Sensor Touch Capacitivo	Signal
Puente H L298N	IN1, IN2
Sensor Ultrasónico HC-SR04	Trigger, Echo
Servomotor SG90	Signal
Actuador universal	Driver
Láser	Driver
Fotorresistencia	Signal
Sensor de proximidad	Signal
Lock	Driver
Unlock	Driver

La tabla anterior muestra que se necesitan catorce pines del dispositivo de control; los componentes que requieren funciones específicas se ubican en los pines más convenientes. Los demás se destinaron a pines digitales o analógicos configurados como digitales.

Tabla 15 Pines utilizados del dispositivo programable

Componente	Función destinada	Pin
MP3 Player YX5300	Puerto serie	2,3
Sensor Touch Capacitivo	Entrada digital	4
Puente H L298N	Salidas PWM ~	5, 6
Actuador universal Driver	Salida PWM ~	9
Servomotor SG90	Salida PWM ~	10
Sensor de proximidad E18-D80NK	Entrada digital	11
Sensor Ultrasónico HC-SR04	Entrada y salida digital	12, 13
Fotorresistencia	Entrada digital	A3
Laser Driver	Salida digital	A2
Unlock Door Driver	Salida digital	A1
Lock Door Driver	Salida digital	A0

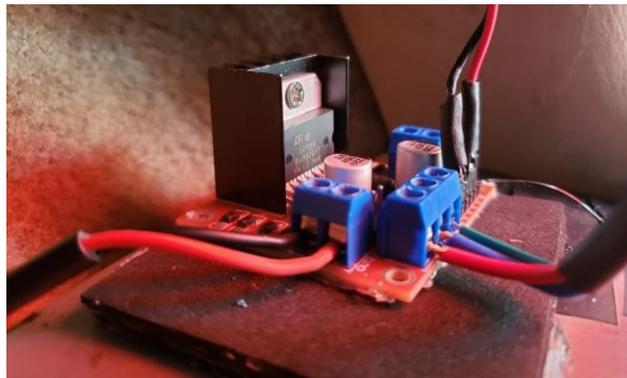
DRIVERS PARA COMPONENTES ESPECÍFICOS

Para la protección del circuito, ya que algunos componentes necesitan más corriente de la recomendada para los pines del dispositivo de control, fueron implementados circuitos de control para aislar parcialmente los elementos. Estos se basaron principalmente en el uso de transistores. Los componentes que necesitaron de estos drivers fueron:

- Diodo láser, debido a la demanda de corriente superior a la segura recomendada y proporcionada por el dispositivo de control.
- Pines del sistema de seguros del automóvil, que al estar alimentados a 12V podrían significar un riesgo para el dispositivo de control.
- Actuador lineal de la manija, debido a que el consumo de corriente de este elemento es muy superior a lo que puede proporcionar el dispositivo programable.
- Actuador lineal de la puerta, por su consumo alto de corriente durante un tiempo relativamente prolongado al empujar la puerta.

ACTUADOR LINEAL DE LA PUERTA

Para controlar el sentido de desplazamiento del actuador lineal a 12V es necesario hacer uso de un arreglo de puente H. Por ello, se empleó un módulo L298N (Ilustración 40) que provee 2A de corriente continua con picos de hasta 3A, y como se muestra en la tabla 11, el pico máximo de corriente demandada por el actuador directamente de la batería resultó ser 1.22A.



*Ilustración 40 Módulo de puente H L298N
Fuente: Elaboración propia*

LÁSER Y PINES DE SEGUROS

El láser y los pines de seguros son componentes para los que se diseñaron drivers a base de transistores NPN; se determinó que el modelo 2N2222 A31 era apropiado ya que las corrientes requeridas por estos componentes no supera el límite de corriente de colector de 600mA que establece el fabricante.

La corriente en la base del transistor fue limitada por una resistencia. Su valor es el siguiente:

$$V = IR \therefore R = \frac{V}{I} = \frac{4.2 V}{15 mA} = 280 \Omega$$

Considerando una corriente de base de 15mA y un voltaje de salida en alto del Arduino (VOH) de 4.2 V, debido a que es el mínimo valor emitido considerado como alto por el dispositivo programable, para activar el transistor; al aplicar la ley de Ohm resultó en una resistencia de 280Ω, se utilizó un valor comercial de 270Ω. De esta forma la corriente varía de la siguiente manera:

$$\frac{4.2 V}{270 \Omega} = 15.55 mA$$

En caso de que el dispositivo programable no genere el voltaje mínimo VOH, sino que provea 5V, la corriente resultante es:

$$\frac{5 V}{270 \Omega} = 18.51 mA$$

Esto comprueba que el sistema estará seguro en cuanto la corriente de salida en estos pines, ya que los datos del fabricante del ATmega 328P indican que el valor máximo recomendable de corriente de salida por pin es 40mA.

ACTUADOR UNIVERSAL DE LA MANIJA

Para el actuador lineal de la manija se diseñó un driver implementando un transistor 2N2222 A31 en la etapa de control, de la misma forma que se expuso anteriormente, así como un MOSFET canal N para la etapa de potencia ya que estos componentes al ser activados por voltaje disipan menos potencia que los transistores comunes que dependen de la corriente, evitando el calentamiento.

Uno de los dos pines de alimentación mencionados en la sección *FUENTE DE ENERGÍA* del cuadro de fusibles provee de alimentación para el actuador, y tiene el mismo valor de voltaje que la fuente del vehículo, se consideró un factor de protección de 20% aplicado a los 12V estándar de una batería, resultando en 15V.

La carga que representa el actuador consta de una resistencia de 1.6Ω . La ley de ohm permite obtener el valor de corriente que teóricamente puede consumir el componente, dicho valor se obtiene de la siguiente manera:

$$V = IR \therefore I = \frac{V}{R} = \frac{15V}{1.6\Omega} = 9.375 A$$

Y aplicando un factor de protección del 20%, por lo que:

$$I_{max} = I * 1.2 = 11.25 A$$

Se determinó que, para valores de funcionamiento del actuador universal, 15V y 11.25A, el MOSFET IRLZ44 es adecuado. Esto se sustenta en la hoja de datos técnicos del componente, que indica una $I_{DS}=50A$ a $25^{\circ}C$ y un $V_{DS}=60V$, los cuales deben ser mayores al voltaje y corriente de la carga, por lo que se cumple $I_{DS}>11.25A$ y $V_{DS}>15V$.

Se colocó una resistencia de un valor de $1M\Omega$ para evitar la activación del IRLZ44 por ruido ya que este valor relativamente alto evitaría el paso de corriente y por tanto un voltaje que active al dispositivo. Se puede apreciar también una resistencia de $R_{1k\Omega}$; ambas resistencias actúan como divisor de tensión ya que el MOSFET es activado por el voltaje en $R_{1k\Omega}$, y debido a que el fabricante recomienda mantener V_{GS} en un rango de $\pm 10V$ el divisor se conecta a 5V. De esta manera, el voltaje en cada resistencia al desactivar el transistor se puede estimar teóricamente de la siguiente manera:

$$V_x = \frac{V_f (R_x)}{R_t}$$

Por lo tanto

$$V_{R_{1k\Omega}} = \frac{(5V)(1k\Omega)}{1k\Omega+1M\Omega} = 0.004 V$$

$$V_{1M\Omega} = \frac{(5V)(1M\Omega)}{1k\Omega+1M\Omega} = 4.995V$$

Además, se implementó un diodo de marcha libre para eliminar picos de voltaje que provocan corrientes parásitas generados por inductores como el motor del actuador lineal

El funcionamiento del driver se basa en la activación en estado bajo, esto consiste en que al circular corriente en la base del transistor este permite el paso de una corriente de 15mA, determinada por ley de Ohm, a través de $R_{1k\Omega}$ de colector a emisor, por ello y debido a $R_{1M\Omega}$ el MOSFET no se activa; si por el contrario la base del transistor recibe una señal lógica de cero, $R_{1k\Omega}$ y $R_{1M\Omega}$ se configuran en serie generando un voltaje en el pin Gate del IRLZ44N, permitiendo cerrar el circuito de Drain a Source energizando la carga, en ese momento las corrientes parásitas circulan en lazo cerrado debido a la acción del diodo D1, lo que previene picos de voltaje peligrosos. Al volver a activar el transistor, el MOSFET se desactiva (Ilustración 41).

