



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

INSTITUTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AUTOMOTRIZ

TESIS

“SISTEMA INALÁMBRICO DE ARRANQUE E INMOVILIZADOR
PARA VEHÍCULOS PICK UP D21 Y D22 DE LA FIRMA NISSAN”

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

PRESENTA

ANGEL HERIBERTO VELASCO MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.E.D.I. HERIBERTO ILDEFONSO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. ESTEBAN OSVALDO GUERRERO RAMÍREZ

H. CD. DE HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA; MARZO DE 2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo de tesis a mi padre Heriberto Velazco Cruz (QEPD). Gracias por la confianza, apoyo y motivación que me brindaste; tus sabias palabras y consejos empiezan a rendir frutos. Sin importar los años que he pasado sin tí, permaneces en mi corazón para guiarme y con mucho orgullo puedo decir que lo logramos.

De la misma manera, dedico este trabajo con todo mi amor a mi madre Margarita Martínez Gómez; por tu esfuerzo y apoyo incondicional que he sentido conmigo en todo momento y en cada una de mis etapas.

A mi hermana Erika, quien desde mi infancia ha sido un ejemplo a seguir. Has sido la mayor fortaleza durante mi estancia en la universidad, agradezco tu paciencia y apoyo incondicional.

A hermana Adriana y a mi cuñado Edgar, quienes me motivaron a ingresar a la Universidad Tecnológica de la Mixteca; les agradezco su valioso apoyo y los invaluable consejos que me han brindado.

Angel Heriberto

Agradecimientos

Agradezco especialmente al profesor Heriberto I. Hernández Martínez, por aceptar trabajar con una idea, que al principio sólo era un sueño y que ahora se ha hecho realidad; por compartirme sus conocimientos y experiencias, por su motivación y entusiasmo al dirigir este trabajo de tesis. De igual modo agradezco su confianza, su sincera amistad y sus buenos consejos.

Al profesor Esteban O. Guerrero Ramírez, por sus valiosas asesorías durante el desarrollo del presente trabajo de tesis.

A Edgar, Jazziel, Juan Daniel, Francisco y César, por su amistad y apoyo incondicional en todo momento.

A mis primos: Gustavo, Erick, Miguel Ángel y Luis, quienes me apoyaron en todo momento y me han brindado toda su confianza.

A la Universidad Tecnológica de Mixteca, por permitirme realizar este trabajo de tesis en sus instalaciones.

Angel Heriberto

Índice General

Dedicatoria	iii
Agradecimientos.....	v
Índice General	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tablas	xiii
Resumen	xv
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Sistema de Arranque	1
1.2. Estado del Arte.....	3
1.3. Planteamiento del problema.....	11
1.4. Justificación.....	15
1.5. Hipótesis	16
1.6. Objetivos	16
1.6.1. Objetivo general	16
1.6.2. Objetivos específicos.....	16
1.7. Metodología de Desarrollo	17
Capítulo 2. Marco Teórico.....	19
2.1. Microcontroladores.....	19
2.1.1. Tiva C de Texas Instruments	20
2.1.2. Freedom FRDM-KL25Z de Freescale.....	21
2.1.3. Blue Pill de Tomson	22
2.1.4. Chipkit UNO32 de Microchip.....	23
2.1.5. Arduino UNO	23
2.1.6. ESP32 de Espressif Systems	24
2.2. Sistema de Arranque	26
2.3. Sistema Inmovilizador	31
Capítulo 3. Sistema Inalámbrico de Arranque e Inmovilizador.....	35
3.1. Especificaciones del SiSAV-Key.....	35
3.2. Partición hardware/software	38
3.3. Iteración e implementación	38

3.4. Diseño detallado hardware y software	39
3.4.1. Diseño detallado hardware	39
3.4.1.1. Integración de los componentes en el módulo ESP32.....	39
3.4.1.2. Relevadores	41
3.4.1.1. Regulador de voltaje	45
3.4.1.2. Regulador Mini 560 Step Down	45
3.4.1.3. Optoacopladores.....	47
3.4.1.4. Temporizador integrado 555	49
3.4.1.5. Kit De 4 Actuadores Extreme EX-DLK3000.....	52
3.4.2. Diseño detallado SW.....	53
3.4.2.1. Arduino IDE.....	53
3.4.2.2. MIT App Inventor.....	54
3.4.2.1. EAGLE	62
3.4.2.2. SolidWorks	62
Capítulo 4. Resultados.....	65
4.1. Integración Hardware/Software	65
4.2. Pruebas.....	65
4.2.1. Pruebas de caja gris.....	65
4.2.2. Pruebas de caja negra.....	78
4.3. Actualización del sistema	87
Capítulo 5. Conclusiones	89
5.1. Limitaciones.....	91
5.2. Líneas Futuras de Investigación	92
Referencias Bibliográficas	93
Anexo A. Código del SiSAV-Key en Arduino IDE.....	A-1
Anexo B. Diseño de la PCB del SiSAV-Key.....	B-1
Anexo C. Diseño de la Carcaza en SolidWoks.....	C-1

Índice de Figuras

Figura 1.1. Motor de arranque (Murugesan V. M., 2011).....	2
Figura 1.2. Circuito de arranque (Denton, 2018).....	3
Figura 1.3. Logotipo OnStar (Chevrolet, 2020).....	4
Figura 1.4. Sistema de asistencia OnStar (Chevrolet, 2020).....	5
Figura 1.5. Interfaz de la aplicación myChevrolet (Chevrolet, 2020).....	5
Figura 1.6. Interfaz del contenido de la app myChevrolet (Chevrolet, 2020).....	6
Figura 1.7. Sistemas operativos compatibles para FordPass (Ford, 2023).....	6
Figura 1.8. Interfaz de la aplicación FordPass (Ford, 2023).....	7
Figura 1.9. Función de parquímetro (Ford, 2023).....	8
Figura 1.10. Asistencia a través de chats o llamadas telefónicas (Ford, 2023).....	8
Figura 1.11. Interfaz de Viper SmartStart (Russo, 2015).....	9
Figura 1.12. Diagrama de interconexión (VIPER, 2023).....	9
Figura 1.13. Viper SmartStart para relojes inteligentes (Russo, 2015).....	10
Figura 1.14. Diagrama de bloques de un sistema de alarma (Denton, 2021).....	11
Figura 1.15. Diagrama de bloques del sistema propuesto.....	12
Figura 1.16. Diagrama de flujo del sistema a desarrollar.....	14
Figura 1.17. Gráfica de automóviles más robados en México durante 2020.....	15
Figura 1.18. Diagrama del ciclo de vida del desarrollo de sistemas embebidos (Berger, 2002).....	17
Figura 2.1. Organización general de un MCU.....	20
Figura 2.2. Placa de desarrollo Tiva C (Texas Instruments, 2013).....	21
Figura 2.3. Placa de desarrollo NXP-Freedom FRDM-KL25Z Kinetis ARM.....	22
Figura 2.4. Placa de desarrollo Blue Pill STM32 (Tolocka, 2021).....	22
Figura 2.5. ChipKIT UNO32 (Digilent, 2015).....	23
Figura 2.6. Arduino UNO (Suárez Guedes, 2020).....	24
Figura 2.7. ESP32 de 30 terminales (Spanulescu, 2020).....	25
Figura 2.8. Sistema de arranque como parte del sistema eléctrico completo (Denton, 2018).....	27
Figura 2.9. Par de arranque y par de arranque del motor (Denton, 2018).....	27
Figura 2.10. Circuito básico de arranque (Denton, 2018).....	28
Figura 2.11. Sistema de arranque sin llave (Denton, 2018).....	29

Figura 2.12. Sistema de arranque para vehículos D21 y D22 de Nissan (Mecánica Automotriz, 2017).	30
Figura 3.1. Diagrama general del SiSAV-Key.	36
Figura 3.2. Diagrama de estados del SiSAV-Key.	37
Figura 3.3. GPIO del módulo ESP32.	40
Figura 3.4. Componentes de un electroimán (Coello T., 2014).	41
Figura 3.5. Relevador de simple trabajo (Coello T., 2014).	42
Figura 3.6. Relevador de doble trabajo (Coello T., 2014).	42
Figura 3.7. Relevador de conmutación (Coello T., 2014).	43
Figura 3.8. Tipos de relevadores especiales (Coello T., 2014).	43
Figura 3.9. Esquema de conexión del ESP32 con los relevadores.	44
Figura 3.10. Mini 560 Regulador Step Down (UNIT Electronics, 2023).	46
Figura 3.11. Esquema de conexión del regulador de voltaje Mini 560 Step Dow en la etapa de potencia.	47
Figura 3.12. Esquema de conexión del regulador de voltaje Mini 560 Step Dow en el monitoreo de frenos.	47
Figura 3.13. LED a fotodiodo y LED a fototransistor (Floyd, 2008).	47
Figura 3.14. Encapsulados típicos de los optoacopladores (Floyd, 2008).	48
Figura 3.15. Aislamiento entre el módulo ESP32 y el subsistema de seguros eléctricos.	49
Figura 3.16. Aislamiento entre el módulo ESP32 y la señal del freno de pedal.	49
Figura 3.17. Modos de operación del temporizador 555 (Coughlin y Driscoll, 1999).	50
Figura 3.18. Encapsulado de doble línea (vista superior) (Coughlin y Driscoll, 1999).	50
Figura 3.19. Esquemático del monitoreo de freno haciendo uso del temporizador integrado 555.	51
Figura 3.20. Kit EX-DLK3000 de la firma Extreme.	52
Figura 3.21. Dispositivo móvil Redmi Note 9.	55
Figura 3.22. Apartado para bloquear aplicaciones en Android 11.	55
Figura 3.23. Diagrama de flujo que muestra la secuencia de la aplicación móvil.	56
Figura 3.24. Icono de la aplicación SiSAV-Key.	57

Figura 3.25. Interfaz gráfica de usuario de la aplicación SiSAV-Key.....	57
Figura 3.26. Selección del dispositivo móvil con el SiSAV-Key vía Bluetooth...	58
Figura 3.27. Icono de Bluetooth en azul, indicando que la conexión Bluetooth fue exitosa.	58
Figura 3.28. Código en MIT App Inventor para la conexión Bluetooth.	58
Figura 3.29. Dinámica de la aplicación durante la apertura y cierre de seguros eléctricos.	59
Figura 3.30. Código en MIT App Inventor para abrir y cerrar los seguros del vehículo.....	59
Figura 3.31. Botón Start/Stop en la posición Accesorios y en la posición ON. ..	60
Figura 3.32. Botón Start/Stop en la posición Start y en la posición OFF.	61
Figura 3.33. Código en MIT App Inventor para el subsistema de arranque.	61
Figura 3.34 Código en MIT App Inventor para el botón salir.	62
Figura 4.1. Arquitectura interna del SiSAV-Key.	65
Figura 4.2. Conexión vía Bluetooth entre el dispositivo móvil y el SiSAV-Key.	66
Figura 4.3. Conexión Bluetooth correcta.	66
Figura 4.4. LED azul que indica que los seguros eléctricos están abiertos.	67
Figura 4.5. LED rojo que indica que los seguros eléctricos están cerrados.	68
Figura 4.6. Accesorios activados.....	68
Figura 4.7. Posición ON activada.....	69
Figura 4.8. Start accionado.....	70
Figura 4.9. Subsistema de arranque apagado.	70
Figura 4.10. Estado del SiSAV-Key cuando se presiona el botón Salir.	71
Figura 4.11. PCB del SiSAV-Key.	71
Figura 4.12. Prueba al control de accesorios.	72
Figura 4.13. Prueba al control de ON.	73
Figura 4.14. Prueba al subsistema inmovilizador.....	73
Figura 4.15. Prueba al control del Start.	74
Figura 4.16. Batería LTH tipo L-22F-450.	74
Figura 4.17. Voltaje de la batería.....	75
Figura 4.18. Voltaje medio en el interruptor de encendido.	75
Figura 4.19. Voltaje al accionar el sistema de accesorios.	76
Figura 4.20. Voltaje al accionar el sistema de ON.	77

Figura 4.21. Voltaje al accionar la marcha.	77
Figura 4.22. voltaje en el interruptor del freno de pedal.....	78
Figura 4.23. Carcasa del SiSAV-Key diseñada en SolidWorks.....	79
Figura 4.24. Instalación del SiSAV-Key.....	79
Figura 4.25. Voltajes de salidas para el sistema de arranque.	80
Figura 4.26. Vehículo Pick Up D21 donde se instaló el SiSAV-Key.	80
Figura 4.27. Bluetooth del dispositivo móvil activado.....	81
Figura 4.28. Icono de la aplicación SiSAV-Key.....	81
Figura 4.29. Ventana de seguridad de la aplicación móvil.....	82
Figura 4.30. Interfaz de la aplicación SiSAV-Key.	82
Figura 4.31. Selección de dispositivo Bluetooth.....	83
Figura 4.32. Bluetooth conectado.	83
Figura 4.33. Seguros abiertos.	84
Figura 4.34. Seguros cerrados.....	84
Figura 4.35. Accesorios activados.	85
Figura 4.36. On activado.	85
Figura 4.37. Pick Up D21 encendida.	86
Figura 4.38. Condiciones para apagar el vehículo.	86

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Comparación de sistemas MCU.....	25
Tabla 3.1. División hardware/software del SiSAV-Key.	38
Tabla 3.2. Herramientas para el desarrollo del SiSAV-Key.....	38
Tabla 3.3. Asignación de las terminales del módulo ESP32 al SiSAV-Key.	39
Tabla 3.4. Modos de energía del módulo ESP32.....	40
Tabla 3.5. Relación de rendimiento y temperatura de los módulos mini 560 (UNIT Electronics, 2023).....	46

Resumen

La inseguridad constituye uno de los grandes problemas de México y, en particular, el robo de vehículos se ha hecho notar cada vez más debido a que ha ido incrementando con el paso de los años. Por ello, este trabajo de tesis propone realizar un sistema de seguridad antirrobo llamado sistema inalámbrico de arranque e inmovilizador para vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan (SiSAV-Key).

El presente documento describe el diseño del SiSAV-Key y su implementación en vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan, los cuales abarcan los modelos a partir de 1985 hasta el modelo 2016. El propósito de este trabajo de tesis es integrar a estos vehículos un sistema de seguridad a un bajo costo.

El SiSAV-Key es un sistema embebido que controla el arranque, la inmovilización, la apertura y cierre de los seguros del vehículo de manera inalámbrica. Este sistema se implementó en un módulo ESP32 encargado de recopilar, procesar y enviar las señales correspondientes para suministrar alimentación a cada uno de sus subsistemas; es importante mencionar que el sistema es controlado desde un dispositivo móvil Xiaomi Redmi Note 9 con sistema operativo Android 11 mediante una aplicación desarrollada en App MIT Inventor.

Capítulo 1. Introducción

Los sistemas de seguridad en el vehículo han evolucionado con el paso del tiempo, de modo que los fabricantes han creado diversos sistemas inmovilizadores con el objetivo de aumentar la seguridad del vehículo y del conductor. Actualmente en el mercado automotriz se cuenta con los siguientes tipos de sistemas de inmovilización: inmovilizador con comando remoto infrarrojo, inmovilizador con teclado numérico e inmovilizador con llave *transponder*. Se hace énfasis en la importancia que tienen estos sistemas de seguridad en el vehículo, sin embargo, cabe señalar que regularmente son incluidos sólo en vehículos de alta gama, y por ello la necesidad de diseñar un sistema inalámbrico de arranque e inmovilizador en vehículos Pick Up D21 y D22 (NP300) de la firma Nissan.

1.1. Sistema de Arranque

Desde que el automóvil empezó a rodar a finales del siglo XVIII y hasta 1911, para encender su motor de combustión y arrancarlo, los pilotos tenían que cargar con una manivela que incrustaban bajo la parrilla y con ella ponían en funcionamiento el sistema de propulsión. Este esfuerzo físico conllevaba el riesgo de romperle el brazo al operador si se descuidaba, ya que cuando el motor arrancaba la manivela giraba en retroceso. El mecanismo de manivela fue sustituido por el motor de arranque eléctrico, creado por el inventor estadounidense Charles Franklin Kettering para la industria automotriz y que General Motors implementó por primera vez en su modelo Cadillac Touring Edition (El Tiempo, 2012).

A pesar de esa innovadora facilidad que permitía iniciar la marcha sin ningún esfuerzo, hubo varios modelos que décadas después siguieron usando como recursos la manivela y la fuerza del conductor; por ejemplo, el Volkswagen Tipo 1, el Renault 4 y el Citroën 2CV (El Tiempo, 2012).

El arranque del motor es una fase crucial en el funcionamiento de los motores de automóviles y el motor de arranque, comúnmente conocido como marcha, juega un papel vital en este breve período transitorio (Murugesan V. M., 2011).

El motor de arranque es el elemento clave de un sistema de encendido automotriz ya que convierte la energía eléctrica de la batería en energía mecánica para arrancar el motor (véase Figura 1.1). La calidad del arranque del motor influye en las emisiones y también en la capacidad de conducción del vehículo. La función principal del sistema de arranque es proporcionar par de arranque al cigüeñal del motor de combustión interna hasta que se alcancen RPM (Revoluciones por minuto) suficientes para que el motor entre en funcionamiento. El par generado por el motor de arranque se amplifica a través de dos o tres etapas de reducción de engranajes para poder girar el eje del motor de cero hasta aproximadamente 200 RPM (Murugesan V. M., 2011).

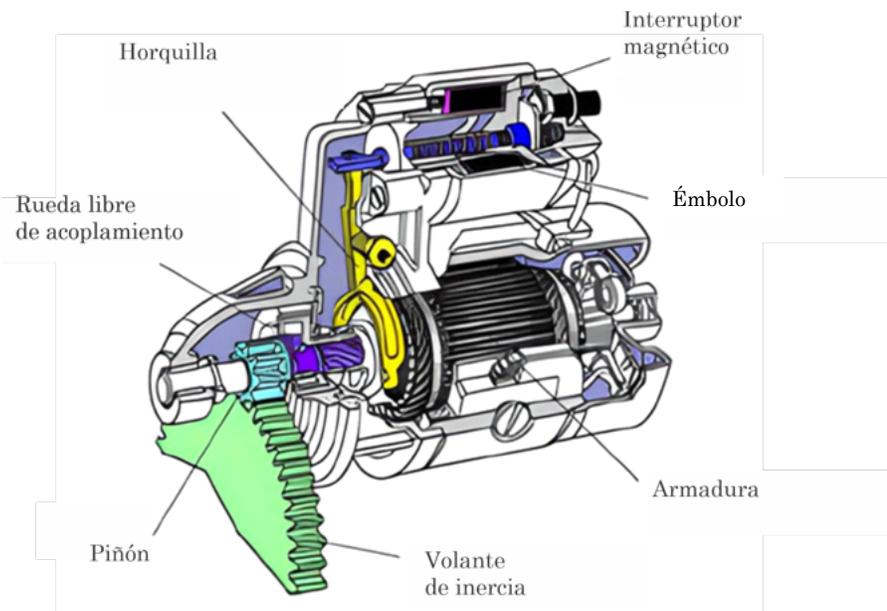


Figura 1.1. Motor de arranque (Murugesan V. M., 2011).

En la Figura 1.2 se muestra un circuito de arranque básico, en donde sus componentes principales son: batería, interruptor de arranque (que suele ser parte del interruptor de encendido), solenoide y motor (que conforman el motor

de arranque), los cables de conexión y el circuito de retorno a tierra. Los cables de la batería y del arrancador son de construcción resistente para transportar una elevada corriente eléctrica al motor. Los cables de control son de baja corriente y de tamaño estándar; si fuera necesario reemplazar alguno de estos cables, siempre se deben usar cables del mismo tamaño, especificados por el fabricante del vehículo (Denton, 2018).

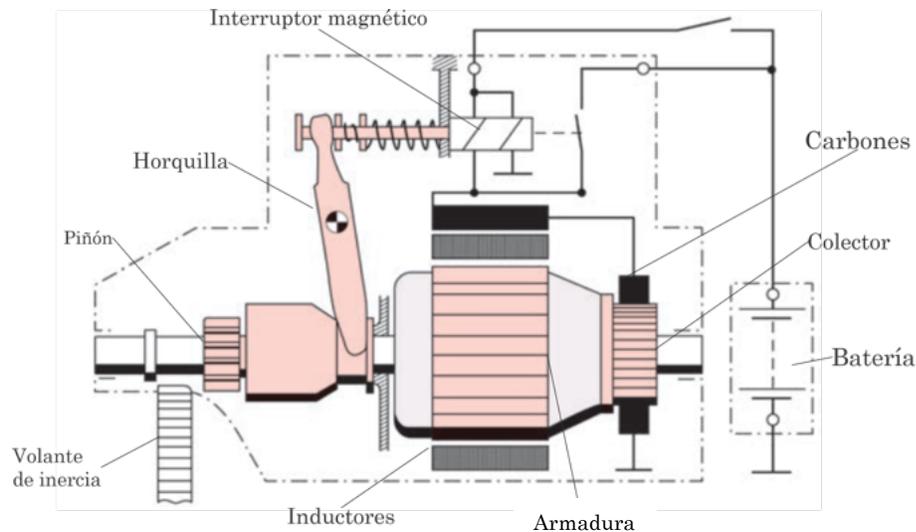


Figura 1.2. Circuito de arranque (Denton, 2018).

Los circuitos del motor de arranque pueden tener conmutación automática adicional para evitar que el motor de arranque falle en situaciones particulares. Los sistemas de transmisión automática incorporan un interruptor inhibidor en el selector de marchas que permite que el motor arranque sólo en las posiciones de estacionamiento y punto muerto. Esto evita que el motor arranque con la transmisión engranada, lo que podría provocar que el vehículo se desplace inesperadamente (Denton, 2018).

1.2. Estado del Arte

A continuación, se describen tres soluciones propietarias que se consideran para abordar la propuesta del presente trabajo.

La aplicación OnStar (Mychevrolet App) ofrece un servicio de asistencia que opera gracias a un sistema incluido en algunos vehículos de la firma General

Motors (véase Figura 1.3). Cuenta con el respaldo de asesores disponibles las 24 horas del día, los 365 días del año. OnStar se encuentra disponible en 26 modelos de las 4 marcas de General Motors, incluyendo Chevrolet Trax, Spark NG, GMC Acadia, Buick Encore o Cadillac XT5.



Figura 1.3. Logotipo OnStar (Chevrolet, 2020).