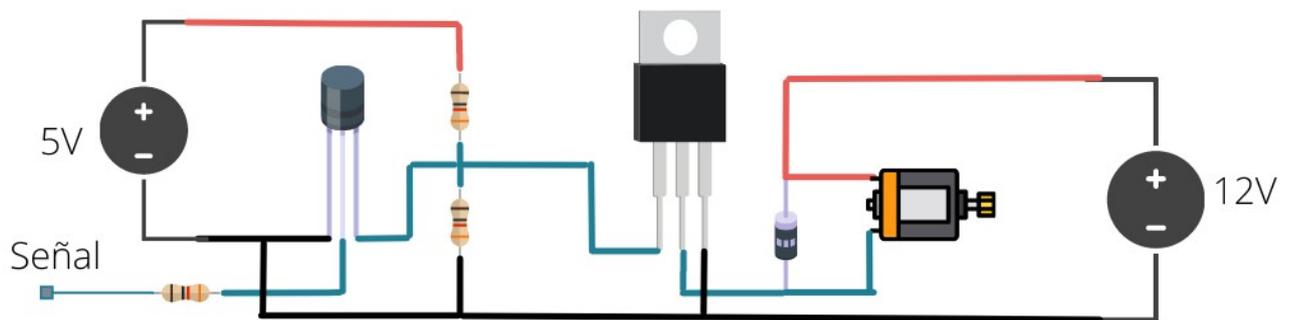


Ilustración 41 Driver para el actuador universal en la manija
Fuente: Elaboración propia

CIRCUITO FINAL

A continuación, se muestra un diagrama (Ilustración 42) y el circuito final de todo el sistema (Ilustración 43)

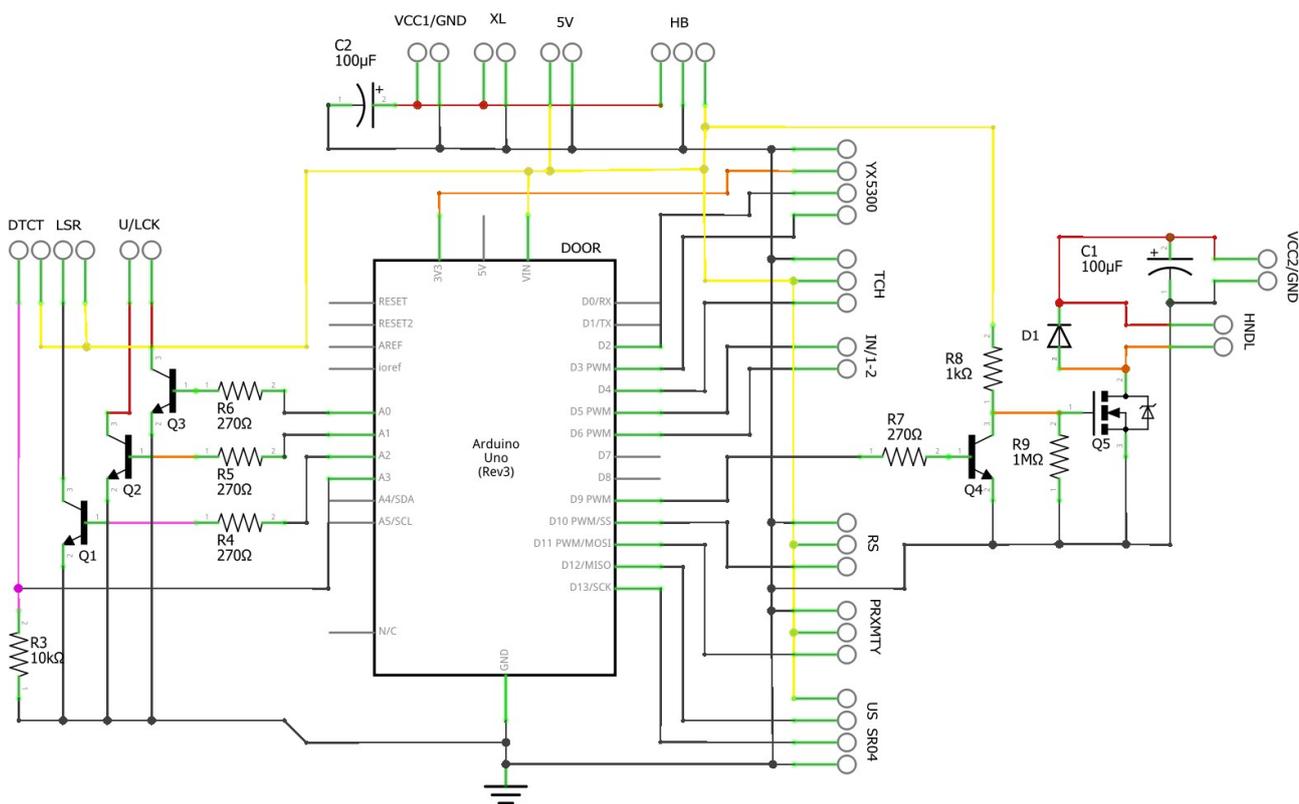


Ilustración 42 Circuito del sistema
Fuente: Elaboración propia

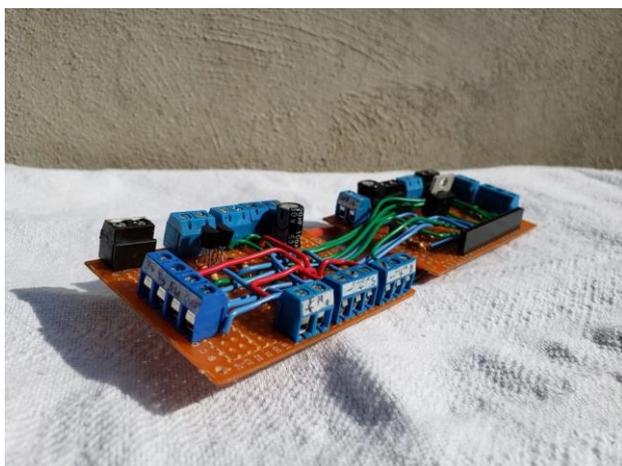


Ilustración 43 Circuito del sistema implementado en placas fenólicas
Fuente: Elaboración propia

CALIBRE DEL CABLE Y CONSUMO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

En esta tabla se muestran todas las mediciones de corriente utilizada por cada componente en donde, para cada uno de ellos, se tomaron diez mediciones y se realizó un promedio. Con estos datos es posible determinar el calibre indicado para los cables de los componentes y que su funcionamiento sea el adecuado.

Tabla 16 Consumo de corriente y calibre de cable empleado

Componentes	Medición (mA)	Calibre de cable (AWG)
Placa de desarrollo	45.6	22
Pines de seguros	5.24	22
Módulo MP3	3.7	22
Láser	33.2	22
Proximidad	3.8	22
Sensor capacitivo	3.3	22
Divisor	0.5	22
Sensor ultrasónico	32.7	22
Servomotor	180	22
Actuador universal	7400	16
Módulo puente H L298N	1220 ¹⁵ / 17.5 ¹⁶ / 3.6 ¹⁷	14 / 22 / 22

El calibre para cada componente fue determinado por la capacidad de amperaje mostrado en la “American Wire Gauge Conductor Size Table” avalada por “The National Electrical Code”, el cual es un estándar de adopción regional para la instalación segura de cableado y equipos eléctricos en los Estados Unidos (consultar anexo 3).

¹⁵ Alimentación al actuador lineal de la puerta a 12v

¹⁶ Alimentación al dispositivo L298N

¹⁷ Pines de salida a la placa de desarrollo

ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se muestran las cantidades y descripción de los gastos que se llevaron a cabo durante el desarrollo del proyecto. En cuanto al tiempo de trabajo, se contabilizarán las horas de los tres integrantes involucrados y se determinará con base a que un Ingeniero Automotriz recién egresado en México percibe alrededor de \$15,800.00MXN según *EL FINANCIERO* y \$19,920.00MXN al mes según una gran cantidad de informes de sueldos de personas que trabajan en ésta área, según información del sitio web *glassdoor.com*, así mediante el promedio de ambas cantidades y estableciendo una jornada de trabajo de 9 horas en un mes con veintidós días hábiles se estima que el precio por hora es \$90.20MXN.

Tabla 17 Egresos para el desarrollo del proyecto.