Los vehículos compatibles con este sistema de asistencia incorporan tres botones ubicados en el espejo retrovisor como se observa en la Figura 1.4. Estos botones conectan con un asesor encargado de ofrecer los siguientes servicios:

- Comando de voz (negro): permite recibir una guía, programar rutas y conocer más detalles del sistema.
- Diagnóstico (azul): mediante esta opción se cuenta con un mecánico de copiloto. Con este botón, un asesor puede revisar el vehículo a distancia, para saber si algo está mal. También permite asistencia en tiempo real respecto a factores como falta de combustible, avería en una llanta o algún suceso en la carretera. Por último, permite la navegación paso a paso.
- SOS (rojo): si se presenta una emergencia, se presiona este botón y un asesor envía ayuda necesaria mientras se mantiene una comunicación hasta que ésta llegue. Se pueden reportar accidentes de terceros, brinda ayuda en caso de desastres naturales, y en caso de tener un accidente, el asesor se comunica para conocer el estado de las personas involucradas en el accidente y, en dado caso de no contestar, envía ayuda a la ubicación registrada.



Figura 1.4. Sistema de asistencia OnStar (Chevrolet, 2020).

Otra aplicación móvil es myChevrolet, que pretende aprovechar el máximo potencial del vehículo desde un teléfono inteligente. Permite encender y apagar remotamente el motor del vehículo, cerrar o abrir las puertas, activar las luces y el claxon, todo esto desde tu teléfono inteligente (véase Figura 1.5).



Figura 1.5. Interfaz de la aplicación myChevrolet (Chevrolet, 2020).

La aplicación myChevrolet está disponible en App Store y Google Play para los modelos 2010 en adelante y proporciona los siguientes servicios:

- Comandos remotos.
- Diagnóstico del vehículo.
- Compartir ubicación.
- Localización del vehículo.
- Conductor inteligente Chevrolet.
- Información de Wi-Fi Hotspot y consumo de datos.
- Navegación conectada.

- Manual de propietario del vehículo.
- Localizar el concesionario más cercano.
- Programar mantenimiento del vehículo.
- Línea de soporte y asistencia.

En la Figura 1.6 se puede apreciar la interfaz del contenido de la app myChevrolet.

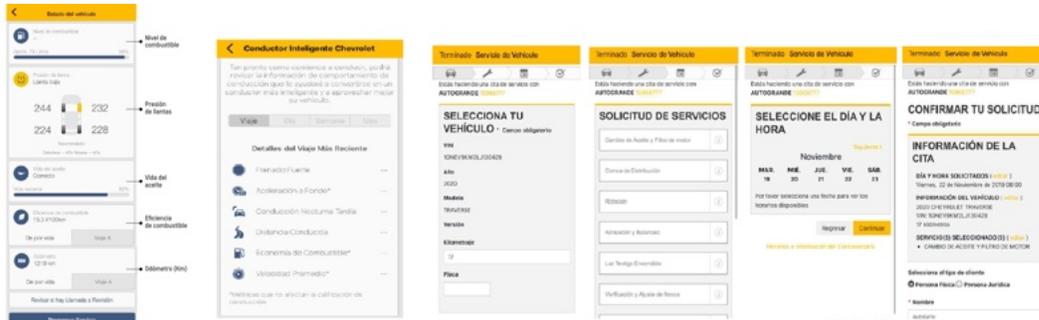


Figura 1.6. Interfaz del contenido de la app myChevrolet (Chevrolet, 2020).

Los principales beneficios de la aplicación myChevrolet son: comodidad de controlar el vehículo desde un teléfono inteligente (enviar destinos desde la app al sistema de navegación, controlar remotamente funciones como encender/apagar motor y abrir/cerrar puertas), y control a través del monitoreo y administración del vehículo (pedir asistencia en el camino desde la aplicación y ver información de diagnóstico del vehículo).

Por otro lado, Ford proporciona la aplicación FordPass que tiene como objetivo simplificar y ayudar a sus clientes. Está disponible a través del App Store de Apple o Google Play de Android (véase Figura 1.7).



Figura 1.7. Sistemas operativos compatibles para FordPass (Ford, 2023).

FordPass viene instalado de fábrica en los siete productos principales de la línea de vehículos comerciales de Ford, incluyendo Ford Transit, Transit Custom y Ranger. Los servicios que ofrece al usuario brindan una gama de características de productividad a distancia a través de la aplicación FordPass para teléfonos inteligentes.

FordPass permite actualizaciones de software inalámbricas para mantener a los vehículos comerciales al día con lo último en tecnología mediante el envío inalámbrico de nuevas características y mejoras de calidad.

Una de las novedades más importantes es que el usuario puede encender y apagar el vehículo desde su teléfono inteligente sin importar su ubicación. Durante una demostración en el lanzamiento del modelo Escape, la acción tuvo un retraso de aproximadamente 20 segundos, pero Ford continúa trabajando para reducir dicho tiempo. Además, si el usuario tiene una rutina todos los días, puede programar que el vehículo se encienda a cierta hora. Esto ayuda a quienes viven en lugares fríos, ya que pueden tener un interior cálido cuando suban al vehículo. Además, FordPass permite tener acceso al vehículo, ya que permite abrir o cerrar los seguros de las puertas así como revisar el nivel del tanque de combustible de forma remota (véase Figura 1.8).



Figura 1.8. Interfaz de la aplicación FordPass (Ford, 2023).

Debido a lo complicado que puede ser encontrar un lugar de estacionamiento, sobre todo en una ciudad grande, Ford se asoció con muchos estacionamientos en las ciudades grandes de los Estados Unidos para indicar el precio y cuántos lugares están disponibles en cada estacionamiento registrado. Una vez que esté estacionado, a través de la aplicación se puede establecer un

Pin de ubicación, conocido como parquímetro, para conocer el lugar exacto en donde quedó el vehículo (véase Figura 1.9).



Figura 1.9. Función de parquímetro (Ford, 2023).

Otra característica que incluye es que un equipo de asistentes está a disposición para auxiliar con las necesidades o preguntas sobre FordPass. A través de un chat o llamada telefónica, los asistentes también ofrecen asistencia en el camino las 24 horas del día para remolcar el vehículo, arrancarlo o cambiar el neumático de refacción, entre otros (véase Figura 1.10).

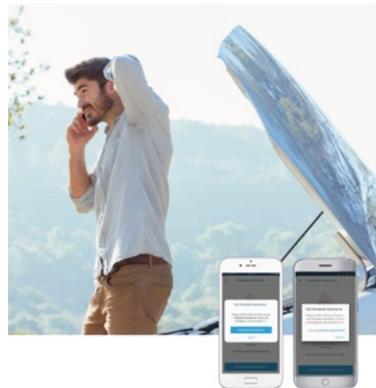


Figura 1.10. Asistencia a través de chats o llamadas telefónicas (Ford, 2023).

El modo de protección es un sistema de seguridad al que se accede a través de la aplicación FordPass Pro. Proporciona un seguimiento en tiempo real para alertar a los conductores, operadores y administradores de pequeñas empresas de potenciales amenazas de seguridad dentro de sus vehículos.

Una vez activado, fuera del horario de trabajo o durante el fin de semana, el modo de protección detecta cuando alguien entra en el vehículo, abre el capó o arranca el motor, y envía una notificación al teléfono inteligente del propietario. El sistema también proporciona seguridad adicional contra robo o duplicado de

llaves, alertando si un vehículo se desbloquea o se pone en marcha con una llave, una acción que no activaría una alarma en un vehículo convencional.

Por último, Viper SmartStart es un sistema de seguridad para su uso en un teléfono inteligente (véase Figura 1.11). Con ayuda de la aplicación es posible el encendido de motor, la activación y desactivación de la alarma; la aplicación está disponible para sistemas operativos Android e iOS (VIPER, 2023).

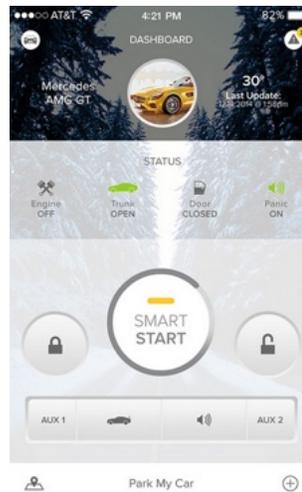


Figura 1.11. Interfaz de Viper SmartStart (Russo, 2015).

El dispositivo Viper SmartStart en el vehículo se comunica a través de su módem celular incorporado, para ello el teléfono inteligente necesita contar con señal celular o una conexión Wi-Fi, las cuales están disponibles bajo un plan de servicio Viper SmartStart, que incluye la posibilidad de localizar y controlar el vehículo, verificar su estado y recibir alertas (véase Figura 1.12).



Figura 1.12. Diagrama de interconexión (VIPER, 2023).

Las principales funciones que proporciona Viper SmartStart son:

- Apertura y cierre de seguros eléctricos.
- Rastreo GPS (buscador de vehículo).
- Apertura de cajuela eléctrica (siempre y cuando sea eléctrica).
- Aviso de robo estando estacionado (debe tener alarma de agencia).
- Aviso de límites de velocidad.
- Dos geocercas perimetrales (permite establecer un radio donde el vehículo se puede desplazar y si sale de dicho perímetro, emite un aviso a la aplicación y a un correo electrónico).

Viper SmartStart presenta una interfaz de usuario intuitiva con soporte a relojes inteligentes Apple y Android Wear (Russo, 2015) (véase Figura 1.13).



Figura 1.13. Viper SmartStart para relojes inteligentes (Russo, 2015).

Los fabricantes de vehículos y de alarmas constantemente mejoran la seguridad, considerando que construir el sistema de alarma como una parte integral de la electrónica del vehículo ha logrado mejoras significativas. Aun así, los sistemas de actualización pueden seguir siendo efectivos. Se utilizan tres tipos principales de alarma contra intrusos: a) interruptor operado en todos los puntos de entrada, b) voltaje de la batería detectado y c) detección volumétrica. Por otro lado, existen tres formas principales de desactivar el vehículo: a) corte del circuito de encendido, b) corte del circuito de arranque y c) bloqueo del código de la ECU (*Electronic Control Unit*) del motor.

La mayoría de los sistemas de alarma están enfocados a vehículos terrestres y poseen sirenas electrónicas que brindan una señal audible al armar y desarmar. Dichos sistemas se activan cuando se abre alguna puerta del vehículo y se reinician automáticamente después de un período de tiempo, a

menudo uno o dos minutos. Las alarmas se activan instantáneamente cuando se viola el punto de entrada. La mayoría de estos sistemas se conforman por una unidad de control y una sirena. Gran parte de las alarmas instaladas de fábrica se combinan con el sistema de cierre centralizado de puertas (Denton, 2021). La Figura 1.14 muestra el diagrama de bloques de un sistema de alarma.

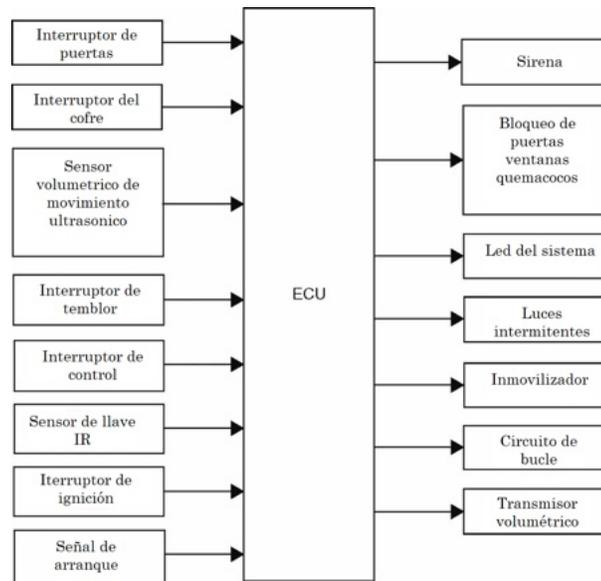


Figura 1.14. Diagrama de bloques de un sistema de alarma (Denton, 2021).

El uso de un código de seguridad en la ECU del motor es un elemento disuasorio, ya que, una vez hackeado el vehículo, sólo se puede desbloquear mediante una señal codificada. Ford y otros fabricantes emplean una llave de encendido especial que está programada con la información requerida. Por supuesto, nada impide que el automóvil sea subido y trasladado en un camión, pero esta técnica necesitará una nueva ECU de control del motor (Denton, 2021).

1.3. Planteamiento del problema

Para este trabajo de tesis, se describe el desarrollo de un sistema inalámbrico de arranque e inmovilizador para vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan (SiSAV-Key), el cual se implementó en un módulo ESP32. Dichos vehículos abarcan desde modelos 1985 hasta modelos 2016. El sistema es compatible con dispositivos móviles que cuenten con un sistema operativo

Android, ya que para realizar la comunicación de manera inalámbrica, se realizó una aplicación en MIT App Inventor, dando como resultado seguridad y confort al usuario desde su dispositivo móvil. SiSAV-Key basa su funcionamiento en el diagrama a bloques de la Figura 1.15.

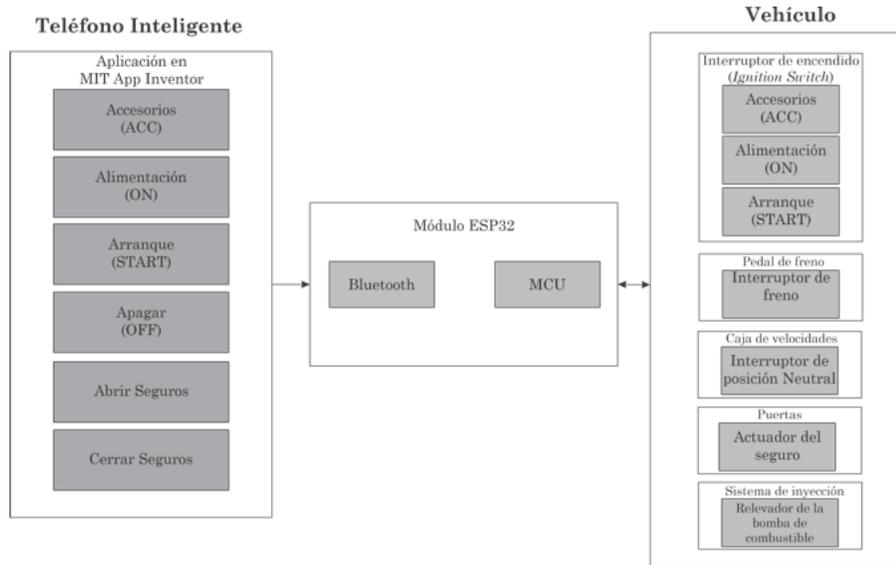


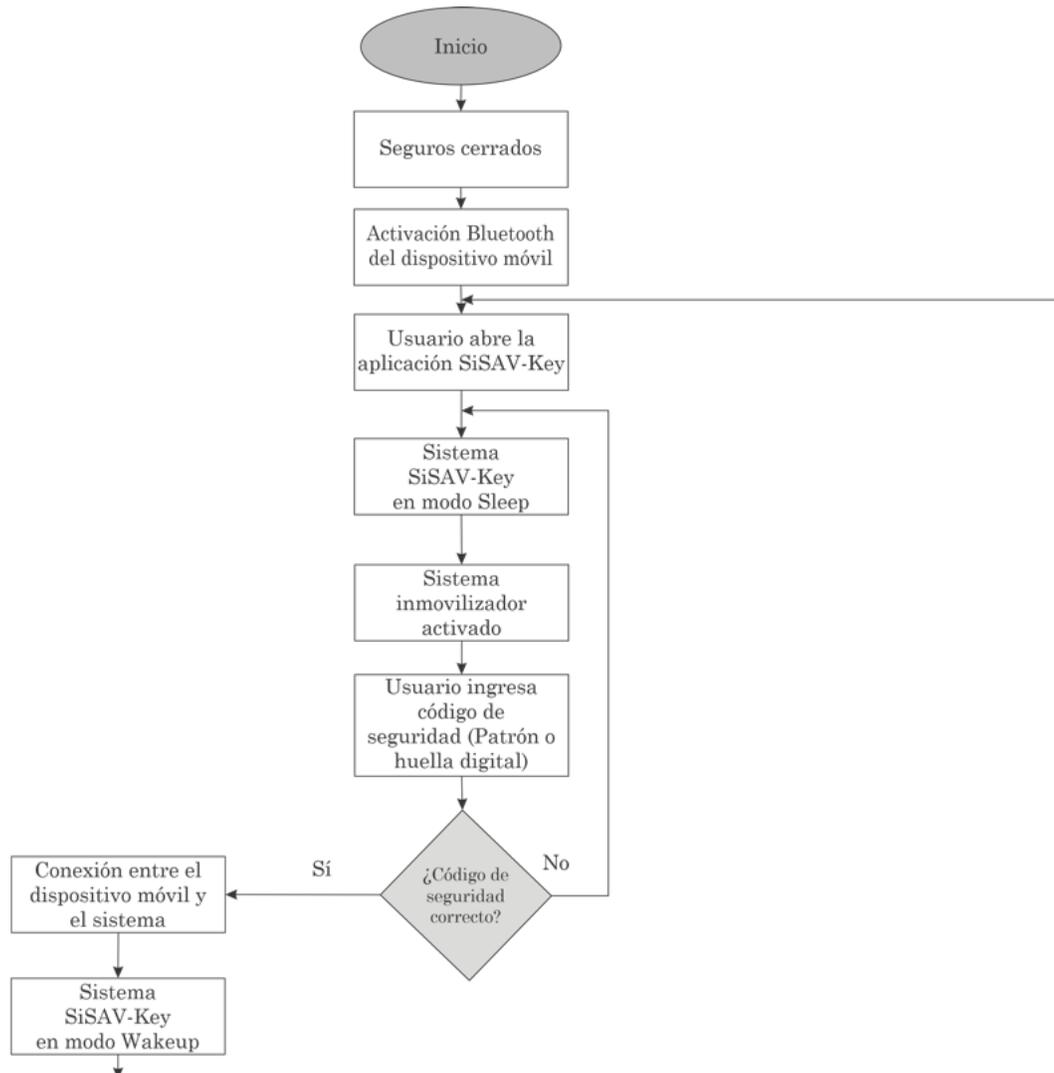
Figura 1.15. Diagrama de bloques del sistema propuesto.

En el diagrama de bloques se cuenta con un dispositivo móvil, el cual mantiene comunicación por medio de Bluetooth con un módulo ESP32, este último recibe la orden deseada por el usuario para activar el interruptor de encendido (*ignition switch*); en este estado el usuario puede optar por encender los accesorios del vehículo (autoestéreo, aire acondicionado y luces interiores, entre otros); de igual manera, se tiene la opción de encender la posición ON en donde se alimentan todos los sistemas del automóvil.

SiSAV-Key permite al usuario arrancar el automóvil (*start*) únicamente cuando estén accionados el freno de mano o el freno de pedal, y apagar el motor siempre y cuando el pedal de freno y la palanca de freno de mano estén accionados. Además, permite al usuario activar los actuadores para abrir o cerrar los seguros de las cuatro puertas. El sistema debe cumplir con una condición de seguridad, que se basa en un patrón o huella digital para desbloquear la aplicación en el dispositivo móvil, si dicha condición no se cumple,

el SiSAV-Key tiene la facultad de inmovilizar el vehículo por medio del sistema de inyección de combustible.

Con base en lo anterior, se propone el reemplazo del interruptor de encendido por un módulo ESP 32, el cual recibe la orden del usuario mediante un dispositivo móvil. El usuario puede optar por encender accesorios, activar la alimentación de los sistemas del automóvil, encenderlo y apagarlo. Cabe destacar que el SiSAV-Key también puede funcionar como un inmovilizador cuando no se valida, en el dispositivo móvil, la contraseña de usuario, mediante el corte de alimentación del sistema de inyección de combustible. La Figura 1.16 muestra el diagrama de flujo del sistema a desarrollar.



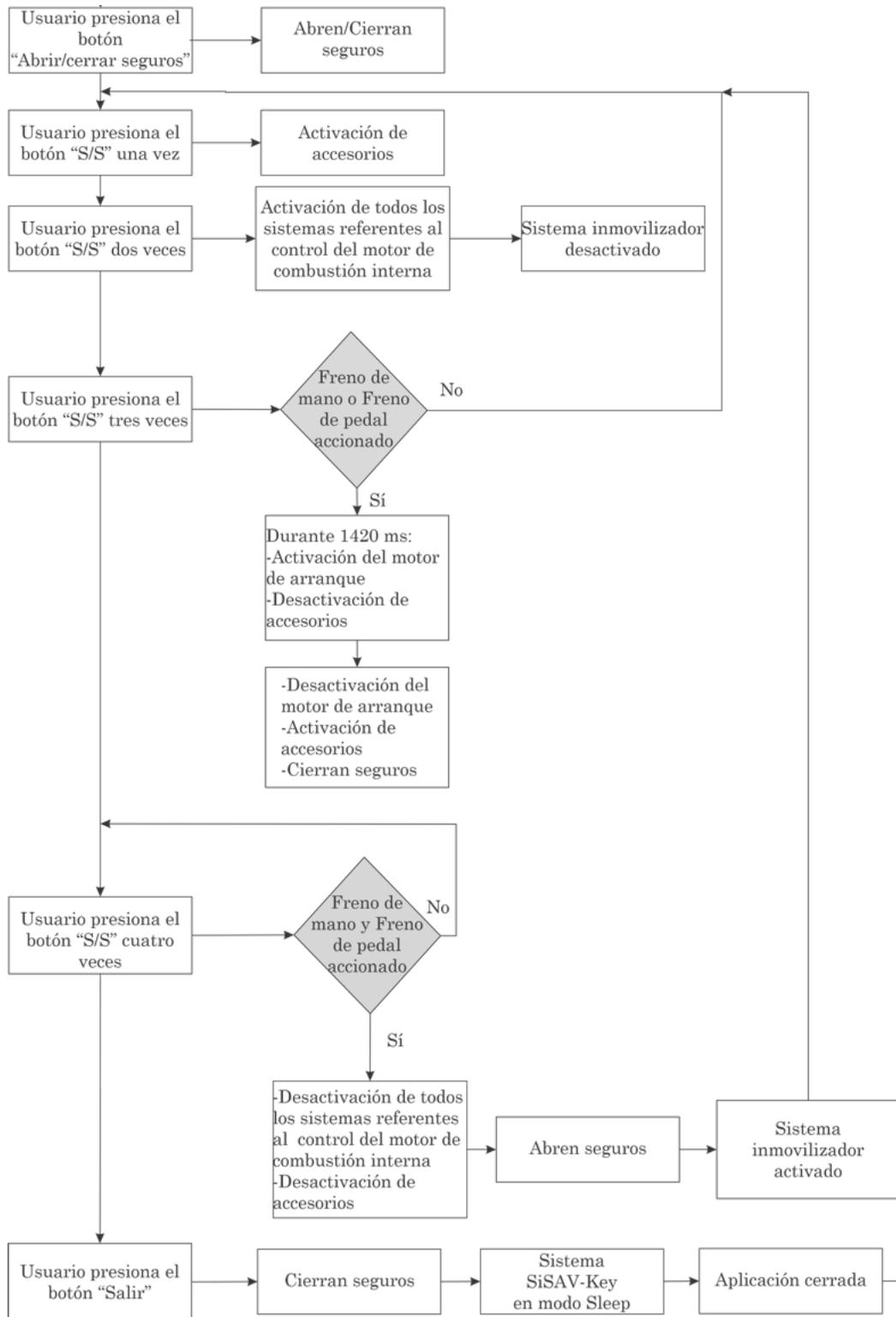


Figura 1.16. Diagrama de flujo del sistema a desarrollar.

1.4. Justificación

Durante la última década, el robo de vehículos se ha convertido en un problema de seguridad social, involucrando a los mismos fabricantes, empresas aseguradoras, usuarios particulares y a la sociedad en general. Como respuesta, los fabricantes, apoyados por sus centros de investigación, desarrollan e implementan una variada gama de soluciones en sistemas de seguridad antirrobo (Jayendra, Kumarawadu y Meegahapola, 2018).

De acuerdo con los datos publicados por la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS), Noticias Autocosmos y El Imperial, en 2020 los vehículos más robados en México fueron los siguientes (Silva, 2021) (véase Figura 1.17):

- Nissan Versa con 3,661 unidades registradas.
- Nissan NP300 con un total de 2,731 unidades robadas.
- Chevrolet Aveo con 2,440 unidades reportadas por robo.
- Nissan Tsuru con 2,363 unidades aseguradas con reporte de robo.
- Volkswagen Vento con un total de 1,867 unidades robadas.

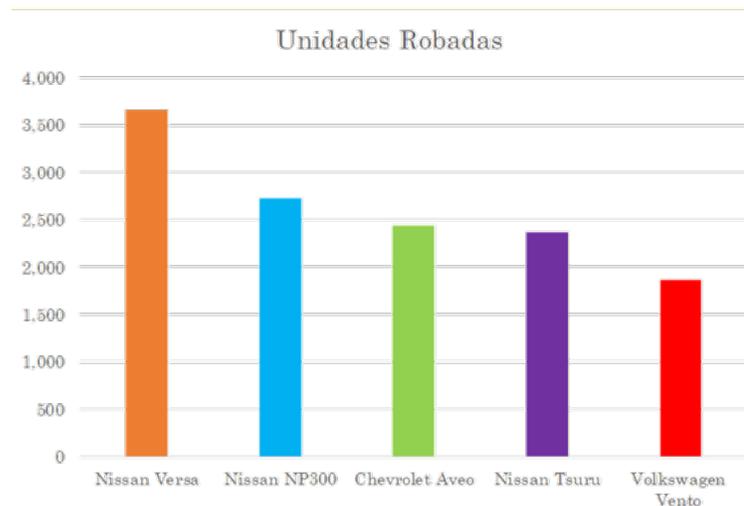


Figura 1.17. Gráfica de automóviles más robados en México durante 2020.

En el estado de Oaxaca el parque vehicular cuenta con una gran cantidad de unidades Nissan NP300 (D22) debido a que se utilizan para trabajos de carga y transporte público, entre otros. Un claro ejemplo de lo anterior es la empresa

“Alianza Camionera de Servicio Mixto de pasaje y Carga Benito Juárez AC”, originaria de la comunidad de Asunción Nochixtlán en el estado de Oaxaca, dedicada al transporte terrestre de pasajeros. La empresa fue creada en 1998 y actualmente cuenta con treinta unidades de transporte público, todas ellas son vehículos Pick Up NP300 (D22) de la firma Nissan. Cabe mencionar que esta unidad es una de las más vulnerables a ser robadas debido principalmente a que no cuenta con un sistema de seguridad robusto que la proteja.

1.5. Hipótesis

Es posible implementar en un módulo ESP32 un sistema inalámbrico de arranque e inmovilizador para vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan, ambos controlados por una aplicación, desarrollada en MIT App Inventor, en un dispositivo móvil.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Implementar un sistema inalámbrico de arranque e inmovilizador para vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan en un módulo ESP32, ambos controlados por una aplicación en un dispositivo móvil con sistema operativo Android.

1.6.2. Objetivos específicos

Para cumplir con el objetivo general, se consideran los siguientes objetivos específicos:

- Investigar acerca de los sistemas eléctricos y electrónicos de arranque y de seguridad existentes en el mercado.
- Identificar los requerimientos del sistema a desarrollar.
- Codificar el sistema de arranque en el módulo ESP32 en IDE Arduino.
- Investigar sobre el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles con sistema operativo Android.

- Codificar la aplicación en MIT App Inventor.
- Integrar los componentes del sistema.
- Ejecutar las pruebas al sistema final.

1.7. Metodología de Desarrollo

La metodología que se empleó para el desarrollo del presente trabajo de tesis se basa en el ciclo de vida del diseño de sistemas embebidos propuesto por Arnold Berger (Berger, 2002), la Figura 1.18 muestra las fases que la componen.

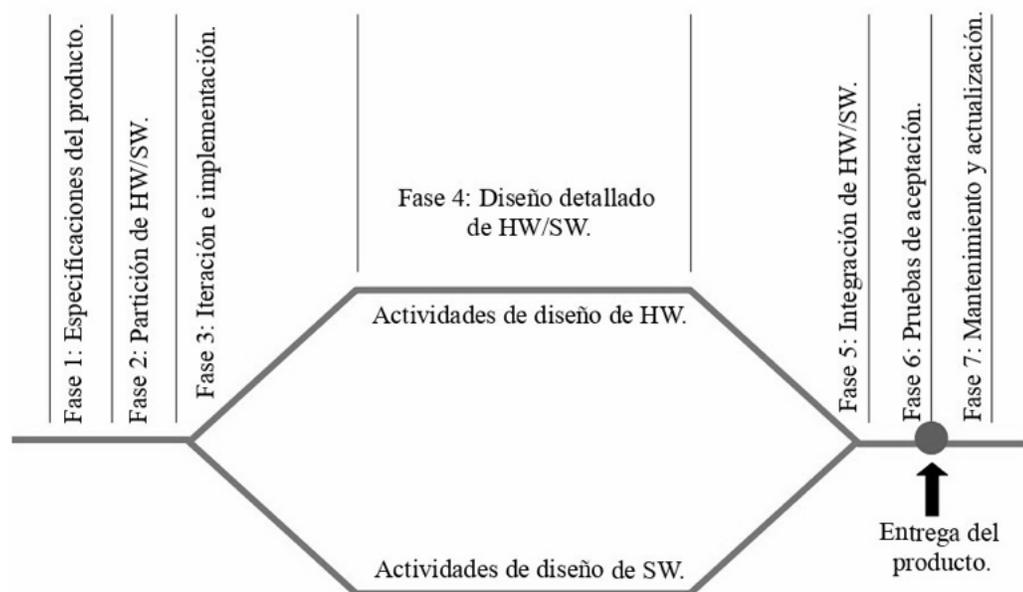


Figura 1.18. Diagrama del ciclo de vida del desarrollo de sistemas embebidos (Berger, 2002).

Inicialmente, se realizó una investigación bibliográfica, consultando información en libros de texto, artículos, revistas científicas y reglamentos entre otros. Al mismo tiempo se identificaron los componentes software (SW) y hardware (HW) que conforman el sistema.

Para la fase que comprende el diseño detallado se partió de la elección del microcontrolador, éste debía ser capaz de procesar los datos a la velocidad adecuada para enviar las señales correspondientes a la activación de accesorios, encendido y apagado del vehículo, así como al cierre y apertura de seguros en las puertas. Para este trabajo de tesis se optó por utilizar el módulo ESP32 y su programación en lenguaje C empleando IDE Arduino. Así mismo, se seleccionó

un dispositivo móvil con sistema operativo Android y el software MIT App Inventor para el desarrollo de la aplicación.

En seguida se integraron los elementos desarrollados (HW/SW). Este proceso se dividió en varias etapas debido a que fue necesario comprobar el funcionamiento de cada elemento de manera individual, con el fin de reducir errores y daños en los dispositivos o, en dado caso, para encontrar posibles mejoras del sistema.

Finalmente, se construyó el prototipo del SiSAV-Key y se le realizaron pruebas para comprobar su funcionamiento respecto a las especificaciones iniciales. Para fines de este trabajo de tesis la fase 7 no se llevó a cabo.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Microcontroladores

El microcontrolador (MCU) es uno de los logros más sobresalientes del siglo XX y se puede definir como una computadora, de limitadas prestaciones, contenida en un circuito integrado (*chip*) que se destina a gobernar una sola tarea. Para que el MCU realice las operaciones deseadas es necesario almacenar en su memoria de programa un conjunto de instrucciones que constituyen el programa de aplicación. Se deben conocer perfectamente las especificaciones de la tarea que debe ejecutar, para ello es posible lograr el mismo resultado con distintos programas, siendo óptimo aquél que esté mejor estructurado y no realice operaciones innecesarias, ahorrando de esta forma tiempo y espacio en la memoria de programa.

Los MCU se emplean en sistemas que desempeñan actividades orientadas a control. Son la base para sistemas con propósito específico y sus limitaciones no son una restricción para este tipo de actividades. Generalmente, los periféricos que incorpora un MCU son:

- Oscilador.
- Temporizador/Contador (*Timer/Counter*).
- *Watchdog timer*.
- UART (*Universal Asynchronous Receiver Transceiver*).
- Componentes digitales de entrada/salida.
- Convertidores analógico a digital (ADC) o comparadores analógicos.
- Reloj/Calendario.
- Interfaces I2C, JTAG y USB, entre otras.

La Figura 2.1 muestra la organización interna de un MCU.

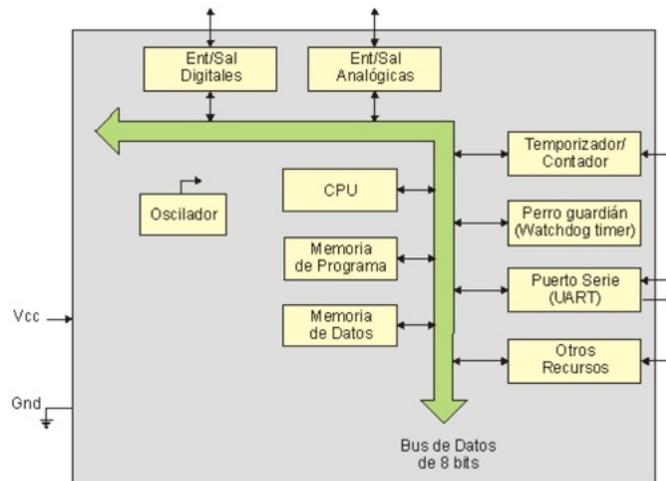


Figura 2.1. Organización general de un MCU.

En la actualidad, existen sistemas o módulos basados en MCU que facilitan el diseño y desarrollo de aplicaciones. A continuación, se describen los más populares en el mercado.

2.1.1. Tiva C de Texas Instruments

Tiva C es una plataforma de evaluación de bajo costo para microcontroladores ARM® Cortex™ -M4F de la firma Texas Instruments (véase Figura 2.2), cuyas principales características son las siguientes (Texas Instruments, 2013):

- MCU TM4C123GH6PM de alto rendimiento.
- CPU de 80 MHz 32 microcontroladores basados en ARM Cortex-M4.
- 256KB Flash, 32KB SRAM, 2KB EEPROM.
- 2 módulos CAN (*Controller Area Network*).
- USB 2.0 Host/Dispositivo/OTG + PHY.
- ADC 2MSPS de 12 bits dobles, PWM de control de movimiento.
- 8 UART, 6 I2C, 4 SPI.
- Interfaz de depuración en circuito (ICDI) a bordo.
- Cable USB Micro-B a cable USB-A.
- Aplicación de inicio rápido RGB precargada.

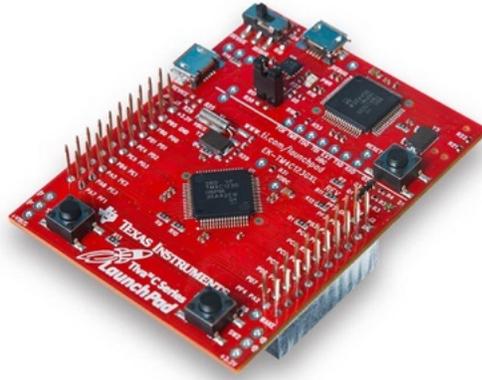


Figura 2.2. Placa de desarrollo Tiva C (Texas Instruments, 2013).

2.1.2. Freedom FRDM-KL25Z de Freescale

Freedom FRDM-KL25Z de la firma Freescale es una plataforma de desarrollo de bajo costo integrado por la familia de procesadores Kinetis L Series KL1x y KL2x basado en el procesador ARM® Cortex™-M0+ (véase Figura 2.3). Sus principales características son:

- Procesador MKL25Z128VLK4 MCU – 48 MHz, 128 KB flash, 16 KB SRAM, USB OTG (FS), 80LQFP.
- Conector mini USB tipo B con función de USB-host.
- Open SDA.
- Sensor capacitivo integrado.
- Acelerómetro MMA8451Q integrado.
- LED RGB integrado.
- Opciones de alimentación flexibles – USB, batería, fuente externa.
- Fácil acceso a los puertos I / O del procesador a través de los conectores compatibles con Arduino Uno – R3
- Interfaz de depuración programable OpenSDA con múltiples aplicaciones disponibles
- Interfaz CMSIS-DAP.
- Aplicación de registro de datos.
- Mbed compatible.

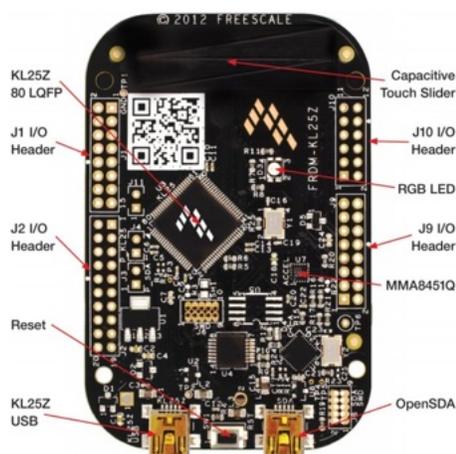


Figura 2.3. Placa de desarrollo NXP-Freedom FRDM-KL25Z Kinetis ARM.

2.1.3. Blue Pill de Tomson

Blue Pill es una placa que contiene un microcontrolador ARM de 32 bits (véase Figura 2.4). Se destaca por su capacidad y bajo costo, lo que la hace ideal para proyectos Maker e incluso aplicaciones profesionales (Tolocka, 2021). Cuenta con las siguientes características:

- Procesador de 32 bits a 72 MHz.
- ATmega de 8 bits que corre a 16 MHz.
- Arquitectura ARM.
- Núcleo tipo Cortex M3 con una frecuencia máxima de 72 MHz.
- 20 KB de memoria RAM.
- 64 KB de memoria Flash



Figura 2.4. Placa de desarrollo Blue Pill STM32 (Tolocka, 2021).

2.1.4. Chipkit UNO32 de Microchip

La placa chipKIT UNO32 es compatible con Arduino Uno y Arduino Mega ya que posee el mismo factor de forma y comparte las mismas librerías (véase Figura 2.5). Está dirigida no sólo al ámbito de los aficionados a la electrónica, sino también al ámbito académico y profesional (Digilent, 2015). Sus principales características son:

- Velocidad de reloj de 80 MHz.
- Memoria interna de 128 KB.
- RAM de 16 KB.
- Programable con IDE alternativa.
- 28 entradas y salidas digitales (5 PWM).
- 12 entradas y 12 salidas analógicas.
- 4 entradas y salidas de comunicaciones.



Figura 2.5. ChipKIT UNO32 (Digilent, 2015).

2.1.5. Arduino UNO

Arduino UNO es una de las opciones más populares para iniciarse en la programación de microcontroladores (véase Figura 2.6), debido a su bajo costo, gran cantidad de librerías disponibles y sus características técnicas (Suárez Guedes, 2020):

- Microcontrolador ATmega328P.
- Velocidad de reloj de 16 MHz.

- Voltaje de trabajo de 5V.
- Voltaje de alimentación de 7.5 a 12 voltios.
- 14 terminales digitales (6 PWM) y 6 analógicas.
- 1 puerto serie por hardware.
- 32 KB Flash (0.5 para bootloader), 2 KB RAM y 1 KB EEPROM.

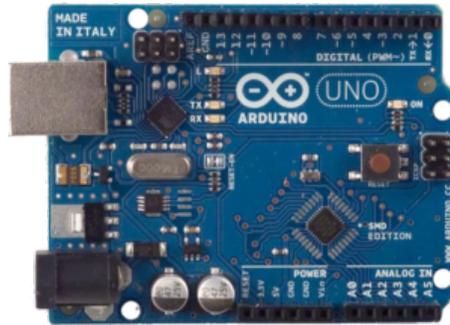


Figura 2.6. Arduino UNO (Suárez Guedes, 2020).

2.1.6. ESP32 de Espressif Systems

El módulo ESP32 fue creado por Espressif Systems (véase Figura 2.7). Desde la introducción del primer ESP32 en el mercado, Espressif Systems lanzó variantes de ESP32 y, más recientemente, en 2020, introdujo la serie ESP32-S2. La familia ESP32 es una solución de sistemas dentro de un circuito integrado (SoC, *System on a Chip*) de propósito general, con gran variedad de funciones que puede usar en diferentes proyectos. Además de su bajo precio y disponibilidad, sus principales características son (Ozan Oner, 2021):

- CPU y memoria: microprocesador XtensaR LX6 de 32 bits con una frecuencia de reloj/MIPS de hasta 240 MHz/600 MIPS. Variantes de uno o dos núcleos. ROM de 448 KB, SRAM de 520 KB y memoria RTC de 16 KB. Soporte para flash SPI externo y RAM SPI para variantes de módulos. DMA para periféricos.
- Conectividad: Wi-Fi 802.11 n (2,4 GHz) hasta 150 Mbps (modos STA y softAP) y compatible con Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE.

- Interfaces de periféricos: GPIO, ADC, DAC, SPI, I2C, I2S, UART, eMMC/SD (variantes de chip), CAN, IR, PWM, sensor táctil y sensor hall.
- Seguridad: Aceleración de hardware criptográfico (número aleatorio, hash, AES, RSA y ECC), OTP de 1024 bits, arranque seguro y cifrado flash.
- Modos de energía: permite diversos modos de energía con la ayuda de un coprocesador de energía ultra baja (ULP, *Ultra Low Power Processor*) y un reloj en tiempo real (RTC, *Real Time Controller*). Consumo de energía de 100 μ A en modo de suspensión profunda (ULP activo).
- Integración nativa con las mejores infraestructuras en la nube.



Figura 2.7. ESP32 de 30 terminales (Spanulescu, 2020).

Con base en lo anterior, se compararon las soluciones disponibles en el mercado como muestra la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Comparación de sistemas MCU.

MCU	ESP32	Arduino Uno	Arduino Mega	Tiva C	Blue Pill
Voltaje de funcionamiento	3.3 V	5 V	5 V	5 V	5 V
Consumo de corriente normal	20-240 mA	45-80 mA	50-200 mA	300 mA	300 mA
Consumo de corriente en modo Deep-Sleep	5 μ A	35 μ A	500 μ A	370 μ A	2 mA
Terminales digitales de E/S	24	14	54	8	26
Terminales PWM	16	6	15	16	15
Terminales analógicas de entrada	18	6	16	4	10
Velocidad de reloj	80-160 MHz	16 MHz	16 MHz	80-120 MHz	72 MHz
Wi-Fi	Sí	No	No	No	No
Bluetooth	Sí	No	No	No	No
Precio (MX)	\$127	\$640	\$915	\$1310	\$151

Una vez revisados los sistemas anteriores, se seleccionó el módulo ESP32 de 30 terminales para el desarrollo del SiSAV-Key.

2.2. Sistema de Arranque

Un motor de combustión interna requiere de cuatro criterios para poder arrancar y continuar funcionando: a) mezcla aire/combustible, b) carrera de compresión, c) una forma de ignición y d) velocidad mínima de arranque (alrededor de 100 RPM). Para producir los tres primeros se debe alcanzar la velocidad inicial mínima y es entonces cuando entra en juego el arranque eléctrico. La capacidad de alcanzar esta velocidad mínima depende de los siguientes factores:

- Voltaje nominal del sistema de arranque.
- La temperatura más baja a la que es posible arrancar el motor, lo que se conoce como temperatura límite inicial.
- Resistencia al arranque del motor, que se refiere al par requerido para arrancar el motor a su temperatura límite de arranque (incluido el par inicial).
- Características de la batería.
- Caída de voltaje entre la batería y el motor de arranque.
- Relación de engranajes de arranque a corona.
- Características del arrancador (*starter*).
- Velocidad mínima de arranque del motor a temperatura límite de arranque.

El motor de arranque es un componente aislado dentro del sistema eléctrico del vehículo, como muestra la Figura 2.8. Los aspectos importantes para el arranque del motor son la batería y la temperatura límite de arranque. La Figura 2.9 muestra cómo a medida que disminuye la temperatura, también disminuye el par de arranque y aumenta el par necesario para arrancar el motor a su velocidad mínima (Denton, 2018).

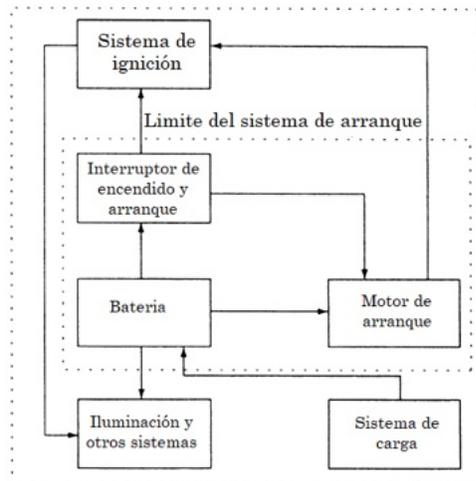


Figura 2.8. Sistema de arranque como parte del sistema eléctrico completo (Denton, 2018).