Descripción	Especificaciones	Monto
Semana 1 (16 - 22 agosto)		
Horas de trabajo	Investigación. Todos los integrantes (8hrs)	\$721.60
Semana 2 (23 - 29 agosto)		
Papelería	Transportador, hojas, silicón	\$6.50
Herramental	Vernier digital y báscula	\$340.00
Impresión 3D	Mecanismo manija	\$1,270.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$652.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (35hrs)	\$3,157.00
Semana 3 (30 agosto - 05 septiembre)		
Herramental	Multímetro, material para soldar, cinta aislante.	\$491.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$544.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (40hrs)	\$3,608.00
Semana 4 (06 - 12 septiembre)		
Papelería	Lija, encendedor, tornillos, rondanas	\$20.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$544.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (12hrs)	\$1082.20
Semana 5 (13 - 19 septiembre)		
Papelería	Cartón, madera y cortes	\$50.00
Electrónica	Servomotor HK	\$732.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00

Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (38 hrs)	\$3,427.60
Semana 6 (20 - 26 septiembre)		
Electrónica	Regulador de voltaje a 5	\$49.00
Ferretería	Tornillos, tuercas, rondanas, abrazaderas, tubo PVC	\$46.00
Base	Base para incorporar el actuador	\$165.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Horas de Trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (45 hrs)	\$4,059.00
Semana 7 (27 septiembre – 03 octubre)		
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$140.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (18 hrs)	\$1,623.60
Semana 8 (04 – 10 octubre)		
Electrónica	Sensor infrarrojo CNY70, resistencias, diodos infrarrojos	\$33.00
Actuador	Actuador lineal	\$1,789.00
Impresión 3D	Manivela	\$110.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (15 hrs)	\$1,353.00
Semana 9 (11 – 17 octubre)		
Electrónica	Cables, termofit, modulo láser, acelerómetro analógico, Diodos infrarrojos, diodo laser, transistor, resistencias	\$200.00
Impresión 3D	Manivela	\$110.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (56 hrs)	\$5,051.20
Semana 10 (18 – 24 octubre)		
Ferretería	Tornillos, rondanas, tuercas	\$40.00
Reparaciones	Técnico electricista, Carga de batería	\$200.00
Electrónica	Botón capacitivo	\$25.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (60 hrs)	\$5,412.00

Semana 11 (25 – 31 octubre)		
Herrería	Materiales y soldadura	\$700.00
Electrónica	Modulo Voice Recognition V3	\$450.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (20 hrs)	\$1,804.00
Semana 12 (01 – 07 noviembre)		
Electrónica	Placas fenólicas	\$50.00
Papelería	Cinta doble cara	\$70.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (63 hrs)	\$5,682.60
Semana 13 (08 – 14 noviembre)		
Electrónica	Módulo, jumpers, cable, pines, transistores, reguladores, resistencias, borneras	\$627.50
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Impresión 3D	Piezas	\$115.00
Papelería	Varios artículos	\$25.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (105 hrs)	\$9,471
Semana 14 (15 – 21 noviembre)		
Electrónica	Mosfets, diodos, resistencias, fusibles, borneras	\$105.00
Impresión 3D	Pieza	\$64.00
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico (105 hrs)	\$9,471
Semana 15 (22 – 28 noviembre)		
Electrónica	Mosfet, diodos, borneras, fusibles, portafusibles, resistencias, termofil, Actuador	\$300.00
Ferretería	Cinchos, PVC, tela, pegamento	\$75
Transporte	Taxi, metro, camión. Todos los integrantes	\$272.00
Horas de trabajo	Investigación y trabajo técnico. Todos los integrantes (105 hrs)	\$9,471

En adición a lo anterior a continuación, se expone un listado de materiales y componentes que sirvieron al propósito del proyecto, los cuales habían sido obtenidos previamente, por lo que cada integrante del proyecto aportó algo de su galería de material.

Tabla 18 Elementos previamente disponibles incorporados al proyecto

Descripción	Precio(\$MXN)
Puente HL298N	\$59.00
Arduino R3 Original	\$499.00
2 Arduino (Pruebas)	\$400.00
Sensor ultrasónico hc-sr04	\$33.00
Fotorresistencia	\$5.00
Resistencias	\$3.00
3 transistores 2N2222 A31	\$6.00
Capacitores varios	\$15.00
2 Proto-board (Pruebas)	\$86.00
2 Proto-board mini (Pruebas)	\$56.00
Servomotor SG90	\$46.00
Equipo de soldadura	\$278.00
2 multímetros	\$467.00
MP3 Player YX5300	\$82.00
SD Card	\$80.00
Speaker, Audio	\$500.00
Regulador de voltaje LM2596	\$35.00
Jumpers	\$100.00

Con la información anterior se puede estimar un costo material total del proyecto de \$11,280.00, además a esto se agregaría un monto de \$56,824.80 por las horas de trabajo total empleadas para el desarrollo de este prototipo si los tres integrantes del proyecto fueran empleados con un sueldo como se explicó al inicio de esta sección. Por lo tanto, si se quisiera vender este proyecto, su valor no debería ser menos de \$68,104.80

PARTE III. VALIDACIÓN

PRUEBAS FINALES

Para validar la funcionalidad del prototipo desarrollado se realizaron tres pruebas descritas a continuación.

PRUEBA NÚMERO 1: AUTOMÓVIL CERCA DE LA PUERTA

La primera prueba consistió en posicionar un vehículo a una distancia menor a 40cm de la puerta que cuenta con el sistema instalado. El dispositivo encargado de detectar esta distancia es el sensor ultrasónico HC-SR04 (Ilustración 44). Mediante esta prueba se logró:

- Avisar al usuario sobre la poca distancia que se tiene.
- No abrir la puerta al accionar el botón capacitivo por primera vez.
- No activar ningún otro subsistema.



*Ilustración 44 Prueba 1
Fuente: Elaboración propia.*

PRUEBA NÚMERO 2: AUTOMÓVIL CON DISTANCIA MAYOR A 40CM DE LA PUERTA

La segunda prueba se realizó con un automóvil a una distancia superior a los 40cm de la puerta del prototipo, de tal forma que la apertura fuera posible. En esta ocasión, el conjunto radar es quien toma una mayor importancia debido a que es el encargado de detectar si el borde de la puerta está a punto de colisionar, de ser así, el sistema se detendrá de inmediato (Ilustración 45).

Los logros de esta prueba fueron:

- Confirmar la primera lectura del sensor HC-SR04 mayor a 40cm.
- Quitar seguros y activar el actuador universal para desanclar la puerta al tirar de la varilla.
- Mantener al actuador universal activado al mismo tiempo que el actuador lineal desplaza la puerta y desactivar el actuador universal al desengancharla.
- Detectar la posible colisión del borde de la puerta mediante el sensor de proximidad y desactivar el sistema de ser así.
- Garantizar la inamovilidad de la puerta al detenerse el sistema.



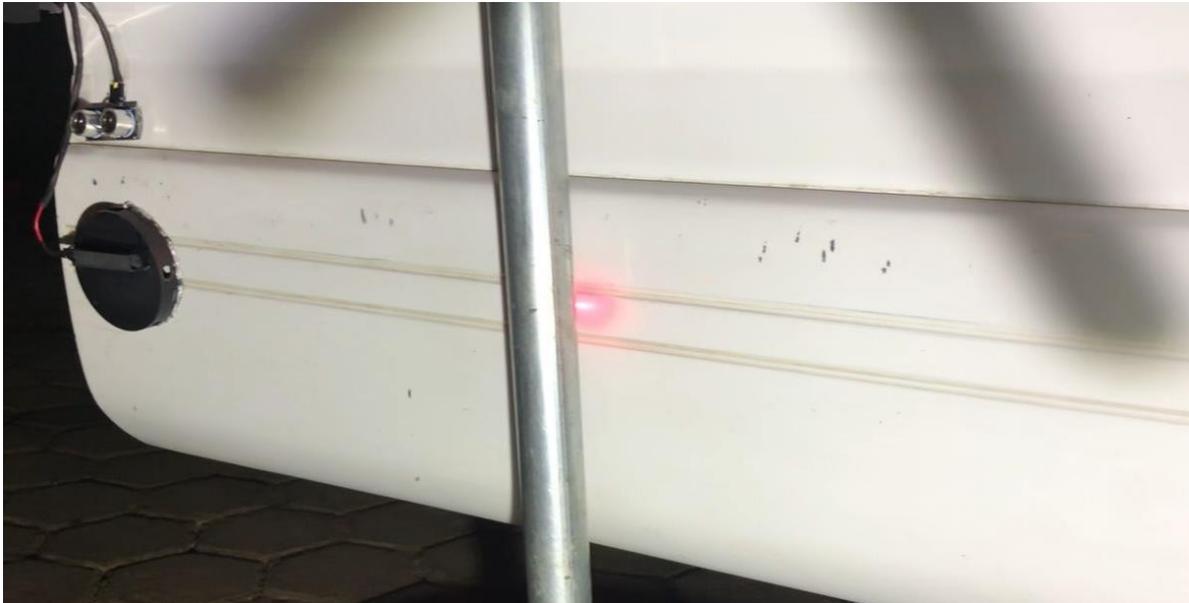
Ilustración 45 Prueba 2
Fuente: Elaboración propia