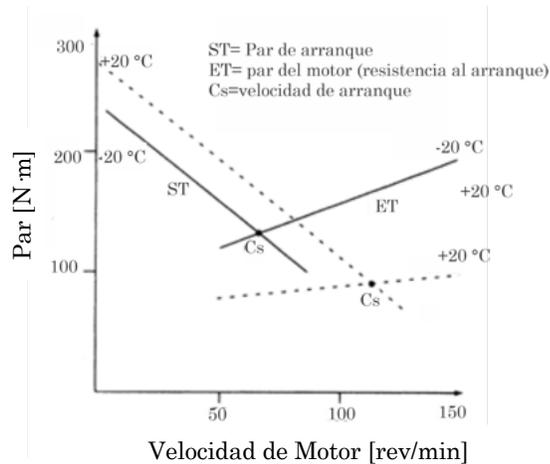


Figura 2.9. Par de arranque y par de arranque del motor (Denton, 2018).

En comparación con la mayoría de los demás circuitos incorporados en los vehículos modernos, el circuito de arranque es sencillo. Sin embargo, el problema a superar es la caída de voltaje en los cables de suministro principal. El motor de arranque generalmente opera mediante un interruptor de llave accionado por resorte, y el mismo interruptor también controla el encendido y los accesorios. El suministro del interruptor de llave, a través de un relevador, hace que el solenoide de arranque funcione y éste, a su vez, controla la intensidad de corriente. La Figura 2.10 muestra el circuito básico para el sistema de arranque.

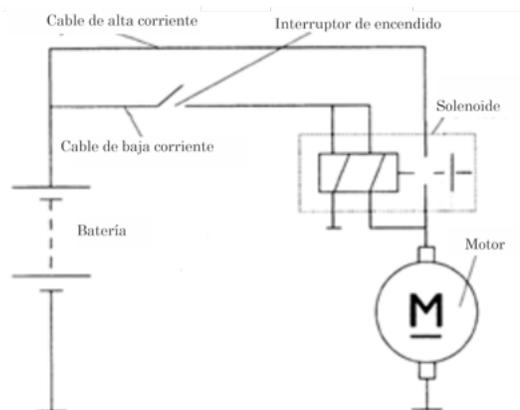


Figura 2.10. Circuito básico de arranque (Denton, 2018).

La bobina del relevador de arranque se alimenta con la conexión positiva del interruptor de llave y la ruta de tierra se conecta a través del interruptor inhibidor apropiado. Para evitar el funcionamiento del motor de arranque cuando el motor está en marcha, el módulo de control de potencia controla la ruta final a tierra del relevador y para reducir la fuerza contraelectromotriz, se conecta una resistencia a través de la bobina del relevador. El arrancador que se usa actualmente es un motor de imanes permanentes.

En el diagrama que se muestra en la Figura 2.11, el módulo de control del tren motriz (PCM, *Powertrain Control Module*) permite que el motor arranque sólo cuando el sistema antirrobo pasivo lee una llave que transmite un código válido. En un vehículo sin llave, el módulo reconoce la llave pasiva y, si ésta es válida, emite directamente el permiso de arranque. En vehículos con transmisión manual es necesario pisar el pedal del clutch, o embrague, y en los de transmisión automática se debe pisar el pedal del freno. En un sistema sin llave, el módulo sin llave activa el voltaje de control para el relevador de arranque (Denton, 2018). La Figura 2.11 muestra los componentes que conforman al sistema de arranque sin llave.

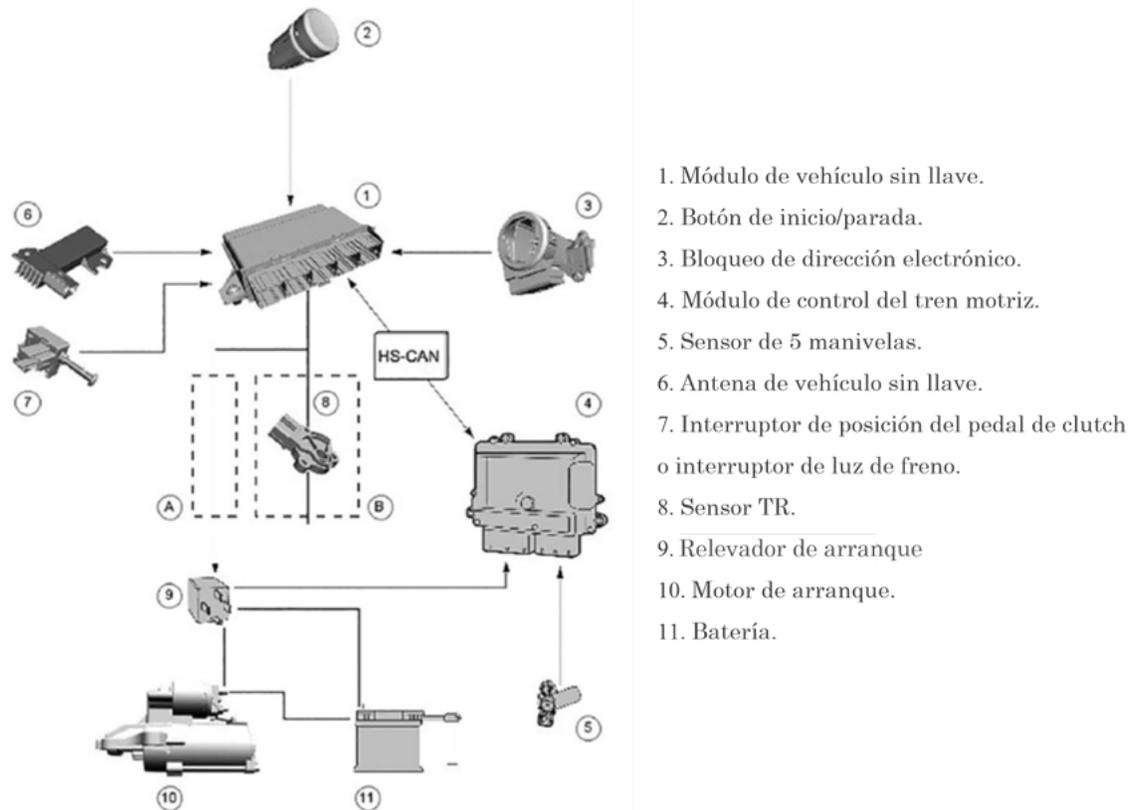


Figura 2.11. Sistema de arranque sin llave (Denton, 2018).

Es importante mencionar que, en la actualidad, el sistema de arranque sin llave es uno de los sistemas innovadores implementados de fábrica en los vehículos de alta gama.

En la Figura 2.12 se muestra el diagrama del sistema de arranque para los vehículos Pick Up D21 y D22 de la Firma Nissan, el cual está constituido por los siguientes componentes:

- Batería.
- Fusibles.
- Interruptor de ignición y arranque.
- Relevador del interruptor del clutch.
- Interruptor del clutch.
- Motor de arranque.

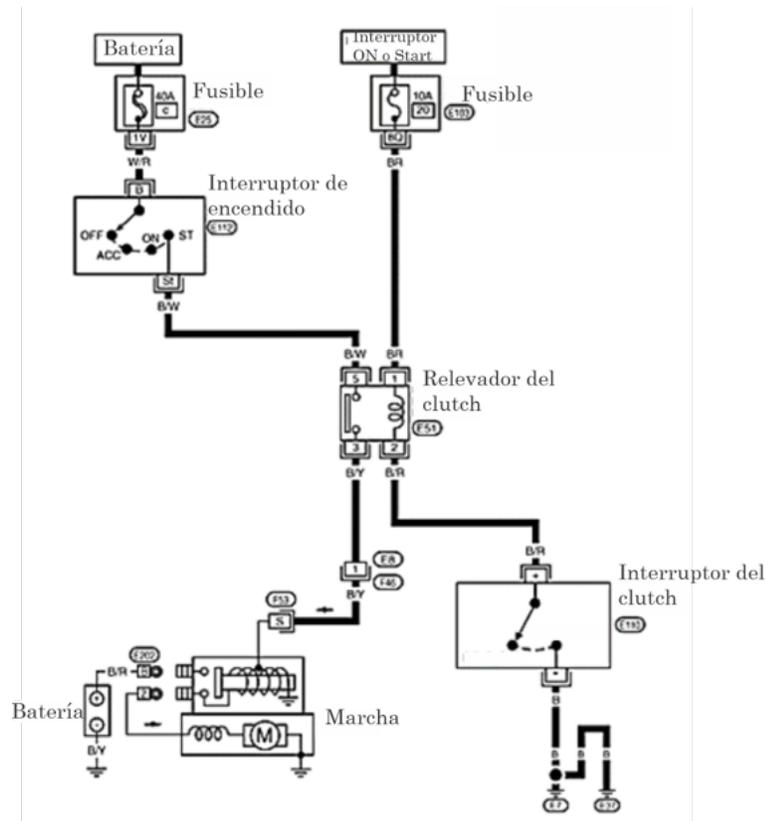


Figura 2.12. Sistema de arranque para vehículos D21 y D22 de Nissan (Mecánica Automotriz, 2017).

Para este sistema de arranque es necesario presionar el pedal de clutch para que la corriente, proveniente del interruptor de ignición y arranque, pase por un relevador, alimente al solenoide del motor de arranque y éste a su vez alimente al motor de CD.

El proceso de comprobación del funcionamiento del sistema de arranque de 12 V sigue el siguiente orden (las pruebas 3 a 8 se realizan mientras se intenta arrancar el motor):

1. Batería (carga mayor al 70%).
2. Revisión a simple vista de la marcha.
3. Voltaje de la batería (mínimo 10 V).
4. Cable de solenoide (igual que la batería).
5. Voltaje de arranque (no más de 0.5 V menos que la batería).

6. Caída de voltaje de la línea aislada (máximo 0.25 V).
7. Caída de voltaje en los contactos del solenoide (casi 0 V).
8. Caída de voltaje en la línea de tierra (máximo 0.25 V).

La idea de estas pruebas es ver si el circuito se encuentra en óptimas condiciones para suministrar el voltaje disponible al motor de arranque. Si el diagnóstico concluye en que éste está defectuoso, la recomendación es reemplazarlo (Denton, 2018).

2.3. Sistema Inmovilizador

De acuerdo con Luis Francisco Chávez Calderón y John Daniel Flores Arteaga, un sistema inmovilizador anti-arranque es un sistema diseñado para bloquear el funcionamiento de un vehículo con el propósito de combatir los problemas relacionados con su robo. El diseño y funcionamiento del sistema se relacionan directamente con el encendido del motor, por lo que el principio de funcionamiento se basa en la comunicación directa con el motor de arranque y el procesador de inyección ya sea en vehículos diésel o gasolina (Chávez Calderón y Flores Arteaga, 2014).

Dentro del apartado de seguridad son varias las soluciones técnicas adoptadas que tienen como objetivo restringir el acceso al vehículo a únicamente a aquellas personas autorizadas; dichas soluciones se conocen como sistemas antirrobo, algunos ejemplos son sistemas de alarma, *Passive Entry*, *Remote Keyless Entry* (RKE) e inmovilizador, entre otros.

El inmovilizador es un sistema electrónico antirrobo basado en la inhabilitación del sistema de ignición del vehículo en caso de que éste se intente accionar por medio de una llave no autorizada.

La ECU de los vehículos modernos encargada de controlar el encendido y la inyección, en el vehículo gasolina, o la inyección, en el caso del vehículo diésel,

necesitan recibir la autorización del sistema inmovilizador para que el vehículo funcione adecuadamente.

Las características de los sistemas de inmovilización varían de acuerdo con la categoría de protección, para ello, existen cuatro categorías:

- **Anti-robo de fábrica:** muchos vehículos vienen con un sistema anti-robo de fábrica, el cual consiste en un inhibidor de encendido basado en un *transponder*, el cual es un circuito integrado incorporado en la llave de encendido que, al ser reconocida por el vehículo, permite su encendido. Sin dicha llave, el sistema inhibe el encendido, de modo que el ladrón no puede ni siquiera intentar un encendido cortando cables.
- **Seguridad de fábrica:** se puede tener un sistema de seguridad de fábrica asociado al bloqueo de puertas, de modo que cuando el sistema se arma, si alguien intenta abrir las puertas, el claxón comienza a sonar. Este es un nivel de protección adicional, pero tiene en contra el que en el manual del vehículo se muestran el cableado y los fusibles del sistema.
- **Seguridad de especialista:** si se adquiere un sistema de seguridad de un especialista y se instala por un instalador certificado, se obtiene un nivel de protección superior, debido a que el cableado y la ubicación de los componentes del sistema serán únicos para cada vehículo, no quedando registros en el manual. Por sobre eso, un buen sistema tiene sensores de golpe, los cuales detectan pinchaduras o impactos al vehículo, y ajustan el comportamiento del claxon. Para incrementar la sensibilidad a ataques se pueden agregar los siguientes elementos:
 - **Sensor de audio:** diseñado para detectar rupturas de vidrios.
 - **Sensor de proximidad:** crea dos zonas de ultra altas frecuencias alrededor de su vehículo, usando efecto Doppler para detectar masas en movimiento dentro de las zonas. Cualquier violación de la zona interna activa el claxon.

- Sensor de circuito: puede ser conectado a una capota, o para proteger un camper. Activa el claxon al abrir el circuito.
- Sensor de movimiento: detecta el movimiento vertical tal como el producido por un gato hidráulico para remover sus llantas.
- Interruptor magnético: se puede usar para las ventanas de corredera traseras.
- Interruptor de pin: se puede usar para detectar la apertura de la capota.
- Respaldo de batería (*backup*): mantiene todos los niveles de seguridad de su vehículo inalterados si el ladrón corta los cables de la batería del vehículo.
- *Pager*: permite informar que la alarma ha sido activada en su vehículo dentro del radio de un kilómetro.
- Control remoto celular: permite controlar remotamente el vehículo desde un teléfono celular. Mediante una llamada puede conocer el estado de las alarmas, bloquear y desbloquear puertas y encendido.
- Anti-carjack: sistema que permite entregar las llaves del auto en caso de asalto y que luego de un par de minutos bloquea el motor inhabilitando la marcha, impidiendo el robo del vehículo.
- Seguimiento post-robo: mediante servicio celular y seguimiento GPS, se puede mantener un seguimiento activo del vehículo.

Capítulo 3. Sistema Inalámbrico de Arranque e Inmovilizador

El sistema inalámbrico de arranque e inmovilizador (SiSAV-Key) es un sistema innovador que brinda seguridad a los vehículos, ya que el arranque del vehículo sólo puede ser accionado por el propietario a través de su dispositivo móvil.

En la actualidad los teléfonos inteligentes se han convertido en una herramienta fundamental de la vida diaria ya que suplen necesidades de comunicación, entretenimiento y funciones de trabajo. Es por ello que el SiSAV-Key tiene como finalidad sustituir la llave convencional del vehículo por una aplicación en el dispositivo móvil del propietario. Con ayuda de esta aplicación el propietario puede realizar las tareas que normalmente ejecuta con la llave convencional del vehículo.

3.1. Especificaciones del SiSAV-Key

El presente trabajo de tesis contempla del desarrollo de un sistema inalámbrico de arranque e inmovilizador llamado SiSAV-Key, el cual está diseñado para vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan. La Figura 3.1 muestra su diagrama general, el cual considera los siguientes subsistemas:

- *Módulo ESP32*: encargado de controlar y monitorear todas las entradas y salidas del SiSAV-Key.
- *Subsistema de arranque*: emula las distintas posiciones del interruptor de encendido (*ignition switch*) de los vehículos Pick Up D21 y D22.
- *Subsistema inmovilizador*: tiene como objetivo brindar seguridad, ya que su función principal es impedir arrancar el motor del vehículo si se detecta que se está produciendo un robo. Para ello, este subsistema interrumpe la corriente que va de la caja de fusibles hacia el motor eléctrico de la bomba de gasolina para evitar que arranque el motor de combustión interna.

- *Subsistema de seguros eléctricos:* tiene la tarea de monitorear el estado en el que se encuentran tanto el freno de mano como el pedal de freno. Su función es atrancar la chapa del auto de modo que impida que la puerta se pueda abrir desde el exterior o interior del vehículo.
- *Monitoreo del sistema de frenos:* es de vital importancia ya que con su ayuda se puede afirmar que el vehículo se encuentra estático, con la finalidad de que el arranque o el apagado del motor sea seguro.
- *Dispositivo móvil:* se interfasa con el SiSAV-Key mediante Bluetooth y permite al usuario enviar órdenes al módulo ESP32 para abrir y cerrar seguros, encender y apagar el motor, encender accesorios, además de poder inmovilizarlo.



Figura 3.1. Diagrama general del SiSAV-Key.

El sistema permite que el usuario pueda ejecutar las diferentes tareas que normalmente realiza con la llave del vehículo, pero desde su dispositivo móvil a través de una aplicación. La aplicación que se desarrolló para el SiSAV-Key permite encender y apagar el motor del vehículo, abrir y cerrar los seguros de

sus puertas y, en caso de que se presente una amenaza de robo, inmovilizar el vehículo; dichas tareas se basan en el diagrama de estados de la Figura 3.2.

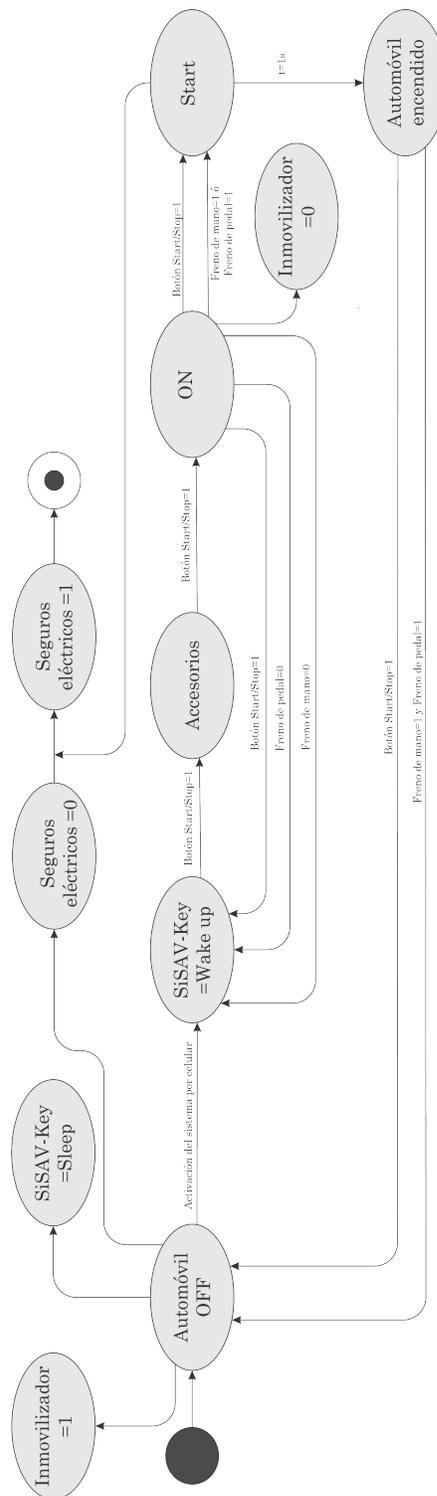


Figura 3.2. Diagrama de estados del SiSAV-Key.

3.2. Partición hardware/software

En esta etapa se dividen las tareas hardware y software que conforman el SiSAV-Key, partiendo de la división que lista la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. División hardware/software del SiSAV-Key.

Tareas hardware	Tareas software
Colocación de componentes en protoboard	Código del subsistema de arranque
Instalación del inmovilizador	Código del subsistema inmovilizador
Instalación de seguros eléctricos	Código del subsistema de seguros eléctricos
Instalación total del SiSAV-Key	Código de la aplicación
Instalación de la aplicación en el dispositivo móvil	Diseño de la tarjeta PCB
Colocación de componentes en la tarjeta PCB	Diseño de la carcasa

3.3. Iteración e implementación

Con base en las especificaciones de funcionamiento y las herramientas mencionadas, cada subsistema cumple una función en específico, y al ser integradas en un sólo sistema, se tiene un sistema embebido funcional y eficiente. La Tabla 3.2 lista las herramientas hardware y software empleadas en el desarrollo del SiSAV-Key.

Tabla 3.2. Herramientas para el desarrollo del SiSAV-Key.

Herramientas hardware	Descripción
Módulo ESP32	Funge como intermediario para la comunicación máquina-usuario.
Regulador de voltaje Mini 560 Step Down (Reductor)	Tienen la función de reducir el voltaje de entrada de 14.7 a 5.0 V.
Relevadores	Dispositivos acoplados al sistema SiSAV-Key que proporcionan alimentación al sistema de arranque, desactivan el inmovilizador y envían señales para abrir y cerrar los seguros eléctricos.
Kit De 4 Actuadores Extreme EX-DLK3000	Realizan la acción de abrir y cerrar los seguros del vehículo de manera automática.
Dispositivo móvil Android	Mediante este dispositivo el usuario tendrá la facultad de enviar las órdenes que desee que realice el sistema SiSAV-Key.
Temporizador IC 555	Proporcionar retardos de tiempo en el subsistema de monitoreo de frenos.
Optoacoplador 817b	Aísla secciones de los circuitos que no son compatibles en términos de voltajes; este dispositivo se utiliza en el subsistema de arranque y en el subsistema de monitoreo del freno de pedal.
Herramientas software	Descripción
Arduino IDE	Entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado para desarrollar el software.
MIT App Inventor	IDE en el cual se desarrolló la aplicación móvil para poder facilitar la interacción entre el usuario y el módulo ESP32.
EAGLE	Software donde se realizó el esquemático de la conexión de los distintos componentes electrónicos, además, para obtener el diseño de la PCB.
SolidWorks	Software utilizado para el diseño de la carcasa del SiSAV-Key-.

3.4. Diseño detallado hardware y software

Una vez seleccionados los elementos que conforman el SiSAV-Key, se estableció a detalle el diseño de cada subsistema. Es importante mencionar que para el funcionamiento óptimo del sistema principal se debe integrar cada elemento hardware y software.

Se empleó un módulo ESP32 para implementar el SiSAV-Key, el cual se desempeña como el cerebro del sistema ya que monitorea el estado del freno de mano, el freno de pedal y analiza la orden deseada por el usuario, dicha orden se envía por el dispositivo móvil mediante comunicación Bluetooth, para posteriormente ejecutar las órdenes correspondientes.

3.4.1. Diseño detallado hardware

3.4.1.1. Integración de los componentes en el módulo ESP32

Para la integración de cada uno de los componentes que integran al SiSAV-Key, se declararon las GPIO en el software del programa, teniendo en cuenta sus hojas de características y diagramas de conexión (véase Figura 3.3). Se asignaron los distintos periféricos del microcontrolador ESP32 para el envío de las señales como muestran la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Asignación de las terminales del módulo ESP32 al SiSAV-Key.

Terminales del módulo ESP32			
Terminal	Asignación	Terminal	Asignación
EN	No conectada	GPIO23	Relevador 5- Seguros Eléctricos
VP	No conectada	GPIO22	Relevador 4- Inmovilizador
VN	No conectada	TX0	No conectada
GPIO34	No conectada	RX0	No conectada
GPIO35	No conectada	GPIO 21	Señal del Freno de Pedal
GPIO32	No conectada	GPIO19	No conectada
GPIO33	No conectada	GPIO18	No conectada
GPIO25	No conectada	GPIO5	No conectada
GPIO26	No conectada	GPIO17	No conectada
GPIO27	Relevador 3- START	GPIO16	No conectada
GPIO14	Relevador 2- ON	GPIO4	Señal del Freno de Mano
GPIO12	Relevador 1- ACC	GPIO2	No conectada
GPIO13	No conectada	GPIO15	GND
GND	GND	GND	GND
VIN	5VDC	3V3	3.3VCD

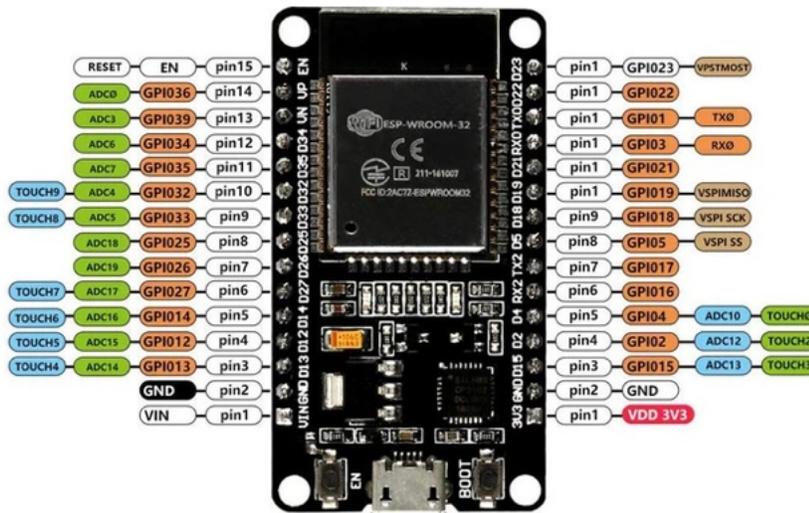


Figura 3.3. GPIO del módulo ESP32.

El módulo ESP32 tiene cinco modos de baja potencia: suspensión de módem (*Modem-sleep*), suspensión ligera (*Light-sleep*), suspensión profunda (*Deep-sleep*), hibernación (*Hibernation*) y apagado (*Power off*), como lista la Tabla 3.4. La suspensión de módem y la suspensión profunda tienen varios modos secundarios, con diferentes tasas de consumo de energía según las capacidades de procesamiento activas. La hibernación detiene casi todas las funciones del chip, excepto un RTC para activarlo después de un período de tiempo determinado. El modo de apagado se activa en respuesta a que la terminal CHIP_PU se establece con un valor bajo y requiere interacción externa para comenzar a procesar nuevamente.

Tabla 3.4. Modos de energía del módulo ESP32.

Modo de energía	Descripción		Consumo de corriente	
Suspensión de módem (<i>Modem-sleep</i>)	CPU Encendida	240 MHz	Chip de doble núcleo	30 mA ~68 mA
			Chip de un solo núcleo	-
		160 MHz	Chip de doble núcleo	27 mA~44 mA
			Chip de un solo núcleo	27 mA~34 mA
Velocidad normal: 80MHz	Chip de doble núcleo	20 mA~31 mA		
	Chip de un solo núcleo	20 mA~25 mA		
Suspensión leve (<i>Light-sleep</i>)	-	-	0.8 mA	
Suspensión profunda (<i>Deep-sleep</i>)	Coprocesador ULP encendido		150 uA	
	ULP Patrón monitoreado por sensor		100 uA	
	RTC tiempo + RTC memoria		10 uA	
Hibernación (<i>Hibernation</i>)	RTC solo tiempo		5 uA	
Apagado (<i>Power off</i>)	CHIP_PU configurado en nivel bajo, el chip esta apagado		1 uA	

El SiSAV-Key implementa el modo suspensión profunda del módulo ESP32 para ahorrar energía, ya que permite apagar el procesador, la memoria principal y los periféricos cuando el módulo no está activo; en este modo de energía se mantiene en funcionamiento el RTC y sus periféricos asociados junto con su memoria RAM asociada y el ULP. Este modo se activa cuando el vehículo está apagado, es decir, cuando se presiona el botón Salir en la aplicación móvil y se asegura que los subsistemas inmovilizador y de seguros eléctricos estén activos.

3.4.1.2. Relevadores

Un relevador, o simplemente relé, es un interruptor electromagnético que basa su funcionamiento en los efectos electromagnéticos producidos por el paso de una corriente eléctrica a través de una bobina. Como componente, pertenece a dos circuitos eléctricos distintos, por un lado, es un circuito de potencia, conectado o desconectado por un electroimán, y por otro lado, es un circuito de control, formado por los elementos que conectan y desconectan la corriente por el electroimán.

Un electroimán está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre como muestra la Figura 3.4. Al pasar una corriente eléctrica por la bobina, ésta produce un campo que magnetiza el núcleo de hierro, convirtiéndose en un imán tanto más potente cuanto mayor sea la intensidad de corriente y el número devueltas de la bobina. Al abrir nuevamente el interruptor, deja de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán (Coello T., 2014).

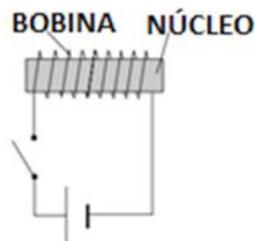


Figura 3.4. Componentes de un electroimán (Coello T., 2014).

Existen tres tipos de relevadores (Coello T., 2014):

- Relevador de simple trabajo: tiene la función de unir la fuente de alimentación con el consumidor, accionándose a través de un interruptor o cualquier otro aparato de mando (véase Figura 3.5).
- Relevador de doble trabajo: en este tipo de relevador la salida de corriente se produce por dos terminales a la vez al ser excitado su bobina (véase Figura 3.6).
- Relevador de conmutación: actúa alternativamente sobre dos circuitos de mando o potencia; uno es controlado cuando los elementos de contacto se encuentran en la posición de trabajo, mientras que el otro lo es cuando los elementos de contacto se encuentran en la posición de reposo (véase Figura 3.7).

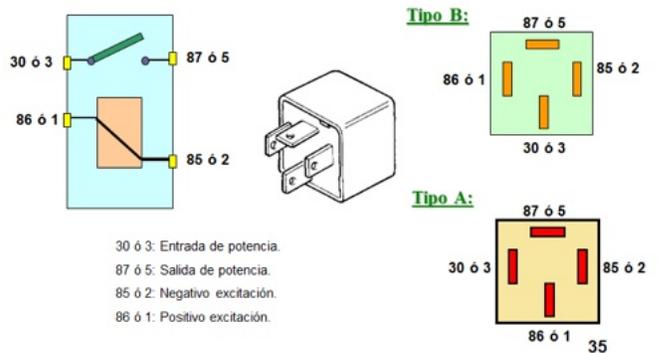


Figura 3.5. Relevador de simple trabajo (Coello T., 2014).

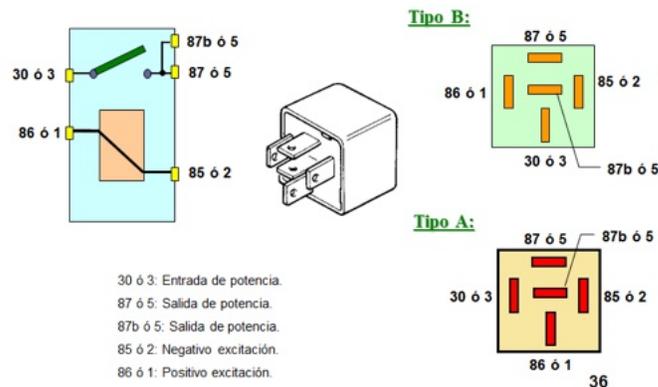


Figura 3.6. Relevador de doble trabajo (Coello T., 2014).

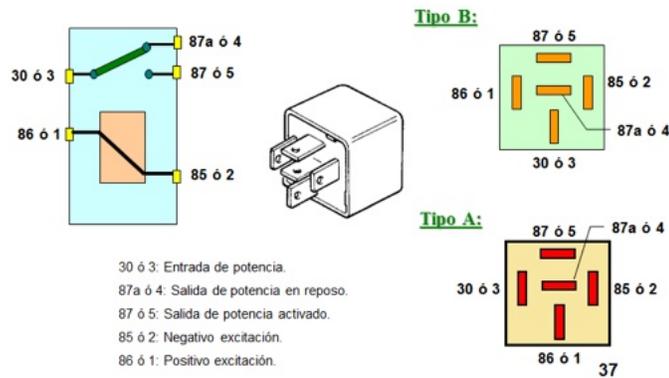


Figura 3.7. Relevador de conmutación (Coello T., 2014).

Existe una serie de relevadores especiales para usos muy concretos, o con disposición específica de los terminales. Entre ellos están los relevadores con resistencia o diodos de extinción y diodo de bloqueo (véase Figura 3.8). El objeto de la resistencia y del diodo es proteger al elemento de mando del relevador de posibles corrientes auto inducidas, generadas en la propia bobina de excitación, que podrían dar lugar al deterioro de éste (Coello T., 2014).

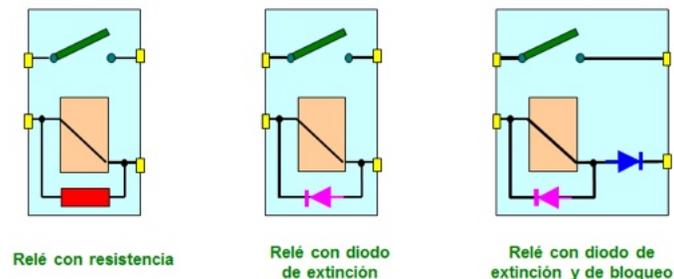


Figura 3.8. Tipos de relevadores especiales (Coello T., 2014).

Para este sistema se emplean cinco relevadores: tres que alimentan los sistemas de Accesorios, On y Start, el de control de seguros eléctricos, y el que se encarga de activar y desactivar el inmovilizador. Para su configuración se asignaron los siguientes GPIO del módulo ESP32 (véase Figura 3.9):

- GPIO12 - Relevador 1: Accesorios.
- GPIO14 - Relevador 2: On.
- GPIO27 - Relevador 3: Start.
- GPIO22 - Relevador 4: Inmovilizador.
- GPIO23 - Relevador 5: Seguros eléctricos.

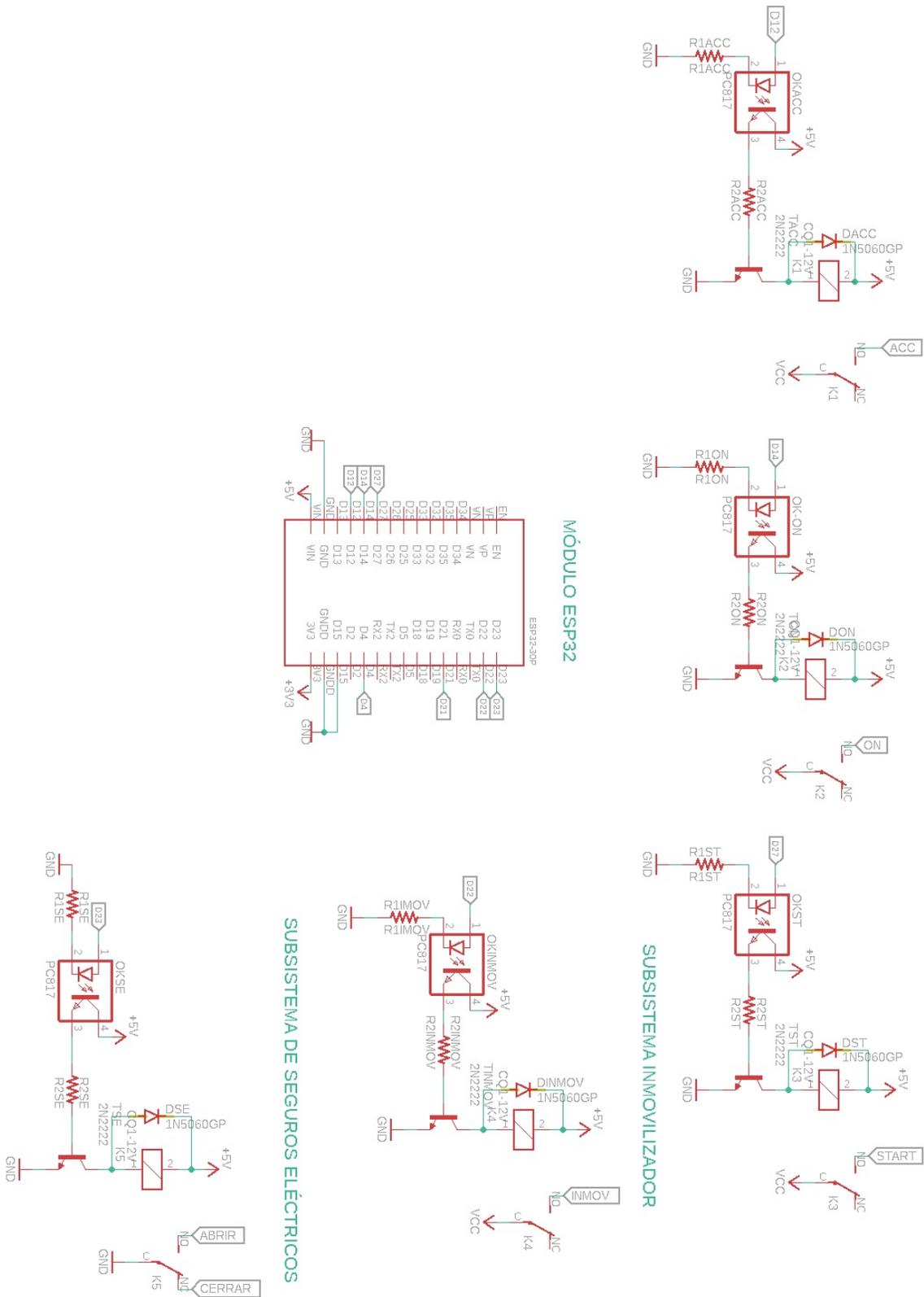


Figura 3.9. Esquema de conexión del ESP32 con los relevadores.

3.4.1.1. Regulador de voltaje

Un regulador de voltaje es un dispositivo eléctrico diseñado para suministrar un voltaje estable y proteger a los equipos eléctricos y electrónicos conectados a una línea de tensión contra fenómenos como sobrevoltaje, caída y variaciones de voltaje, entre otros. Ya que todos los equipos y maquinaria eléctrica están diseñados para una operación correcta dentro ciertos parámetros de voltaje predeterminados de fábrica, si se exceden los valores máximos o mínimos de alimentación de voltaje eléctrico existe un riesgo latente de fallas debido a condiciones de operación anormales.

Un regulador de voltaje es capaz de recibir un voltaje de entrada variable y busca proveer un voltaje de salida apropiado para el funcionamiento correcto de los equipos conectados como carga (New Line, 2023).

3.4.1.2. Regulador Mini 560 Step Down

El regulador Mini 560 Step Down tipo Buck es un dispositivo electrónico de conmutación descendente (véase Figura 3.10). Está disponible para voltajes de salida de 3.3, 5, 9 y 12 V con una alta eficiencia de conversión, excelente regulación de línea y bajo voltaje de rizado. Por su pequeño tamaño y fácil conexión se considera un dispositivo versátil y práctico, y se recomienda su uso en proyectos de electrónica en donde se demanden voltajes menores o iguales a 12 V (UNIT Electronics, 2023). Sus principales especificaciones son las siguientes:

- Frecuencia de funcionamiento: 500 KHz.
- Eficiencia de conversión: 99% máximo.
- Temperatura de funcionamiento: -40 °C a +85 °C.
- Dimensiones: 18 mm x 30 mm.
- Método de rectificación: rectificación sincrónica.
- Naturaleza del módulo: reductor sin aislamiento.

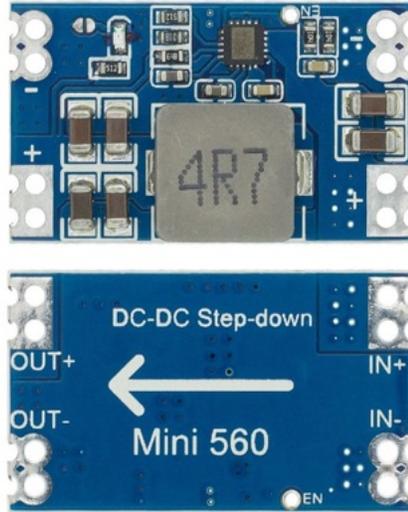


Figura 3.10. Mini 560 Regulador Step Down (UNIT Electronics, 2023).

Para este proyecto de tesis se emplean reguladores Mini 560 Step Down con salida de 3.3 y 5 volts. La Tabla 3.5 muestra la relación de rendimiento y temperatura disipada respecto a cada uno de los módulos mini 560.

Tabla 3.5. Relación de rendimiento y temperatura de los módulos mini 560 (UNIT Electronics, 2023).

	Salida V/I	Entrada V (V)	Entrada I (I)	Entrada V (V)	Entrada I (A)	Eficiencia (%)	Temperatura del chip (°C)
3.3 V	3.3 V/2 A	12	0.56	3.28	2	97.6	35.4
	3.3 V/4 A	12	1.15	3.27	4	94.8	54.8
	3.3 V/5 A	12	1.45	3.26	5	93.7	69.5
5.5 V	5 V/2 A	12	0.85	5.00	2	98.0	35.8
	5 V/4 A	12	1.72	4.99	4	96.7	53.6
	5 V/5 A	12	2.17	4.98	5	95.6	62.1
9 V	9 V/2 A	12	1.54	9.16	2	99.1	36.8
	9 V/3 A	12	2.32	9.15	3	98.6	42.3
	9 V/4 A	12	3.1	9.14	4	98.3	56.8
12 V	12 V/2 A	18	1.37	12.10	2	98.1	39.6
	12 V/3 A	18	2.05	12.12	3	98.5	52.7
	12 V/4 A	18	2.74	12.10	4	98.1	67.2

Los reguladores Mini 560 Step Down con salida de 5 V se utilizaron en la etapa de potencia del sistema (véase Figura 3.11) y en los subsistemas de monitoreo de frenos (véase Figura 3.12). Su función es regular el voltaje de la batería, del testigo del freno de mano y de la luz trasera del freno de pedal; es importante mencionar que los voltajes máximos de entrada tienden a llegar a los 14.3 V.

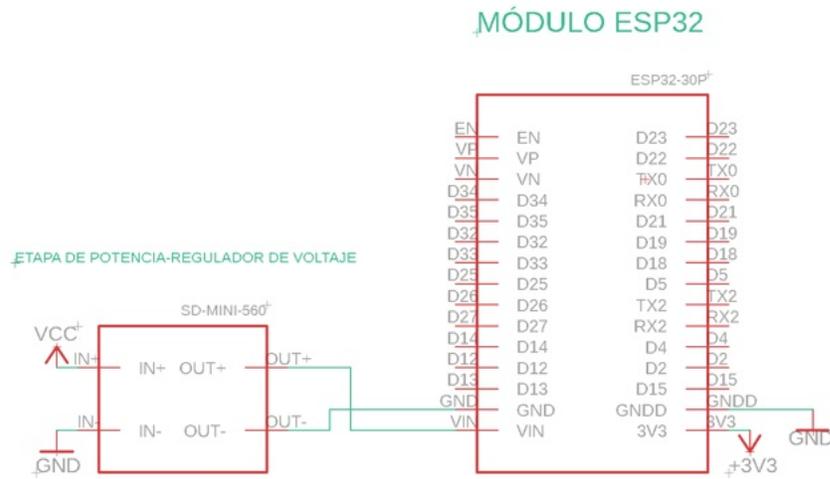


Figura 3.11. Esquema de conexión del regulador de voltaje Mini 560 Step Dow en la etapa de potencia.

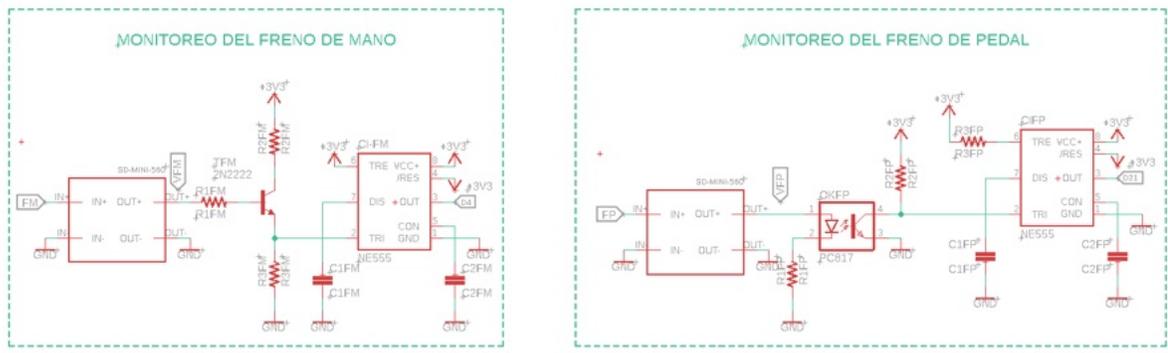


Figura 3.12. Esquema de conexión del regulador de voltaje Mini 560 Step Dow en el monitoreo de frenos.

3.4.1.3. Optoacopladores

Un optoacoplador utiliza un LED acoplado a un fotodiodo o un fototransistor en un sólo encapsulado; existen dos tipos básicos, LED a fotodiodo y LED a fototransistor, como muestra la Figura 3.13 (Floyd, 2008).

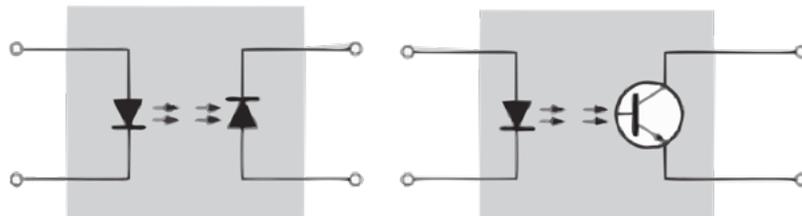


Figura 3.13. LED a fotodiodo y LED a fototransistor (Floyd, 2008).

La Figura 3.14 muestra sus encapsulados típicos, Doble en línea, Montaje superficial y Reticúla de bolas.



Figura 3.14. Encapsulados típicos de los optoacopladores (Floyd, 2008).