PRUEBA NÚMERO 3: OBJETO INTERVINIENDO EN EL CUERPO DE LA PUERTA

Para la última prueba se posicionó un objeto de tal manera que pudiera colisionar con el cuerpo de la puerta. Para evitarlo, debía intervenir el conjunto fotorresistencia-láser en esta ocasión, ya que es el encargado de cubrir esta sección. Como se mencionó previamente en este documento, mientras la fotorresistencia esté recibiendo la luz del láser, el actuador lineal continuará desplazando la puerta, de lo contrario, el sistema se detendrá (Ilustración 46).

Los logros de esta prueba fueron:

- Permitir la continuación del desplazamiento de la puerta ya que en la prueba anterior había sido detenida por un objeto, por lo que no completó su ciclo.
- Detectar un objeto mediante el conjunto fotorresistencia-láser y detener el desplazamiento.
- Garantizar la inamovilidad de la puerta al detenerse el sistema.
- Terminar el ciclo de apertura de forma correcta.



*Ilustración 46 Prueba 3. El haz de luz refleja en el tubo
Fuente: Elaboración propia*

Para corroborar los resultados de las tres pruebas dirigirse al anexo 5.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas anteriormente mencionadas, se pueden resaltar los siguientes puntos:

- El prototipo implementado es funcional, ya que como se mencionó anteriormente, logró detectar los obstáculos con las tres situaciones diferentes.
- El tiempo de respuesta por parte de los sensores es casi inmediato ya que se utilizó un dispositivo multitasking, con lo que se evita que la puerta pueda sufrir daños.
- La velocidad de apertura es relativamente lenta en comparación con una apertura normal, sin embargo, se reducen los momentos de inercia que se producen en ella.
- Debido a los mecanismos internos del actuador lineal, ya no es necesario incorporar un sistema de retención de la puerta.
- Aunque el radar se encuentre al borde de la puerta, tiene la capacidad de detectar objetos fuera de esta línea.

CONCLUSIONES

Como se ha podido observar a lo largo de este documento se cumplió el objetivo general ya que se diseñó, desarrolló e implementó un prototipo de un sistema electrónico de control de apertura aplicable a una puerta del automóvil y los objetivos específicos debido a que se determinaron sistemas eléctricos, mecánicos y electrónicos, así como se logró crear un algoritmo funcional para el control del sistema.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las diferentes pruebas, es posible incorporar la apertura automática en la puerta de un vehículo comercial al que más personas tengan acceso, ya que actualmente están limitados por su implementación en vehículos de gama alta. Además, es importante recalcar que puede ser de gran ayuda para personas con alguna discapacidad temporal o vitalicia para quienes esta pequeña actividad representa todo un reto, así como para menores, quienes en muchas ocasiones no miden la fuerza con la que empujan la puerta, terminando por dañar el auto propio y en otros casos, bienes ajenos. Por último, el propósito principal de la tecnología es brindar mayor comodidad a nuestra vida cotidiana, por lo que los sistemas destinados al confort son cada vez mejor recibidos en el mercado.

TRABAJOS FUTUROS

Un usuario promedio puede realizar la apertura en un tiempo menor a los diez segundos, mientras que el sistema se demora alrededor de un minuto, debido principalmente al actuador lineal cuya calidad fue limitada por el presupuesto del proyecto. Por lo que puede considerarse a futuro implementar otro dispositivo con mejores prestaciones.

Otro punto importante es el hacer más eficiente el uso de espacio del sistema para poder incorporarlo a una gran variedad de vehículos sin afectar la estética de estos y sin ser invasivo para los usuarios.

Además, se evaluó que es posible implementar más características al sistema en busca de aumentar su calidad, un ejemplo es el uso de comandos de voz (consultar anexo 5).

Por último, se considera importante el diseño de una PCB para implementar el circuito principal de una forma más profesional, así como para facilitar su producción en serie.

PARTE IV. APÉNDICES

ELEMENTOS DE AYUDA

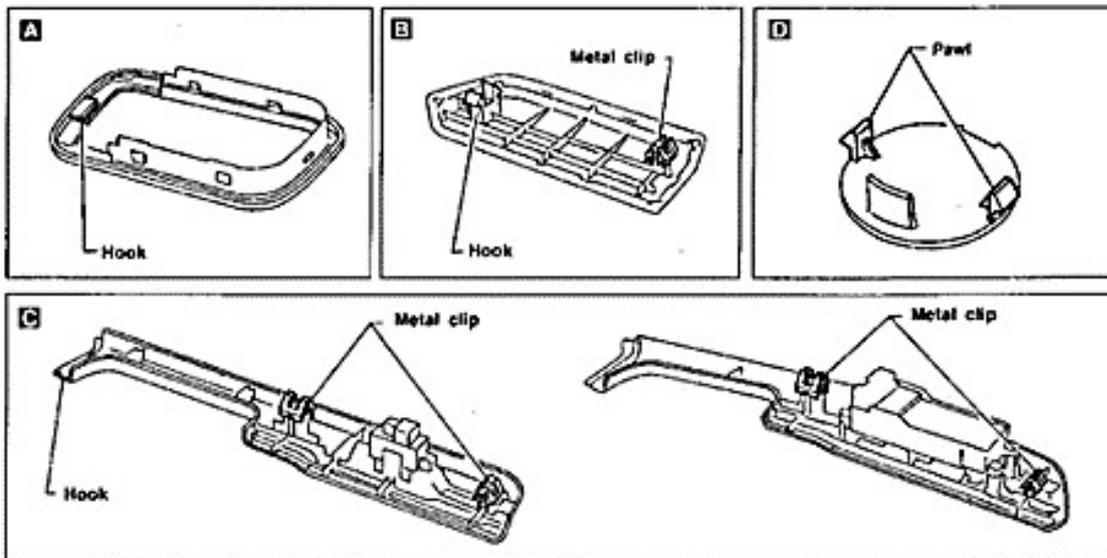
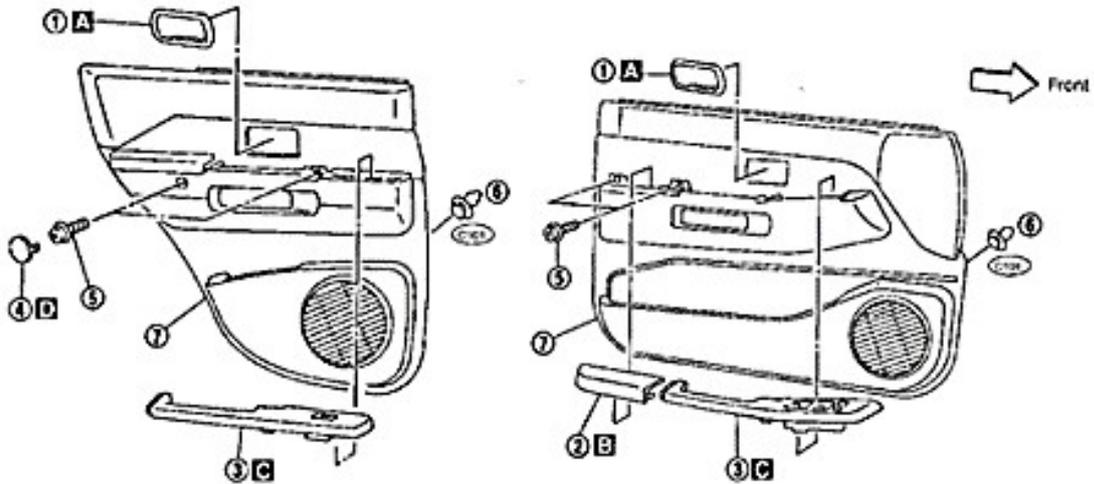
DOOR TRIM

Removal and Installation

Removal and Installation

1. Remove inside handle escutcheon.
2. Remove door armrest. (Front door only)
3. Remove power window switches, then disconnect the connectors.
4. Remove door finisher cover. (Rear door only)
5. Remove bolts securing door finisher.
6. Remove clips securing door finisher.
7. Lift out door finisher.