Un parámetro clave en optoacopladores es la relación de transferencia de corriente (CTR, *Current Transfer Ratio*), que indica el grado en que una señal se acopla eficientemente desde la entrada hasta la salida y se expresa como la relación de un cambio de la corriente en el LED al cambio correspondiente de la corriente en el fotodiodo o fototransistor.

Los optoacopladores se utilizan para aislar secciones de un circuito que son incompatibles en términos de niveles de voltaje y corrientes requeridas. Por ejemplo, se utilizan para aislar circuitos de señalización o de control de baja corriente de circuitos de suministro de potencia ruidosos, o de circuitos de máquinas y motores de alta intensidad de corriente (Floyd, 2008).

Para el sistema SiSAV-Key se emplearon optoacopladores PC817C para aislar y proteger el circuito de control con los circuitos del subsistema de arranque, inmovilizador, seguros eléctricos y monitoreo del freno de pedal. En la Figura 3.15 se muestra el diagrama esquemático del aislamiento del circuito de control con el circuito de los seguros eléctricos. Dentro de las líneas punteadas en azul se observa cómo el optoacoplador PC817C divide dichos circuitos.

En la Figura 3.16 se observa, entre líneas punteadas color azul, cómo el optoacoplador PC817C aísla la señal del freno de pedal con el circuito de control.

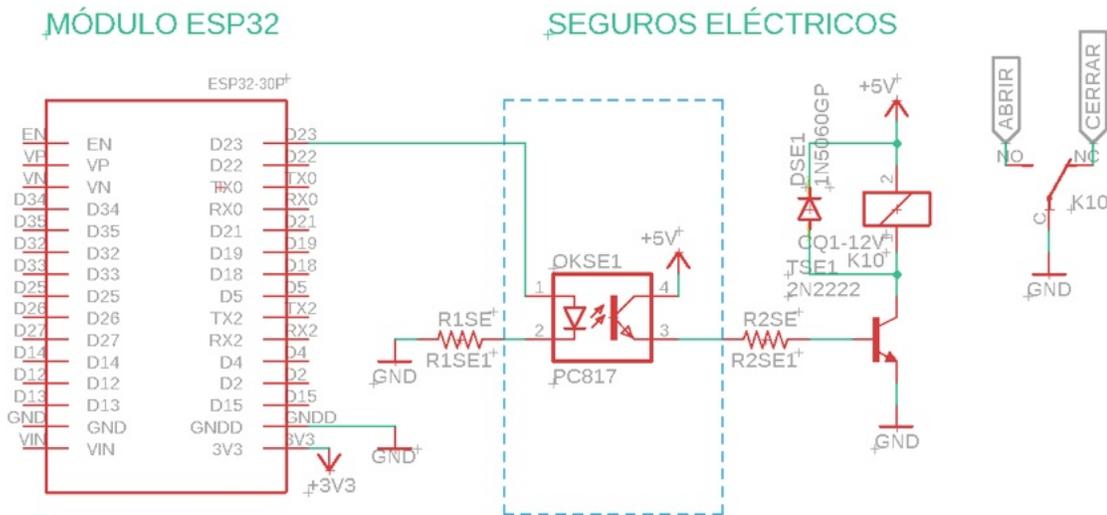


Figura 3.15. Aislamiento entre el módulo ESP32 y el subsistema de seguros eléctricos.

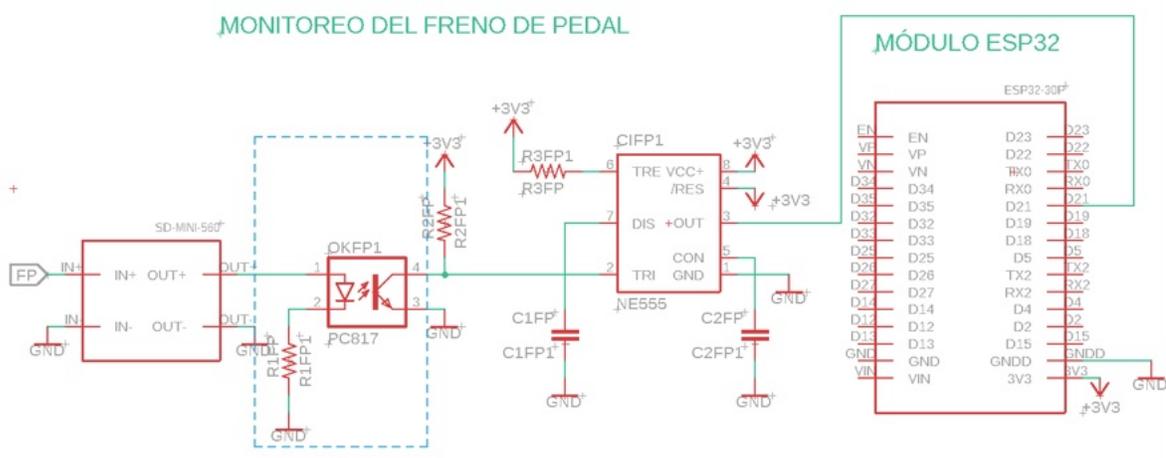


Figura 3.16. Aislamiento entre el módulo ESP32 y la señal del freno de pedal.

3.4.1.4. Temporizador integrado 555

El circuito 555 es un temporizador integrado que tiene un gran número de aplicaciones en los circuitos electrónicos, sobre todo para generar intervalos de tiempo. También se utiliza para construir temporizadores, generadores de impulsos, multivibradores y alarmas, entre otros.

El temporizador 555 puede funcionar como multivibrador astable (oscilación libre) o como multivibrador monoestable (de un disparo), como se muestra en la Figura 3.17. La Figura 3.18 muestra su encapsulado y terminales.

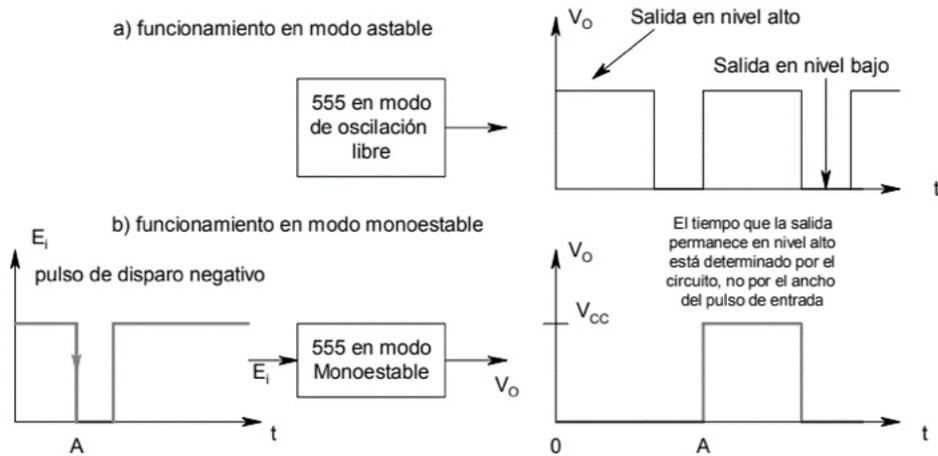


Figura 3.17. Modos de operación del temporizador 555 (Coughlin y Driscoll, 1999).

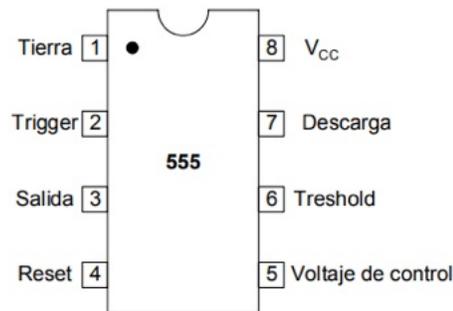


Figura 3.18. Encapsulado de doble línea (vista superior) (Coughlin y Driscoll, 1999).

El 555 tolera corrientes de salida de hasta 200 mA y, por tanto, puede accionar diversas cargas TTL. Una de las aplicaciones más comunes es su utilización como generador de señales cuadradas para accionar circuitos lógicos.

Mediante la terminal de reinicio (4) se desactiva el 555 y se anulan las señales de la entrada de disparo (terminal 2). Si no se utiliza, esta terminal debe conectarse a VCC, mientras que si se conecta a tierra, la señal de salida (3) y la de descarga (7) mantienen un nivel de salida bajo.

La terminal 7 descarga un capacitor de temporización externa durante el tiempo en el cual la salida está en nivel bajo, y cuando la salida está en nivel alto, esta terminal funciona como un circuito abierto y permite al capacitor cargarse a una velocidad determinada por una resistencia o por resistencias y un capacitor externo.

La terminal de control de voltaje (5) generalmente se conecta a un capacitor de filtro de $0.01 \mu\text{F}$ respecto a tierra. Por este capacitor se desvían los voltajes de rizado producidos por la fuente de alimentación. Esta terminal también se utiliza para modificar los niveles de los voltajes de umbral (6) y de disparo (2).

El 555 tiene dos posibles estados de operación, astable y monoestable, y uno de memoria, los cuales se definen mediante la comparación de niveles de voltajes de las terminales de disparo (2) y de umbral (6); si la entrada de disparo se compara con un voltaje de umbral inferior $1/3 \text{ VCC}$ el 555 se encuentra en algún modo de operación, mientras que si la entrada de umbral se compara con un voltaje de umbral superior por medio del comparador 2 con $2/3 \text{ VCC}$ se encuentra en estado de memoria (Coughlin y Driscoll, 1999).

En la Figura 3.19 se observa el esquemático del monitoreo de frenos, entre las líneas punteadas en azul se muestra la conexión del circuito integrado 555. Es importante mencionar que la función principal del circuito integrado 555 es proporcionar un pequeño retardo a la señal del freno de mano con la finalidad de que el ESP32 realice una lectura adecuada.

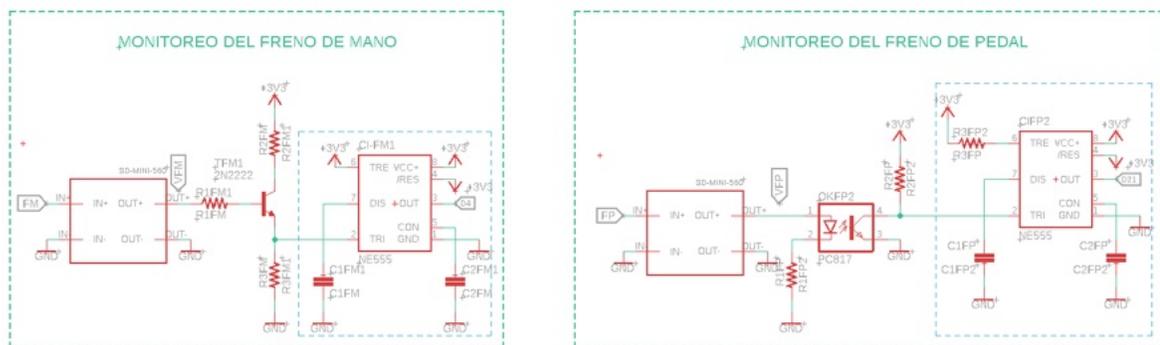


Figura 3.19. Esquemático del monitoreo de freno haciendo uso del temporizador integrado 555.

3.4.1.5. Kit De 4 Actuadores Extreme EX-DLK3000

Los vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan no cuentan con seguros eléctricos, por tal razón, y para complementar el SiSAV-Key, fue necesario implementar el kit de actuadores EX-DLK3000 de la firma Extreme, que cuenta con un sistema central de bloqueo que incluye:

- 1 actuador comando con accesorios.
- 3 actuadores esclavo con accesorios.
- 1 módulo interfaz.
- 1 arnés con cableado completo.

Es importante mencionar que se optó por este modelo de kit porque se caracteriza por tener un tiempo de vida extenso y su instalación es fácil (véase Figura 3.20).



Figura 3.20. Kit EX-DLK3000 de la firma Extreme.

3.4.2. Diseño detallado SW

A continuación, se describen las herramientas software utilizadas en el desarrollo del SiSAV-Key.

3.4.2.1. Arduino IDE

Arduino IDE es un software utilizado para programar y desarrollar proyectos que proporciona una interfaz gráfica y herramientas para escribir, compilar y cargar código en diversos microcontroladores compatibles, lo que facilita el proceso de desarrollo de proyectos electrónicos y de programación (Arduino, 2023).

Las especificaciones de Arduino IDE son las siguientes:

- Editor de código: ofrece un editor de texto con funciones de resaltado de sintaxis basado en el lenguaje de programación C/C++.
- Compilación y carga de programas: permite compilar el código y cargarlo en la placa seleccionada. Arduino IDE se comunica con las placas a través de un puerto USB.
- Gestión de bibliotecas: proporciona una interfaz para buscar, instalar y administrar bibliotecas de terceros que amplían las capacidades del Arduino IDE.
- Monitor serie: permite visualizar la comunicación serial entre la placa y la computadora; es una herramienta útil para depurar y visualizar la salida del programa.
- Compatibilidad con múltiples placas: Arduino IDE es compatible con una amplia gama de placas Arduino y placas basadas en microcontroladores AVR y ARM, entre otras.
- Soporte de extensiones: permite a los desarrolladores agregar soporte para nuevas placas y sus características a través de la instalación de extensiones (*core* y bibliotecas).
- Sistemas operativos compatibles: MS Windows, MacOS y Linux.

Para el desarrollo del SiSAV-Key se utilizó el IDE Arduino en su versión 2.3.0.

3.4.2.2. MIT App Inventor

En el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, *Massachusetts Institute of Technology*) se diseñó MIT App Inventor como una herramienta para crear aplicaciones de forma eficiente y de fácil uso para el usuario (MIT, 2023). La codificación de la aplicación móvil del SiSAV-Key se realizó en MIT App Inventor, la cual comunica un dispositivo móvil y un módulo ESP32 mediante el protocolo de comunicaciones Bluetooth; el dispositivo móvil funciona como transmisor y el módulo ESP32 como receptor.

MIT App Inventor establece los siguientes requerimientos mínimos para el dispositivo móvil:

- Sistema operativo Android 2.3 Gingerbread, Android 7.0 Nougat, Android 9, Android 10, Android 11 o posterior.
- Bluetooth: Bluetooth classic, Bluetooth BLE, Bluetooth 4.0, Bluetooth 5.0 o posterior.
- Memoria mayor a 15 MB.
- Procesador de doble núcleo y un 2 GB de memoria RAM.
- Tipo de archivo Android Package (apk).

Para este trabajo de tesis se utilizó un dispositivo móvil Redmi Note 9 de la firma Xiaomi (véase la Figura 3.21), cuyas características son las siguientes:

- Memoria RAM de 4 GB.
- Almacenamiento de 128 GB.
- GPS.
- Cámara trasera de 13 MP.
- Pantalla de 6.5 pulgadas con resolución 2340 x 1080.
- Sistema operativo Android versión 11.
- Tecnología inalámbrica en bandas 4G LTE.



Figura 3.21. Dispositivo móvil Redmi Note 9.

Se decidió hacer uso del dispositivo móvil Redmi Note 9 debido a que cuenta con el sistema operativo Android versión 11, la cual permite el bloqueo de aplicaciones en su apartado Ajustes, como muestra la Figura 3.22. Esta opción tiene la facultad de bloquear las aplicaciones que contengan información valiosa para el usuario, y este dispositivo permite el bloqueo de aplicaciones mediante el reconocimiento de huella digital o un patrón.

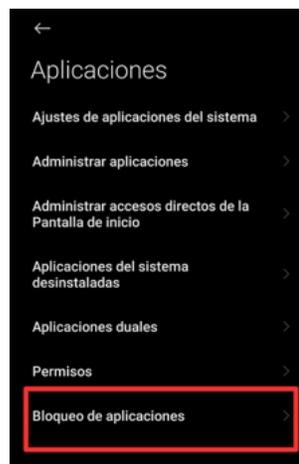


Figura 3.22. Apartado para bloquear aplicaciones en Android 11.

Para el diseño de la aplicación se planteó realizar una interfaz sencilla e intuitiva para el usuario con base en el diagrama de flujo que muestra la Figura 3.23.

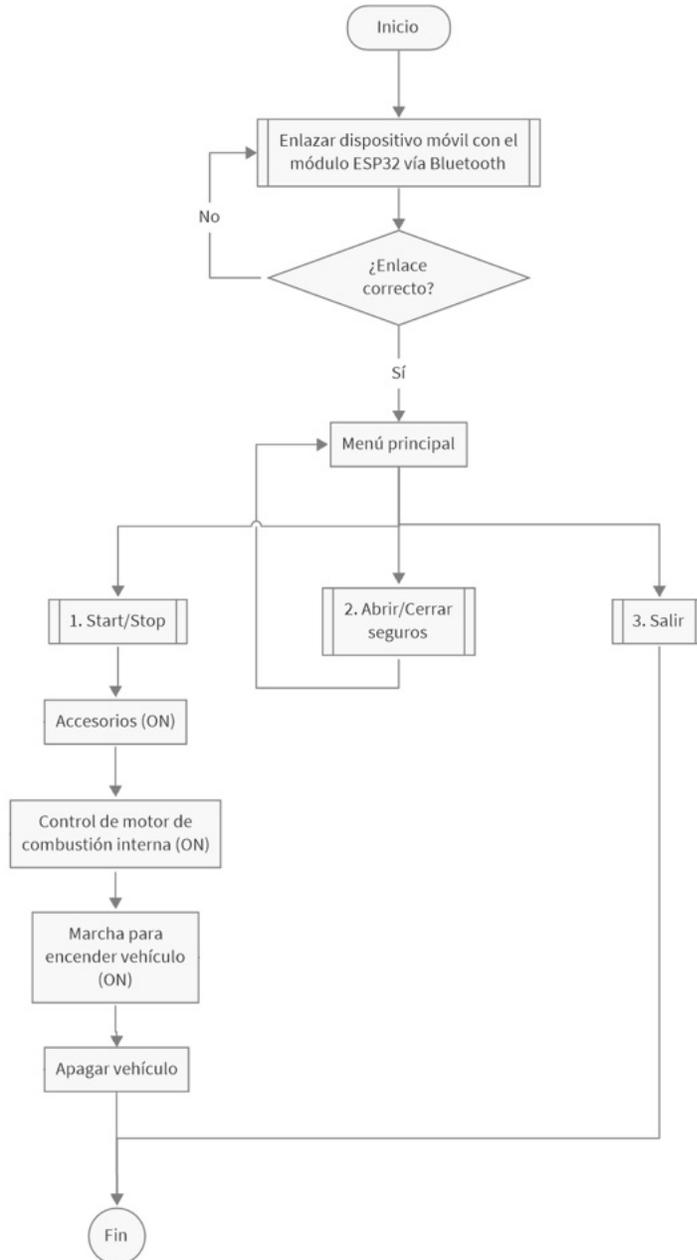


Figura 3.23. Diagrama de flujo que muestra la secuencia de la aplicación móvil.

La Figura 3.24 muestra el icono de la aplicación llamada SiSAV-Key en el menú principal de aplicaciones del dispositivo móvil. Al ejecutar la aplicación, se muestra la interfaz gráfica de usuario de la Figura 3.25.

Una vez dentro de la aplicación, el usuario debe dar clic al botón con el icono de Bluetooth para enlazar el dispositivo móvil con el SiSAV-Key y, posteriormente, seleccionar el dispositivo que lleva por nombre SiSAV-Key_Nissan

D21-D22 (véase Figura 3.26). Si la conexión es válida, el icono de Bluetooth pasa de ser blanco a color azul, como muestra la Figura 3.27, y el módulo ESP32 sale del modo suspensión profunda (*deep sleep*), configurado para ahorrar energía.

La Figura 3.28 muestra el código en MIT App Inventor para la conexión Bluetooth entre el dispositivo móvil y el módulo ESP32.



Figura 3.24. Icono de la aplicación SiSAV-Key.

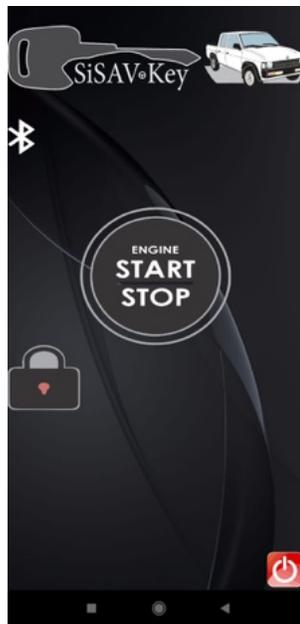


Figura 3.25. Interfaz gráfica de usuario de la aplicación SiSAV-Key.

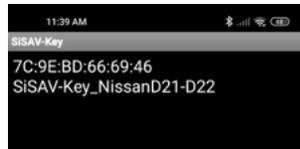


Figura 3.26. Selección del dispositivo móvil con el SiSAV-Key vía Bluetooth.

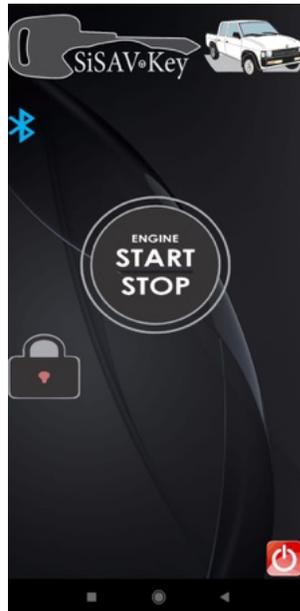


Figura 3.27. Icono de Bluetooth en azul, indicando que la conexión Bluetooth fue exitosa.

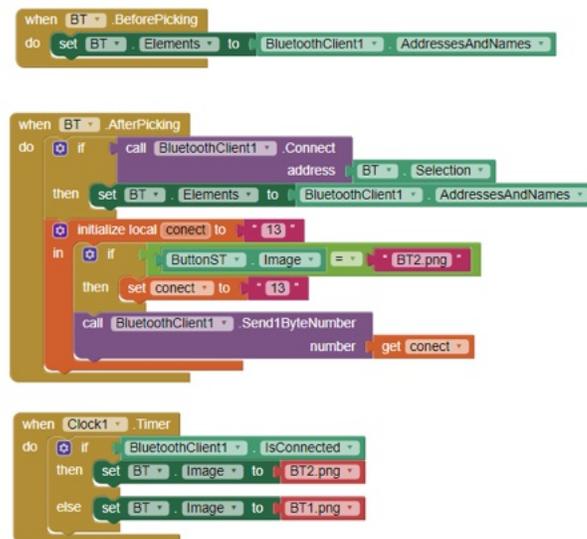


Figura 3.28. Código en MIT App Inventor para la conexión Bluetooth.

Una vez que se establece la conexión Bluetooth entre el dispositivo móvil con el módulo ESP32, se hace uso de las operaciones disponibles en la interfaz. Por ejemplo, la Figura 3.29 muestra la dinámica del control de apertura y cierre

de seguros eléctricos. El icono del botón para controlar los seguros eléctricos es un candado, cuando se presiona, el candado se abre o se cierra, indicando el estado de los seguros en el vehículo.

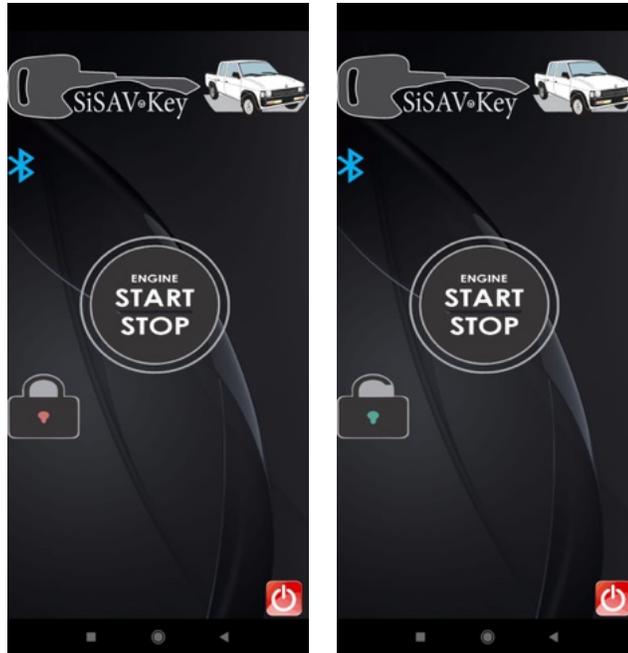


Figura 3.29. Dinámica de la aplicación durante la apertura y cierre de seguros eléctricos.

En la Figura 3.30 se muestra el código en MIT App Inventor que se encarga de abrir o cerrar los seguros eléctricos del vehículo. En la interfaz de la aplicación si el candado está cerrado se envía al módulo ESP32 un '10' para cerrar los seguros del vehículo, pero si se vuelve a presionar y el candado se abre, la aplicación envía un '11' para abrir los seguros.

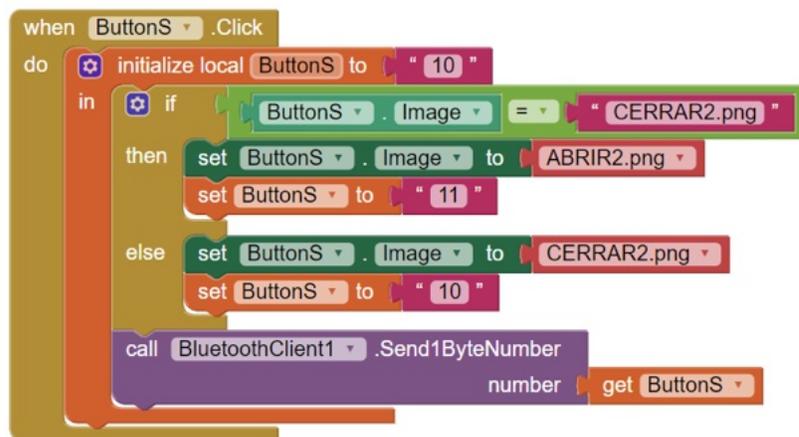


Figura 3.30. Código en MIT App Inventor para abrir y cerrar los seguros del vehículo.

Otra función es emular las posiciones del interruptor de encendido (*ignition switch*), para ello, la aplicación tiene la posibilidad de accionar los accesorios del vehículo, alimentar los sistemas referentes con a la posición ON, accionar la marcha para arrancar el vehículo y apagar el mismo. A continuación, se describe la dinámica de la aplicación en cada una las etapas del encendido.

La Figura 3.31 muestra cómo al presionar por primera vez el botón Start/Stop, su contorno se pone de color azul para indicar que en el vehículo se han accionado los accesorios, y al presionar por segunda ocasión el botón Start/Stop, su contorno cambia a color rojo para indicar que están accionadas la posición ON. En la Figura 3.32 se observa que al presionar por tercera vez el botón Start/Stop, el contorno del botón cambia a color verde y el candado se cierra, y cuando se presiona por cuarta vez el botón Start/Stop, su contorno toma un fondo transparente para indicar que el vehículo está apagado.



Figura 3.31. Botón Start/Stop en la posición Accesorios y en la posición ON.



Figura 3.32. Botón Start/Stop en la posición Start y en la posición OFF.

En la Figura 3.33 se observa el código en MIT App Inventor encargado de enviar las señales correspondientes al subsistema de arranque.

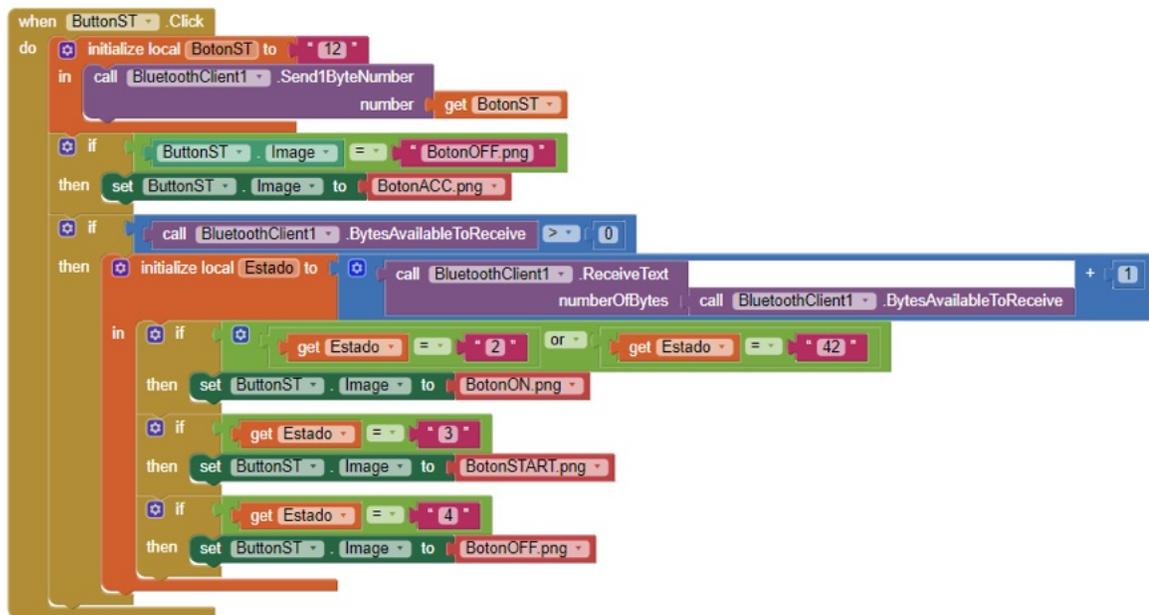


Figura 3.33. Código en MIT App Inventor para el subsistema de arranque.

El último botón en la interfaz gráfica de la aplicación SiSAV-Key es Salir; al presionarlo la aplicación envía una señal al módulo ESP32 para ordenarle entrar en modo suspensión profunda (*deep sleep*) y cerrar los seguros eléctricos,

para posteriormente cerrarse y volver al menú principal del dispositivo móvil. En la Figura 3.34 se muestra el código en MIT App Inventor correspondiente.

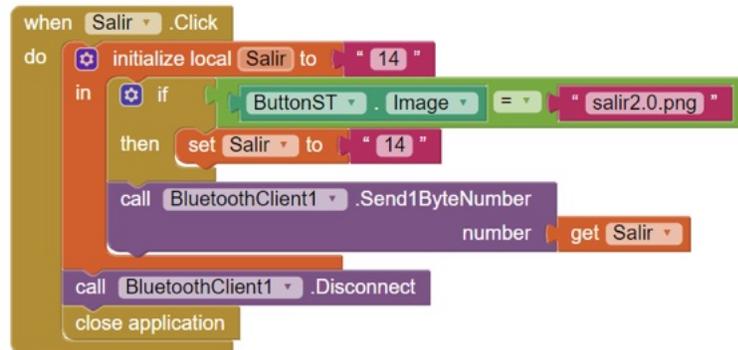


Figura 3.34 Código en MIT App Inventor para el botón salir.

3.4.2.1. EAGLE

EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*) es un software de automatización de diseño electrónico (EDA, *Electronic Design Automation*) que permite diseñar placas de circuito impreso (PCB, *Printed Circuit Board*) a partir del enrutamiento de diagramas esquemáticos con un extenso respaldo de librerías y componentes electrónicos (AUTODESK, 2023). Contiene un editor para el diseño de diagramas esquemáticos de circuitos electrónicos. Dichos esquemas se almacenan en archivos con extensión SCH, mientras que el editor de PCB lo hace con la extensión BRD.

Para el diseño de la placa de circuito impreso del SiSAV-Key se hizo uso del software EAGLE Education en su versión 9.6.2, como se describe en el Anexo B.

3.4.2.2. SolidWorks

SolidWorks es un software de diseño asistido por computadora (CAD) 3D, utilizado para el diseño, modelado y análisis de productos y componentes en tres dimensiones. Es desarrollado por la empresa Dassault Systèmes y ampliamente utilizado en industrias de manufactura, ingeniería mecánica, arquitectura y

otras áreas que requieren diseño en 3D (Dassault Systèmes, 2023). Sus principales características son las siguientes:

- Modelado 3D: permite a los usuarios crear modelos 3D de piezas y ensamblajes de manera intuitiva y precisa.
- Ensamblajes: permite la creación de ensamblajes con múltiples piezas que pueden ser colocadas, ajustadas y analizadas entre ellas.
- Dibujo y documentación: facilita la creación de dibujos técnicos 2D a partir de modelos 3D.
- Análisis de simulación: ofrece herramientas para realizar análisis de elementos finitos (FEA, *Finite Element Analysis*), lo que permite evaluar el comportamiento estructural y térmico de los diseños.
- Animaciones y renderizado: permite crear animaciones de productos en 3D y generar representaciones realistas para presentaciones y documentación.
- Integración con otros sistemas: se integra con una variedad de software de gestión del ciclo de vida del producto (PLM, *Product Lifecycle Management*) y otras herramientas de diseño y fabricación, lo que facilita la colaboración en equipos de diseño.
- Biblioteca de componentes estándar: incluye una amplia gama de componentes estándar como tornillos, tuercas y rodamientos que pueden ser utilizados en los diseños.

Para el desarrollo de la carcasa del SiSAV-Key se utilizó SolidWorks en su versión 2023 como se describe en el Anexo C.

Capítulo 4. Resultados

4.1. Integración Hardware/Software

Para la integración hardware/software del SiSAV-Key se realizaron las siguientes tareas: verificar la correcta conexión de los componentes HW al ESP32, ejecutar programas de prueba al sistema con el fin de valorar posibles fallos y ejecutar el programa principal para verificar su correcto funcionamiento.

4.2. Pruebas

Las pruebas son necesarias para determinar el correcto funcionamiento del sistema, por lo que se realizaron pruebas de caja gris y de caja negra para verificar que el sistema cumpla con los requerimientos iniciales (véase Subcapítulo 3.1).

4.2.1. Pruebas de caja gris

A continuación, se describen las pruebas de caja gris que fueron realizadas al SiSAV-Key con la finalidad de comprender su arquitectura interna (véase Figura 4.1) y corroborar su correcto funcionamiento.

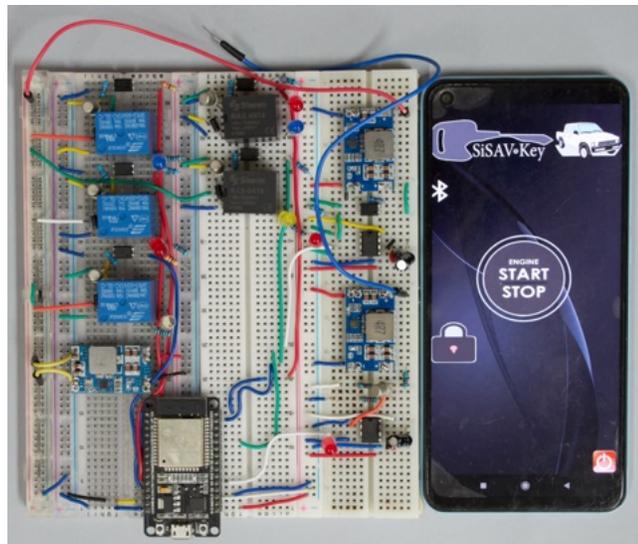


Figura 4.1. Arquitectura interna del SiSAV-Key.

Para iniciar con las pruebas de caja gris, primero se suministró energía al sistema por medio del módulo ESP32 y se vinculó el dispositivo móvil con el SiSAV-Key vía Bluetooth. Para realizar la vinculación mediante Bluetooth fue necesario dar clic en el botón con el icono de Bluetooth y seleccionar el dispositivo que lleva como nombre SiSAV-Key_NissanD21-D22 como muestra la Figura 4.2.

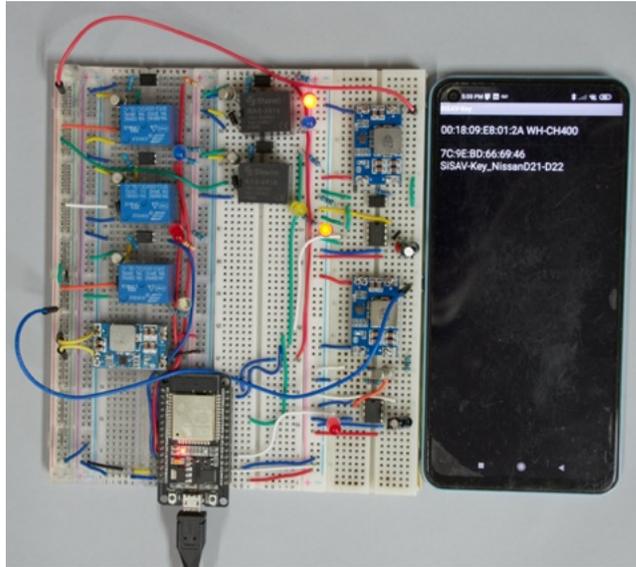


Figura 4.2. Conexión vía Bluetooth entre el dispositivo móvil y el SiSAV-Key.

Cuando la conexión Bluetooth es correcta, el icono cambia de blanco a color azul como se observa en la Figura 4.3.

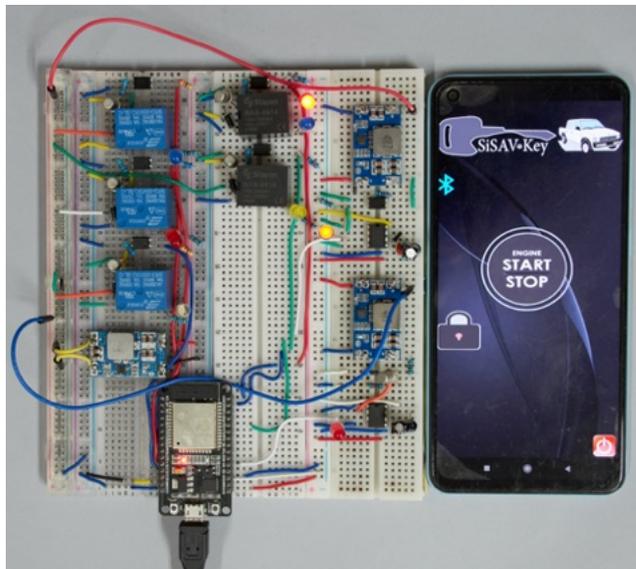


Figura 4.3. Conexión Bluetooth correcta.

Una vez conectado con el SiSAV-Key, se pueden controlar los subsistemas de arranque y de seguros eléctricos de manera inalámbrica.

La primera prueba fue al subsistema de seguros eléctricos; cuando se da clic al botón con icono de candado se observa que el estado del candado cambia. Por ejemplo, al inicio el candado se muestra cerrado, pero al dar clic el candado se abre indicando que los seguros eléctricos se abren. En la Figura 4.4 se observa que se enciende un LED azul para indicar que los seguros están abiertos.

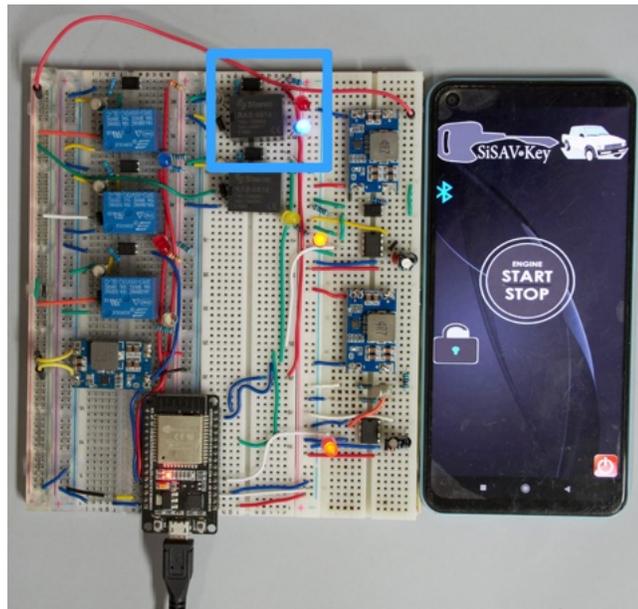


Figura 4.4. LED azul que indica que los seguros eléctricos están abiertos.

Para cerrar los seguros, se da clic en el botón con icono de candado, y se observa que el candado se cierra y se apaga el LED azul para encender un LED rojo (véase Figura 4.5).

La segunda prueba se realizó al subsistema de arranque e inmovilizador. Para esta prueba se utiliza el botón Start/Stop que se encuentra al centro de la interfaz de la aplicación. Al dar un primer clic en dicho botón, se activan los accesorios del vehículo y se notifica con un color azul alrededor del ícono en la aplicación mientras se enciende el LED blanco en la protoboard (véase Figura 4.6).

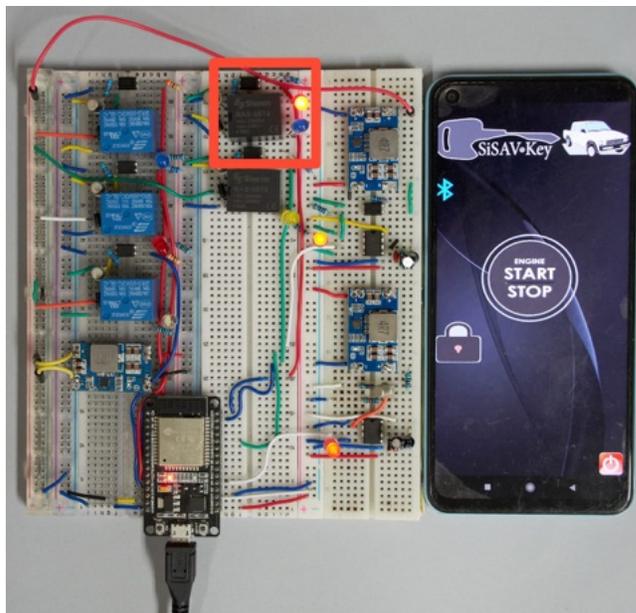


Figura 4.5. LED rojo que indica que los seguros eléctricos están cerrados.

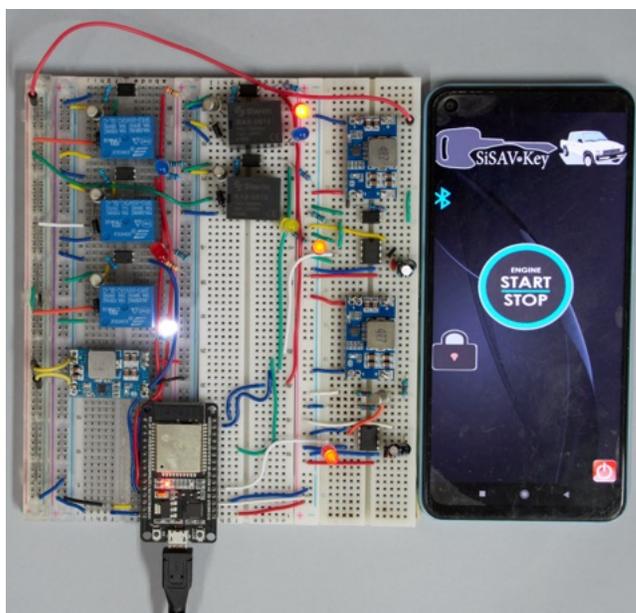


Figura 4.6. Accesorios activados.

Al dar un segundo clic en el botón Start/Stop se activa el suministro de energía a todos los sistemas referentes al control de ignición del motor de combustión interna (ON). En la protoboard se enciende el LED rojo indicando la posición ON y el LED amarillo para indicar que el inmovilizador se ha desactivado. En la aplicación el botón Start/Stop cambia a un color rojo a su alrededor (véase Figura 4.7).

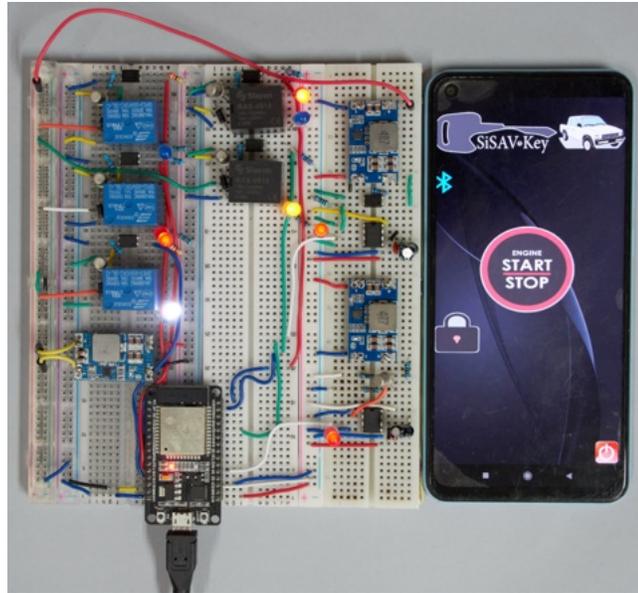


Figura 4.7. Posición ON activada.

La siguiente prueba tuvo como finalidad comprobar el funcionamiento del Start. Es importante mencionar que para que el vehículo arranque es necesario mantener presionado el pedal de freno o accionar el freno de mano, de lo contrario el arranque no se efectuará. De acuerdo con la Figura 4.8, en la parte derecha de la protoboard se encuentra el subsistema de monitoreo de frenos, en ese apartado se encuentran dos LED de color rojo, los cuales representan los testigos del freno de mano y del freno del pedal; se observa que los LED se encuentran encendidos y por lo tanto el arranque puede ser efectuado correctamente.