SEC. 251-809-828



587207

Anexo 1 Puerta explosionada
Fuente: Manual BT Pathfinder 1998

GI
WA
EM
LC
EC
FR
CL
NT
AT
VF
PD
AX
SU
BR
BT
PS
BT
NA
SC

STEREN V0.0

AUT-090

Actuador universal para seguros eléctricos

Power door lock kit

Manual de instrucciones
Instruction manual



0114c

Antes de utilizar su nuevo producto Steren, lea este instructivo para evitar cualquier mal funcionamiento.

Before using your new Steren's product, please read this instruction manual to prevent any damage.

IMPORTANTE / IMPORTANT



La información que se muestra en este manual sirve únicamente como referencia sobre el producto. Debido a actualizaciones pueden existir diferencias. Por favor, consulte nuestra página web (www.steren.com) para obtener la versión más reciente del instructivo.

The instructions of this manual are for reference about the product. There may be differences due to updates. Please check our website (www.steren.com) to obtain the latest version of the instruction manual.

CARACTERÍSTICAS / HIGHLIGHTS

Este kit está diseñado para convertir cualquier vehículo con seguros de puertas manuales a un sistema de apertura eléctrica.

This kit is designed to convert any vehicle with manual door locks to central locking power door locks.

Es compatible con cualquier sistema de apertura eléctrica, alarma o sistema de arranque remoto y tiene todos los accesorios necesarios para su instalación, incluyendo tornillos, clips y barra de instalación.

It is compatible with any keyless entry, alarm or remote starter system and comes with screws, clips and installation rod.

Diseño tradicional de pistola. Equipado con un torque de alta calidad.

Traditional gun style design. Made with high quality torque.

INSTRUCCIONES / INSTRUCTIONS

Esta guía es sólo un ejemplo, la forma de instalación puede variar de un automóvil a otro.

This guide is only an example; the installation may vary from car to car.

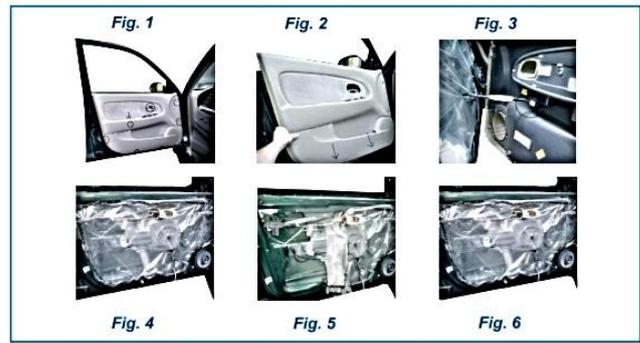
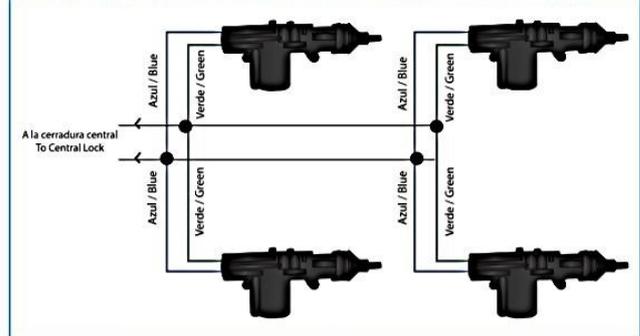


DIAGRAMA DE CONEXIÓN / CONNECTION DIAGRAM



ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS

Alimentación: 12 V =	Input: 12 V =
Fuerza de desplazamiento: Hasta 2,5 kg	Shifting force: Up to 2.5 kg
Distancia de desplazamiento: 19 mm	Shifting range: 19 mm
Tiempo de vida: Hasta 100000 operaciones	Consistently passes life operating cycle: Up to 100000 times
Dimensiones: 160 x 60 x 30 mm	Dimensions: 160 x 60 x 30 mm
Peso: 130 g	Weight: 130 g

Anexo 2 Características del actuador universal
Fuente: Steren

AWG	Diameter [inches]	Diameter [mm]	Area [mm ²]	Resistance [Ohms / 1000 ft]	Resistance [Ohms / km]	Max Current [Amperes]	Max Frequency for 100% skin depth
0000 (4/0)	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302	125 Hz
000 (3/0)	0.4096	10.40384	85	0.0618	0.202704	239	160 Hz
00 (2/0)	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	190	200 Hz
0 (1/0)	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	150	250 Hz
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 k Hz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 k Hz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.457	85 kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz

Anexo 3 Tabla de calibres y consumos máximos de corriente
Fuente: American Wire Gauge Sizes and Properties Chart

Anexo 4 Traducción del algoritmo de control

```
//          PROYECTO-PUERTA
//Libraries
#include <LowPower.h>      //Arduino SleepMode
#include <Servo.h>        //Servomotor
#include <Ultrasonic.h>    //US
#include <SoftwareSerial.h> //YX-V3

//States
#define Sleep 0
#define Scan 1
#define Cont 2
#define Free 3
#define Open 4
#define Wait 5
#define Still 6
#define Close 7
//Constantes
#define Deb 250 //Retardo para evitar rebotes del botón
#define DebOPT 500 //Retardo para leer decisión tomada
#define Decide 0 //Option Continuar
#define Yes 1 //Option Continuar
#define No 2 //Option Continuar
#define Invalid 3 //Option Continuar
#define MinD 40 //Mínima para bajar (cm)
#define tMax 60000 //Tiempo de apertura
//Definición de entradas y salidas
#define TX_yx 2 //MP3
#define RX_yx 3 //MP3
#define Touch 4 //Capacitivo
#define IN1 5 //Actuador Lineal - Puente H
#define IN2 6 //Actuador Lineal - Puente H
#define Handle 7 //Solenoides Manija
#define PRXMTY 8 //Proximidad
#define RadarPin 11 //Servo Radar
#define Trig 12 //Ultrasonico
#define Echo 13 //Ultrasonico
#define Lock A0 //Quitar seguros
#define Unlock A1 //Colocar seguros
#define Laser A2 //Laser
#define LDetect A3 //Fotorresistencia

//Creación de Objetos
Servo Radar;
Ultrasonico US (Trig, Echo);
SoftwareSerial mp3(TX_yx, RX_yx);
```

```

//Variables
byte Now = 0;          //Estado actual
byte Option = 0;      //Opción
int D = 0;            //Lectura de distancia
bool RadarObject = true; //Flag detección de objeto
bool LaserObject = true; //Flag detección de objeto
bool FlagSweep = true; //Para barrido de servo
bool FlagOnce = true; //Ejecutar solo una vez
byte i = 15;          //Grados del servo
static int8_t Send_buf[8] = {0}; //Variable que almacena comandos YX5300
//Variables para multitasking
unsigned long LastT = 0;
unsigned long ProcessT = 0;
unsigned long StartT = 0;
unsigned long CloseT = 0;
unsigned long StillT = 0;
long RemainT = 0;
//Functions adicionales
void Sweeping(byte a, byte b);
void Stoppedby();
void SendCMND(int8_t cmnd, int16_t dat);
//Configuracion y Ciclo principal
void setup() {
  CONFIG();
}
void loop() {
  StateMachine();
}
void CONFIG() {
  //Entradas-Salidas
  Serial.begin(9600);
  mp3.begin(9600);
  pinMode(Touch, INPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(Handle,OUTPUT);
  Radar.attach(RadarPin);
  pinMode(PRXMTY,INPUT);
  pinMode(Lock, OUTPUT);
  pinMode(Unlock,OUTPUT);
  pinMode(Laser, OUTPUT);
  pinMode(LDetect,INPUT);
  delay(500);
  SendCMND(0X09, 0X02); //Selecciona el dispositivo sd-card
  delay(200);
  Now = Sleep;
}

```

```

void StateMachine() {
  switch (Now) {
    case Sleep:
      SLP();
      break;
    case Scan:
      SCN();
      break;
    case Cont:
      CNT();
      break;
    case Free:
      FR();
      break;
    case Open:
      OPN();
      break;
    case Wait:
      WT();
      break;
    case Still:
      STL();
      break;
    case Close:
      CLS();
      break;
    default:
      break;
  }
}
//-----ESTADO SLEEP-----
void SLP() { //Ejecución Indefinida
  LowPower.idle(SLEEP_250MS, ADC_OFF, TIMER2_ON, TIMER1_ON, TIMER0_ON, SPI_OFF,
  USART0_ON, TWI_OFF);
  if (FlagOnce) {
    delay(1000);
    SendCMND(0X0A, 0X0000); //MP3 Sleep Mode
    digitalWrite(IN1, LOW);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    digitalWrite(Handle, HIGH);
    digitalWrite(Lock, LOW);
    digitalWrite(Unlock, LOW);
    digitalWrite(Laser, LOW);
    LastT = 0;
    ProcessT = 0;
    StartT = 0;
    CloseT = 0;
  }
}

```

```

StillT = 0;
RemainT = 0;
Option = 0;
D = 0;
RadarObject = true;
LaserObject = true;
i = 15;
Radar.write(i);
FlagSweep = true;
FlagOnce = false;
}
if (digitalRead(Touch) == HIGH) {
  SendCMND(0X0B, 0X0000); //MP3 Wake Up
  delay(500);
  Now = Scan;
  FlagOnce = true;
  //Serial.println("Inicio");
}
}
//-----ESTADO SCAN-----
void SCN() { //Ejecución definida
  D = US.read();
  Serial.println(D);
  if (D > MinD) {
    SendCMND(0X22, 0X1E02); //MP3 ABRIENDO
    Now = Free;
    Serial.println("Suficiente");
    StartT = millis();
  }
  else {
    SendCMND(0X22, 0X1E03); //MP3 SIN ESPACIO
    Now = Cont;
    Serial.println("Sin espacio");
    LastT = millis();
  }
}
//-----ESTADO CONTINUE-----
void CNT() { //Ejecucion Indefinida
  if ((digitalRead(Touch) == HIGH) && (millis() - LastT >= Deb)) {
    Option++;
    LastT = millis();
  }

  if ((Option == Yes) && (millis() - LastT >= DebOPT)) {
    SendCMND(0X22, 0X1E02); //MP3 ABRIENDO
    Option = Decide;
    Now = Free;
  }
}

```

```

Serial.println("Continuar");
StartT = millis();
}
else if ((Option == No) && (millis() - LastT >= DebOPT)) {
SendCMND(0X22, 0X1E05); //MP3 TERMINADO
Option = Decide;
Now = Sleep;
Serial.println("Finalizar");
}
else if ((Option >= Invalid) && (millis() - LastT >= DebOPT)) {
Option = Decide;
}
}
//-----ESTADO FREE-----
void FR() {
if (FlagOnce) {
digitalWrite(Laser, HIGH);
digitalWrite(Unlock, HIGH);
if (millis() - StartT >= 300) {
digitalWrite(Handle, LOW);
digitalWrite(Unlock, LOW);
delay(250);
digitalWrite(IN1, HIGH);
digitalWrite(IN2, LOW);
FlagOnce = false;
}
}
if (millis() - StartT >= 3500) {
Serial.println("Liberando");
digitalWrite(Handle, HIGH);
Now = Open;
LastT = millis();
StartT = millis();
FlagOnce = true;
}
}
//-----ESTADO OPEN-----
void OPN() {
Sweeping(15,160);
LaserObject = digitalRead(LDetect);
RadarObject = digitalRead(PRXMTY);
delay(10);
Serial.print(LaserObject);Serial.print(" Laser | Radar ");Serial.println(RadarObject);

ProcessT = millis() - StartT;
if (ProcessT >= tMax) {
SendCMND(0X22, 0X1E05); //MP3 TERMINADO

```

```

Now = Wait;
FlagOnce = true;
Serial.println("Tiempo");
LastT = millis();
}
Stoppedby();
}
//-----ESTADO WAIT-----
void WT() { //Ejecucion Indefinida
  if (FlagOnce) {
    digitalWrite(IN1, LOW);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    ProcessT = ProcessT + StillT;
    RemainT = tMax - ProcessT;
    FlagOnce = false;
  }

  if ((digitalRead(Touch) == HIGH) && (millis() - LastT >= Deb)) {
    Option++;
    LastT = millis();
  }

  if ((Option == Yes) && (millis() - LastT >= DebOPT)) {
    SendCMND(0X22, 0X1E04);//MP3 SEGUIR
    Option = Decide;
    Now = Still;
    FlagOnce = true;
    Serial.print("Seguir");
    StartT = millis();
  }
  else if ((Option == No) && (millis() - LastT >= DebOPT)) {
    SendCMND(0X22, 0X1E06);//MP3 CERRANDO
    Option = Decide;
    Now = Close;
    CloseT = 0;
    FlagOnce = true;
    Serial.println("Cerrar");
    StartT = millis();
  }
  else if ((Option >= Invalid) && (millis() - LastT >= DebOPT)) {
    Option = Decide;
  }
}
//-----ESTADO STILL-----
void STL() { //Ejecucion definida
  if (FlagOnce) {
    digitalWrite(IN1, HIGH);

```

```

digitalWrite(IN2, LOW);
FlagOnce = false;
Serial.print("Abriendo");
}
RadarObject = digitalRead(PRXYMTY);
LaserObject = digitalRead(LDetect);
delay(10);
Sweeping(15,160);
Serial.print(LaserObject);Serial.print(" Laser | Radar ");Serial.println(RadarObject);
StillT = millis() - StartT;
if (StillT >= RemainT || RemainT <= 0) {
  SendCMND(0X22, 0X1E05);//MP3 TERMINADO
  Now = Wait;
  RemainT = 0;
  FlagOnce = true;
  Serial.print("Tiempo");
  LastT = millis();
}
Stoppedby();
}

```

//-----ESTADO CLOSE-----

```

void CLS() { //Ejecucion definida
  if (FlagOnce) {
    digitalWrite(Laser, LOW);
    digitalWrite(Lock, HIGH);
    digitalWrite(IN1, LOW);
    digitalWrite(IN2, HIGH);
    if (millis() - StartT >= 50) {
      digitalWrite(Lock, LOW);
      FlagOnce = false;
    }
  }
  CloseT = millis() - StartT;
  if (CloseT >= (ProcessT + 3500)) {
    SendCMND(0X22, 0X1E05);//MP3 TERMINADO
    Now = Sleep;
    FlagOnce = true;
    Serial.println("Terminado");
  }
}

```

//-----ADDS-----

```

//RADAR BARRIDO
void Sweeping(byte a, byte b) {
  Radar.write(i);
  if (FlagSweep) {
    i++;
  }
}

```

```

    if (i >= b)
        FlagSweep = false;
    }
    else {
        i--;
        if (i <= a)
            FlagSweep = true;
        }
    }
}
//DETENCION DE APERTURA
void Stoppedby(){
    if ((LaserObject==false) || (RadarObject == false)) {
        SendCMND(0X22, 0X1E01);//MP3 OBJETO
        Now = Wait;
        FlagOnce = true;
        Serial.println("Objeto");
        LastT = millis();
    }
}
//ENVIAR COMANDOS AL MP3
void SendCMND(int8_t cmnd, int16_t dat)
{
    delay(20);
    Send_buf[0] = 0x7e; //Byte de inicio
    Send_buf[1] = 0xff; //Version
    Send_buf[2] = 0x06; //Numero de bytes del comando sin buf0 ni buf7
    Send_buf[3] = cmnd; //Comando
    Send_buf[4] = 0x00; //Sin feedback
    Send_buf[5] = (int8_t)(dat >> 8);//Data HIGH
    Send_buf[6] = (int8_t)(dat); //Data LOW
    Send_buf[7] = 0xef; //Byte de finalización
    for(uint8_t i=0; i<8; i++)//Enviar
    {
        mp3.write(Send_buf[i]);
    }
}
}

```

Anexo 5 Video de pruebas

El siguiente link redirige al video que expone el proyecto, las pruebas mencionadas en la sección de *VALIDACIÓN*

Link del video de pruebas: <https://youtu.be/L5NRCrmDPrk>

Anexo 6 Vínculos para hojas de datos de los componentes

Transistor 2n2222A: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/956542/FCI/2N2222A.html>

IRLZN44: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/441427/VISHAY/IRLZ44.html>

L298N: <https://leantec.es/wp-content/uploads/2019/05/LEANTEC-Documentacion-L298N-Rojo.pdf>

HC-SR04: <https://leantec.es/wp-content/uploads/2019/06/Leantec.ES-HC-SR04.pdf>

MP3 YX5300:

<https://github.com/0xcafed00d/yx5300/blob/master/docs/Serial%20MP3%20Player%20v1.0%20Manual.pdf>

Actuador universal AUT-090: http://sterenlatam.com/_imgs/doctosMX/aut-090-instr.pdf

SERVO SG90: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf

Arduino UNO: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>

Atmega328P: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/313656/ATMEL/ATmega328P.html>

TTP223-BA6: <https://radiokot.ru/konkursCatDay2014/53/01.pdf>

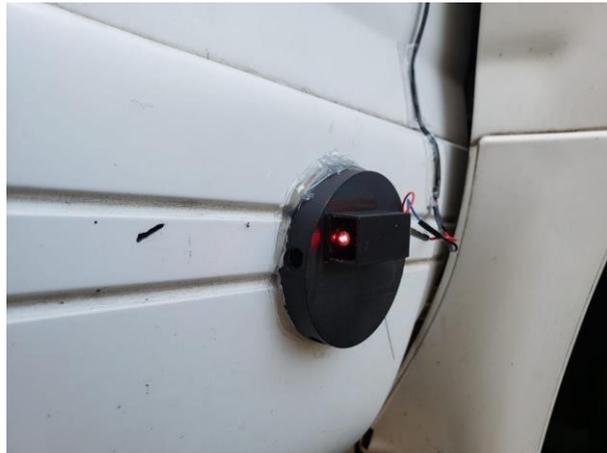
Voice Recognition Module V3:

https://www.elechouse.com/elechouse/images/product/VR3/VR3_manual.pdf

E18-D80NK: http://www.ett.co.th/productSensor/E18-D80NK/Manual_IR-Sensor%20Switch%20E18.pdf

KY-008: <http://www.electronicapty.com/modulo-sensor-laser-ky-008-para-arduino-detail?tmpl=component&format=pdf>

Anexo 7 Imágenes



Láser con base. Fuente: Elaboración propia



Fotorresistencia con base. Fuente: Elaboración propia



Actuador lineal acoplado a las bases con balancín. Fuente: Elaboración propia



Base y soportes a la carrocería. Fuente: Elaboración propia



Vista superior de base y actuador. Fuente: Elaboración propia



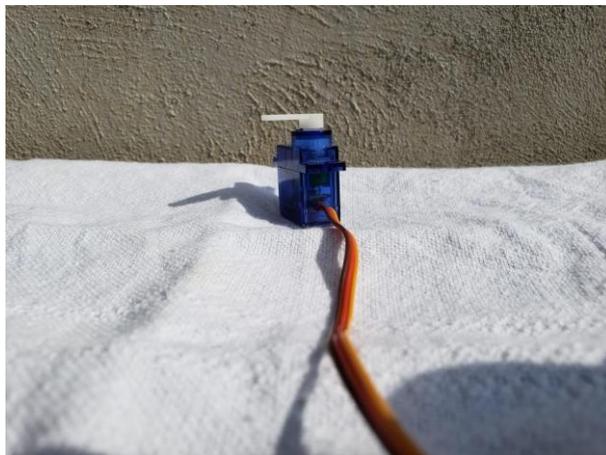
Pines de entrada de control de seguros. Fuente: Elaboración propia



Fusibles de protección para el prototipo. Fuente: Elaboración propia



Sensor touch. Fuente: Elaboración propia



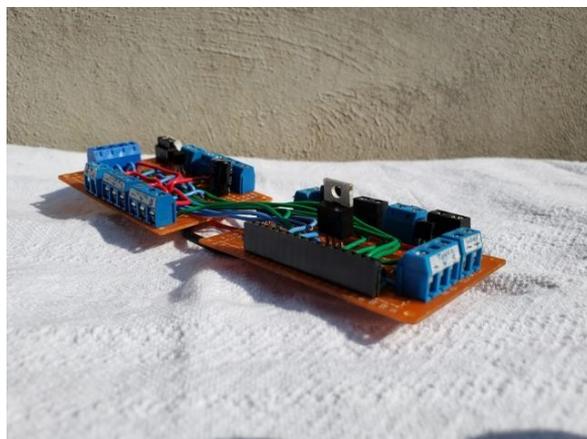
Servomotor de radar. Fuente: Elaboración propia



Sensor ultrasónico. Fuente: Elaboración propia



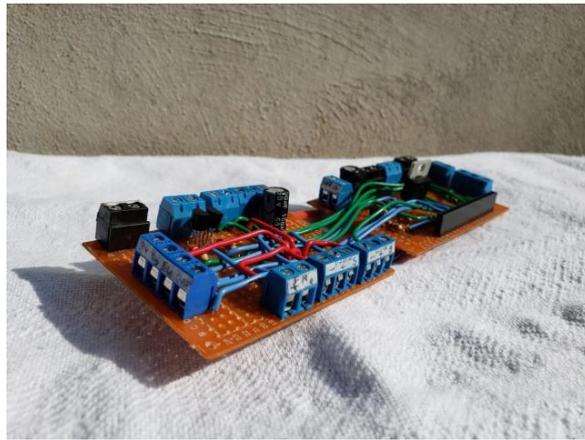
Base del circuito principal. Fuente: Elaboración propia



Circuito principal. Fuente: Elaboración propia



Sensor infrarrojo. Fuente: Elaboración propia



Circuito principal. Fuente: Elaboración propia



Módulo de audio. Fuente: Elaboración propia

BIBLIOGRAFÍA Y CIBERGRAFÍA

20 Minutos Editora S. L. (2017). *Estética automotriz, 30 por ciento de valor de reventa de un vehículo*.

Recuperado de: <https://www.20minutos.com.mx/noticia/196248/0/estetica-automotriz-30-por-ciento-de-valor-de-reventa-de-un-vehiculo/>

Aboitiz Saro F. (2011). *Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico*. Gaceta Oficial Del Distrito Federal.

Automatisierungstechnik, vol. 68, no 5, p. 312-324.

Automoción (2017). *Los diferentes tipos de puerta de la historia del automóvil*. Recuperado de:

<https://www.sport.es/es/noticias/automocion/distintos-tipos-puerta-historia-automovil-6161585>

Boxen (2018). *Precios. Revista, 2018*. Recuperado de: <https://boxen.com.mx/Precios2018.pdf>

Bull A. & Comisión Económica para América Latina (2003). *Congestión de tránsito: el problema y cómo enfrentarlo*. CEPAL.

Cárdenas S. & Lucas M. (2009). *Fallo humano: la quiebra de un paradigma*. Apuntes de Psicología, 27 (1), pp. 21-51.

Castro Alatorre L. R. (2016). *Automatización de la puerta deslizable de vehículos tipo van*. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21631/Rodrigo%20Castro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Clarín (2016). *Un 12% más que el año pasado. Hay 5 denuncias diarias por daños a autos tras peleas entre vecinos*. Recuperado de: https://www.clarin.com/home/hay-5-denuncias-diarias-danos-autos-peleas-vecinos_0_SJBUttw7g.html

E.M.E. de mujer (2017). *Cómo reparar los rayones de pintura del carro*. Recuperado de: <https://us.emedemujer.com/lifestyle/hogar/reparar-los-rayones-pintura-del-carro/>

El Economista (2018). *Conozca cómo se reduce el valor de su automóvil*. Recuperado de: <https://www.economista.com.mx/finanzaspersonales/Conozca-como-se-reduce-el-valor-de-su-automovil-20180304-0053.html>

El Empresario (2010). *Talleres de pintura de autos requieren profesionalización para no contaminar*. Recuperado de: <https://elempresario.mx/actualidad/talleres-pintura-autos-requieren-profesionalizacion-no-contaminar>

El Financiero (2014). Ingeniería automotriz, de las carreras mejores pagadas. Recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/ingenieria-automotriz-de-las-carreras-mejores-pagadas/#:~:text=La%20carrera%20de%20ingeniero%20de,seg%C3%BAAn%20datos%20del%20Observatorio%20Laboral.>

El Informador (2011). *Adiós al daño de portazos*. Recuperado de: <https://www.informador.mx/Suplementos/Adios-al-dano-de-portazos-20111008-0186.html>

Escamilla Gutiérrez X. & Hernández Pacheco M. A. (2011). *Control electrónico para la apertura de una puerta de acceso vehicular vía inalámbrica, con datos encriptados y sensores para detectar obstáculos y mal funcionamiento*. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11570/54.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Glassdoor (2021). ¿Cuánto gana un ingeniero automotriz? Recuperado de: https://www.glassdoor.com.mx/Sueldos/ingeniero-automotriz-sueldo-SRCH_KO0,20.htm

Graessler I. & Hentze J. (2020). *The new V-Model of VDI 2206 and its validation*.

Guerrero F. (2002). *Seguridad y Confort en los Automóviles Modernos*. Revista Universidad-Verdad, Universidad del Azuay, p. 239.

Gutián Vizoso A. (2014). *El invento para decir adiós a los portazos en el coche*. Recuperado de: <https://noticias.coches.com/noticias-motor/adios-a-los-portazos-en-el-coche/145560>

Hernández Villa I. (2018). *El crecimiento de la ciudad y su impacto en el transporte público*. Recuperado de: <http://www.trcimplan.gob.mx/blog/el-crecimiento-de-la-ciudad.html>

Honda (2011). Paneles de puerta del. *Para HONDA coche CR-V Executive 5 puertas 6 velocidades manual 2011*. Tabla de precios. Recuperado de: https://www.repuestos-honda.es/honda-coche/CR-V/2011/EXECUTIVE/PARTES-DE-LA-CARROCERIA/PANELES-DE-PUERTA-DEL/17SWAB01/B__5320/6/20062

Hottois G. (1991). *El paradigma bioético: una ética para la tecnociencia*. Anthropos Editorial, Vol. 8.

Instituto Mexicano para la Competitividad & Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (2016). *El peso de los estacionamientos*. Recuperado de: <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Peso-de-los-estacionamientos-IMCO-ITDP-final.pdf>

Instituto Mexicano para la Competitividad (2019). *Índice de Movilidad Urbana. Barrios mejor conectados para ciudades más incluyentes*. Centro de Investigación en Política Pública. Recuperado de: https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2019/01/I%CC%81ndice-de-Movilidad-Urbana_Documento.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). *Discapacidad*. Recuperado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx?tema=P>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021). *Parque vehicular*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>

Jaguar Land Rover (2018). *Jaguar Land Rover abre la puerta a un acceso sencillo con su tecnología automática*. Recuperado de: <https://media.jaguarlandrover.com/es-es/news/2018/12/jaguar-land-rover-abre-la-puerta-un-acceso-sencillo-con-su-tecnologia-automatica>

Játiva Haro A. R. (2010). *Sistema de puertas con sensores para la apertura en paradas autorizadas en buses del servicio urbano del Distrito Metropolitano de Quito*. Universidad Nacional del Ecuador. Recuperado de: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/207/1/T-UIDE-0178.pdf>

La Vanguardia (2019). *Ala de gaviota, tijera, suicida... Las puertas de coche más originales*. Recuperado de: <https://www.lavanguardia.com/motor/actualidad/20190903/463695598517/puertas-coche-originales-ala-gaviota-tijera-suicida.html>

La Vanguardia (2020). *Continental inventa un sensor acústico para proteger la carrocería de tu vehículo*. Recuperado de: <https://www.lavanguardia.com/motor/innovacion/20200114/472897844392/continental-ces-2020-inventa-un-sensor-acustico-cossy-tecnologia-que-protege-carroceria-vehiculo-aranazos-coche.html>

Mañas, J. A. (1997). *Análisis de algoritmos: Complejidad*.

Martínez Freire P. F. (2013). *La enseñanza de la filosofía de la mente y el desarrollo de la sociedad humana*. Ludus Vitalis, vol. XXI, núm. 39, pp. 283-286.

- Monsalve C., Nicodemo J., Oñate M., Francisco N. (2018). *Guía para la docencia de servomotores*. Trabajo de titulación, SEW. [Online]. Recuperado de: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42482/3560901544252UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Motorpasion (2015). *Si pensabas que las puertas del Tesla Model X serían un estorbo he aquí la prueba de lo contrario*. Recuperado de: <https://www.motorpasion.com.mx/tesla/si-pensabas-que-las-puertas-del-tesla-model-x-serian-un-estorbo-he-aqui-la-prueba-de-lo-contrario>
- Mundorepuesto (2021). Actuator de Seguro de la Puerta para Nissan Altima Nissan Frontier Nissan Pathfinder Nissan Xterra Marca STANDARD MOTOR. Recuperado de: <https://www.mundorepuesto.com/parte/actuador-de-seguro-de-la-puerta-para-nissan-altima-nissan-frontier-nissan-pathfinder-nissan-xterra-marca-standard-motor-numero-de-parte-dla-34/>
- Neomotor (2021). *Cinco trucos caseros para eliminar abolladuras del coche*. Recuperado de: <https://neomotor.sport.es/conduccion/cinco-trucos-caseros-para-eliminar-abolladuras-del-coche.html>
- Novoa Domínguez A. & Quijada Camacho F.J. (2008). *Propuesta de multi-estacionamientos privados equipados con sistema automático de elevación para automóviles enfocadas a unidades habitacionales*. Insituto Politécnico Nacional.
- Organización Mundial de la Salud (2011). *Informe mundial sobre la discapacidad*. Recuperado de: https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/
- Padilla Muñoz A. (2010). *Discapacidad: contexto, concepto y modelos*. International Law: Revista Colombiana de Derecho Internacional 16, pp.381-414. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/824/82420041012.pdf>
- Periodismo del Motor (2016). *Las puertas más inusuales de los coches*. Recuperado de: <https://periodismodelmotor.com/puertas-inusuales-coches/136468/>
- Pinilla Alonso T. (2019). *El Automóvil 4.0*. Trabajo de fin de Grado, Universidad de Sevilla.
- Plaza D. (2020). *¿Me pueden multar por rayar un coche, aunque sea sin querer?* Recuperado de: <https://www.motor.es/noticias/multa-por-rayar-coche-202069380.html>

Powdertronic (2016). *Cabinas de pintura: una medida en pro del medio ambiente, la seguridad industrial y la salud*. Recuperado de: <https://powdertronic.com/cabinas-de-pintura-una-medida-en-pro-del-medio-ambiente-la-seguridad-industrial-y-la-salud/>

Publimetro (2018). *¿Se dañan las puertas de un auto al azotarlas o simplemente es molesto?* Recuperado de: <https://www.publimetro.com.mx/mx/autosrpm/2018/06/11/portazos-azotar-puertas-auto.html>

Rocha Morelos D. O. (2020). *Plataforma digital guía para el diseño de proyectos mecatrónicos basada en la metodología modelo V-cuadrante*. Universidad Autónoma De Ciudad Juárez.

SOLARIS (2021). American Wire Gauge Conductor Size Table. Recuperado de: <https://www.solaris-shop.com/content/American%20Wire%20Gauge%20Conductor%20Size%20Table.pdf>

Tixilema Poaquiza F. A. (2015). *Construcción del Prototipo de un Parqueadero Interactivo Automatizado para el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Espoch*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4177/1/85T00365.pdf>

Trujillo O., et al. (2019). *Criterios de implementación ISO 14000:2015 Caso Estudio Sector recubrimiento vehicular*. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/26088/jfrianacar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valenzuela Cerón J. E. (2013). *Manual de tipos de motores eléctricos, reconocimiento y sus aplicaciones en la industria*. Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica Nacional. [Online]. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6069/1/CD-4796.pdf>

Vicencio Miranda A. (2017). *La industria automotriz en México: Antecedentes, situación actual y perspectivas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Contaduría y Administración, núm. 221, pp. 209-246.

Villegas C., Mesias H. (2011). *Estudio de impacto ambiental de los talleres de pintura automotriz en la Ciudad de Jipijapa*. UNESUM, 2011. Recuperado de: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/324>