En la Figura 4.8 se observa que cuando se da clic por tercera vez al botón Start/Stop, el botón cambia a color verde. En el lado izquierdo de la protoboard se puede notar que enciende un LED azul, lo cual indica que está accionada la marcha. Es importante mencionar que la marcha trabajará durante 1,420 ms y durante este tiempo los accesorios se deshabilitan con la finalidad de enviar toda la corriente necesaria a la marcha.

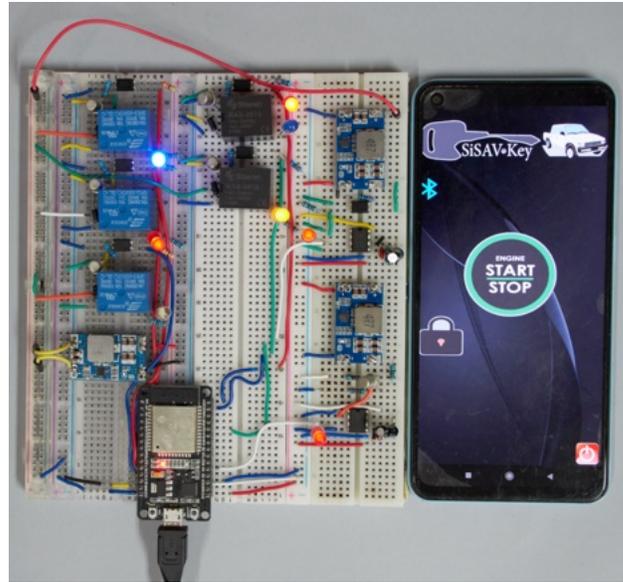


Figura 4.8. Start accionado.

Al dar un cuarto clic en el botón Start/Stop el vehículo debe apagarse, pero para que se ejecute esta acción es necesario tener accionado el freno de mano y mantener pisado el pedal del freno. En la Figura 4.9 se pueden observar encendidos los LED rojos que indican que los frenos están accionados y, por lo tanto, se puede apagar el vehículo sin problemas. En cuanto se da clic al botón Start/Stop se observa que el botón queda con un fondo transparente indicando que el vehículo está apagado y el inmovilizador activado.



Figura 4.9. Subsistema de arranque apagado.

Como última prueba, se da clic al botón Salir; es importante mencionar que al presionar este botón el SiSAV-Key inmoviliza el vehículo, cierra seguros, entra en modo suspensión profunda (*deep sleep*) y la aplicación vuelve al menú principal (véase Figura 4.10).



Figura 4.10. Estado del SiSAV-Key cuando se presiona el botón Salir.

El Anexo B describe el diseño de la PCB del SiSAV-Key. Una vez que todos los componentes de la PCB fueron soldados como se observa en la Figura 4.11, se realizaron las mediciones de voltaje que se describen a continuación.

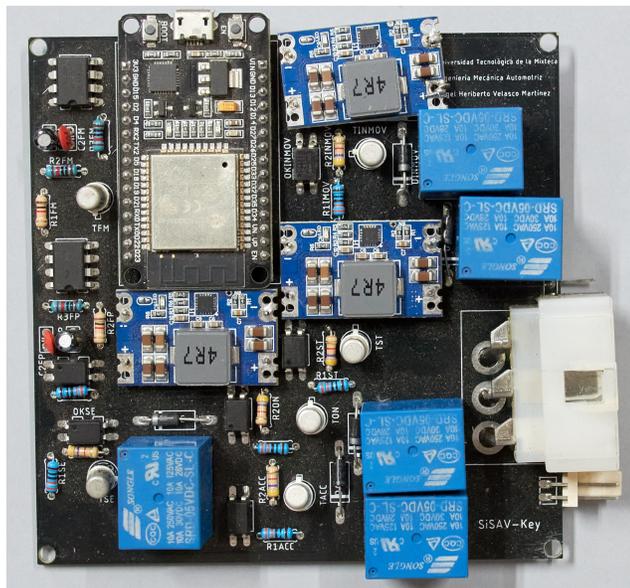


Figura 4.11. PCB del SiSAV-Key.

Se alimentó el SiSAV-Key con una fuente de voltaje variable proporcionando un voltaje de 14.5 V. Con ayuda de una lámpara de pruebas, se corroboró el funcionamiento de sistema de arranque. En la Figura 4.12 se observa que la lámpara de pruebas enciende correctamente al colocarla en el cable amarillo, el cual corresponde a la alimentación del sistema de accesorios del vehículo.

En la Figura 4.13 se muestra que la lámpara de pruebas enciende al ser colocada en el cable blanco, lo cual indica un buen funcionamiento del SiSAV-Key al dar alimentación al control de ON. Es importante aclarar que el subsistema inmovilizador se desactiva en cuanto se envíe la señal de ON a través del dispositivo móvil y se activa cuando se apague el vehículo. En la Figura 4.14 se muestra que al colocar la lámpara de pruebas en el cable café ésta enciende, indicando que existe una adecuada alimentación al relevador que controla la bomba de combustible.

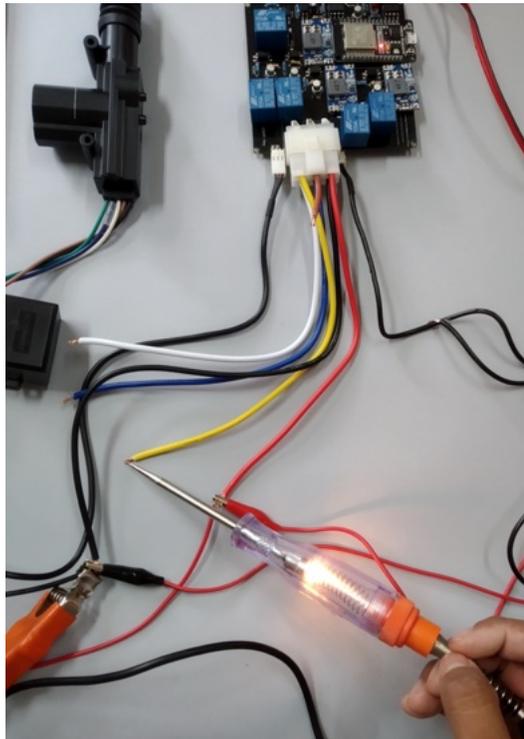


Figura 4.12. Prueba al control de accesorios.

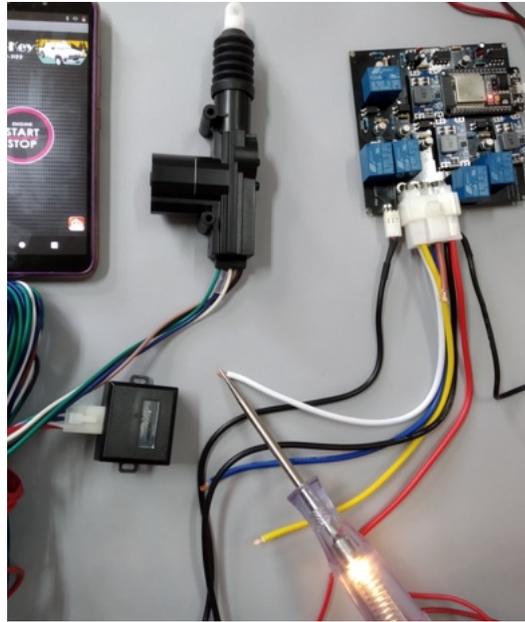


Figura 4.13. Prueba al control de ON.

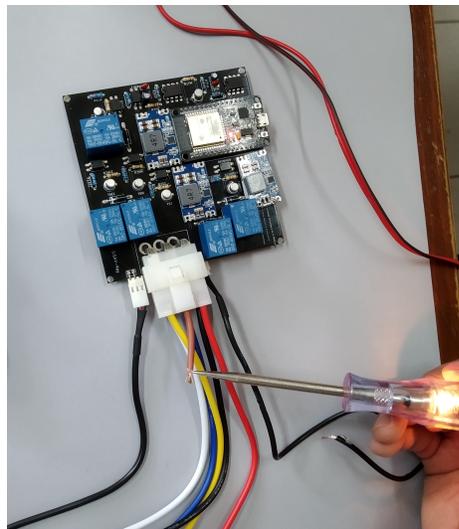


Figura 4.14. Prueba al subsistema inmovilizador.

Finalmente, al enviar la señal de accesorios a través del dispositivo móvil, el cable azul conduce el voltaje necesario para alimentar la marcha durante 1,420 ms; en la Figura 4.15 se observa que la lámpara de pruebas enciende cuando se coloca en el cable azul del arnés.

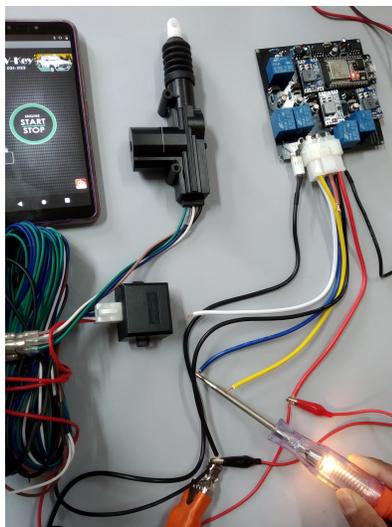


Figura 4.15. Prueba al control del Start.

Antes de realizar la instalación del SiSAV-Key en la PickUp D21, fue necesario realizar ciertas mediciones de voltajes. A continuación, se muestran los resultados.

La Pick Up D21 utiliza una batería del tipo L-22F-450 de la firma LTH. Como muestra la Figura 4.16.



Figura 4.16. Batería LTH tipo L-22F-450.

La primera medición de voltaje fue a la batería, en la Figura 4.17 se observa que el voltaje medido fue 12.63 V.



Figura 4.17. Voltaje de la batería.

Las siguientes mediciones de voltaje se realizaron en el interruptor de encendido. En la Figura 4.18 se observa que se realizó la medición de voltaje en el cable rojo del interruptor de encendido, el cual corresponde al voltaje de la batería. El voltaje obtenido es de 12.63 V, el cual es el mismo que el de la medición anterior en donde se midió el voltaje directamente desde la batería, por lo tanto, podemos concluir que no existen pérdidas de voltaje.



Figura 4.18. Voltaje medio en el interruptor de encendido.

Posteriormente, se realizaron mediciones en cada una de las posiciones del interruptor de encendido. Al accionar los accesorios existe una caída de voltaje de un 4.59 %, como muestra la Figura 4.19, registrando un voltaje de 12.05 V.



Figura 4.19. Voltaje al accionar el sistema de accesorios.

En la Figura 4.20 se observa que el voltaje al accionar la posición de ON es de 12.18 V, que representa una caída de voltaje de un 3.56 %. Al accionar la marcha a través del interruptor de encendido existe una caída de voltaje considerable, de un 28.82 %, registrando un nivel de voltaje de 8.99 V (véase Figura 4.21).

Es importante mencionar que el SiSAV-Key está programado para deshabilitar los accesorios durante el tiempo en el que trabaja la marcha, esto se hace con la finalidad de enviar toda la corriente necesaria a la marcha y con ello provocar que el arranque del vehículo sea adecuado.



Figura 4.20. Voltaje al accionar el sistema de ON.



Figura 4.21. Voltaje al accionar la marcha.

Finalmente, se realizó la medición en el interruptor del freno de pedal, el cual fue de 12.59 V (véase Figura 4.22). Para el interruptor del freno de mano no fue posible hacer una medición de voltaje, debido a que ese interruptor da paso de tierra (GND).



Figura 4.22. voltaje en el interruptor del freno de pedal.

4.2.2. Pruebas de caja negra

Las pruebas de caja negra, o técnicas de diseño de caja negra, son un enfoque de ingeniería de software para el desarrollo de sistemas. Su propósito es verificar que el sistema cumpla con sus especificaciones iniciales. Son de gran ayuda para identificar problemas en la interfaz del sistema, errores de inicialización y terminación, errores en las estructuras y posibles brechas de seguridad.

Para realizar las pruebas de caja negra al SiSAV-Key se diseñó un encapsulado en SolidWork cuyo resultado se muestra la Figura 4.23 (véase Anexo C). Posteriormente se realizó la instalación del sistema como muestra la Figura 4.24.



Figura 4.23. Carcasa del SiSAV-Key diseñada en SolidWorks.



Figura 4.24. Instalación del SiSAV-Key.

Después de hacer la instalación, con un multímetro se midieron los voltajes al accionar Accesorios, ON y Start con respecto a tierra (GND), como muestra la Figura 4.25. Los cuales fueron de 12.02 V, 12.05 V y 9.12 V, respectivamente.



Figura 4.25. Voltajes de salidas para el sistema de arranque.

A continuación, se describen los resultados del comportamiento de la camioneta Pick Up D21 con el SiSAV-Key instalado.

El SiSAV-Key fue diseñado exclusivamente para vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan. Para este trabajo de tesis se tuvo la oportunidad de implementar el sistema en un vehículo Pick Up D21 con las siguientes características: camioneta blanca marca Nissan modelo 1999 (D21) de 4 cilindros a gasolina, con capacidad para 5 ocupantes (véase Figura 4.26).



Figura 4.26. Vehículo Pick Up D21 donde se instaló el SiSAV-Key.

Para iniciar con la prueba general fue necesario asegurar que el Bluetooth del dispositivo móvil estuviera activado. Para activar el Bluetooth es necesario ingresar al apartado Configuración para posteriormente entrar a la opción Bluetooth (véase Figura 4.27).

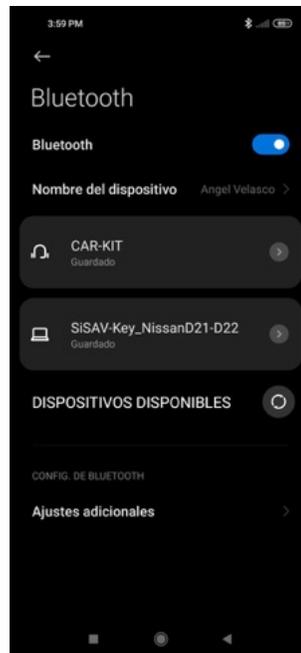


Figura 4.27. Bluetooth del dispositivo móvil activado.

Se regresa al menú de aplicaciones del dispositivo móvil y se abre la aplicación SiSAV-Key (véase Figura 4.28).

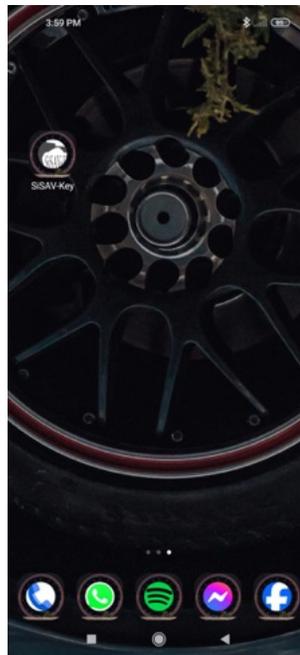


Figura 4.28. Icono de la aplicación SiSAV-Key.

Al ingresar a la aplicación se abrirá una ventana de seguridad. Para ingresar a la aplicación es necesario colocar la huella digital del propietario o en todo caso el patrón elegido (véase Figura 4.29).



Figura 4.29. Ventana de seguridad de la aplicación móvil.

Solo se podrá tener acceso a la interfaz de la aplicación hasta que la ventana de seguridad apruebe que la huella digital o el patrón sean correctos, como muestra la Figura 4.30. Una vez dentro de la aplicación, se presiona el botón con el icono de Bluetooth y se selecciona el dispositivo que lleva por nombre SiSAV-Key_NissanD21-D22 (véase Figura 4.31).



Figura 4.30. Interfaz de la aplicación SiSAV-Key.

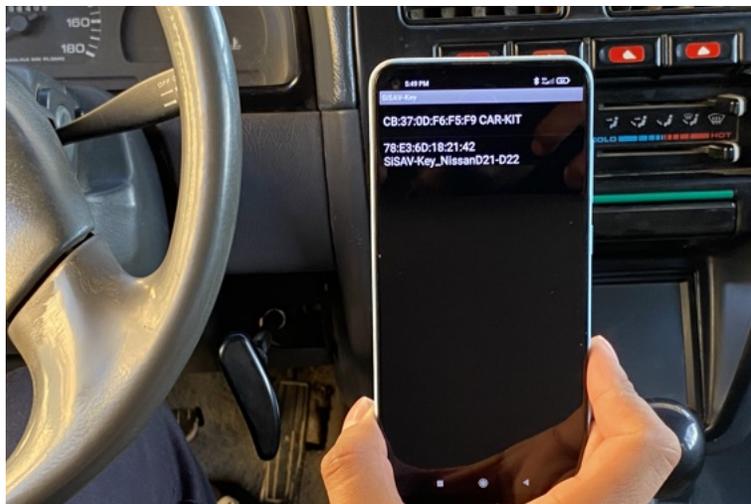


Figura 4.31. Selección de dispositivo Bluetooth.

Después de seleccionar el dispositivo Bluetooth, automáticamente la aplicación muestra el menú principal. En la Figura 4.32 se observa que el icono de Bluetooth ahora es color azul, lo cual indica que la conexión vía Bluetooth fue exitosa. Con lo anterior, se tiene acceso al subsistema de seguros eléctricos y al subsistema de arranque e inmovilizador.

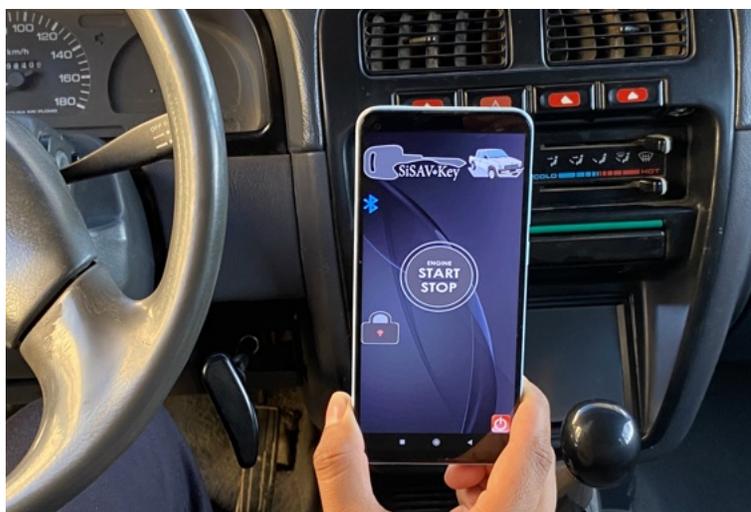


Figura 4.32. Bluetooth conectado.

Para verificar el comportamiento del subsistema de seguros eléctricos, en la aplicación móvil se da clic en el botón del candado, éste se abre e indica que se han abierto los seguros (véase Figura 4.33). Si se vuelve a presionar el botón, el candado y los seguros del vehículo se cierran (véase Figura 4.34).

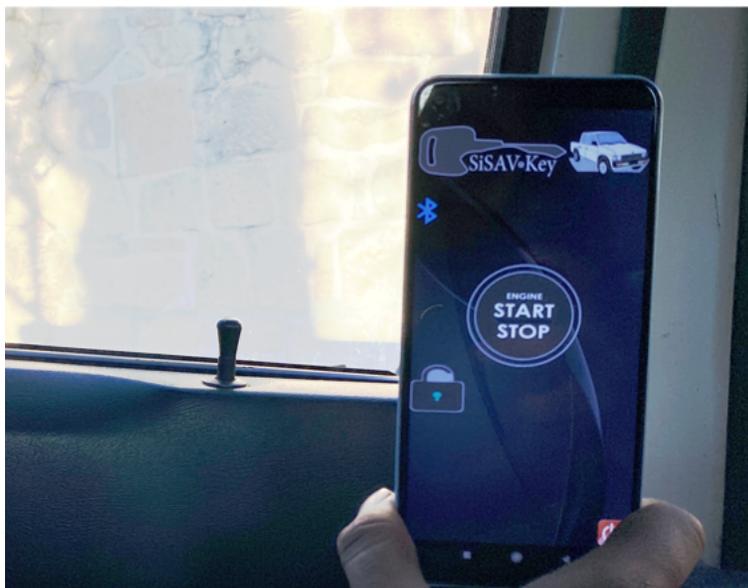


Figura 4.33. Seguros abiertos.

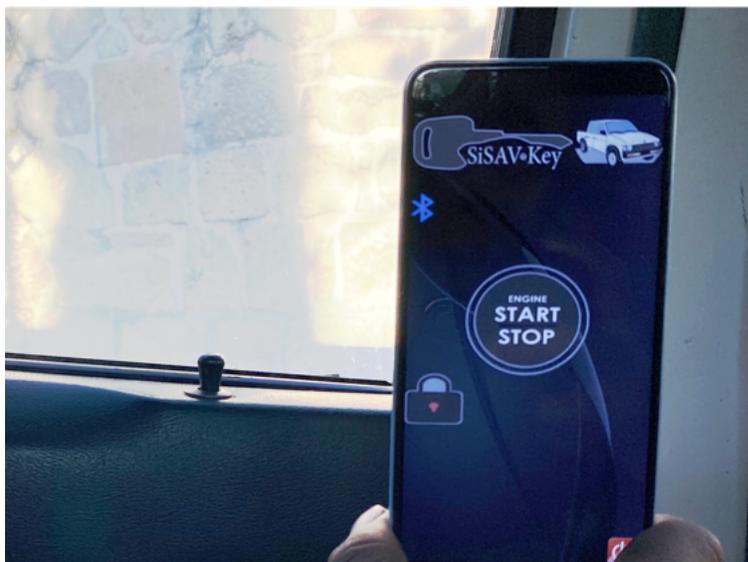


Figura 4.34. Seguros cerrados.

Para las pruebas al subsistema de arranque e inmovilizador se usa el botón Start/Stop que se encuentra en medio de la interfaz gráfica de la aplicación. Al darle un primer clic, el botón presenta un color azul, lo cual indica que los accesorios están activados (véase Figura 4.35).



Figura 4.35. Accesorios activados.

En la Figura 4.36 se puede apreciar que al dar clic por segunda ocasión al botón Start/Stop, éste cambia a color rojo y también se activan todos los sistemas con relación a la posición ON y en este momento el subsistema inmovilizador se deshabilita. En la misma figura, a la derecha, se muestra la instalación del subsistema inmovilizador, el cual tiene el principio del cortacorriente y su tarea es interrumpir, mediante un relevador, el voltaje de alimentación a la bomba de combustible, con el fin de cortar el suministro de gasolina en caso de que se presente una amenaza de robo al vehículo.

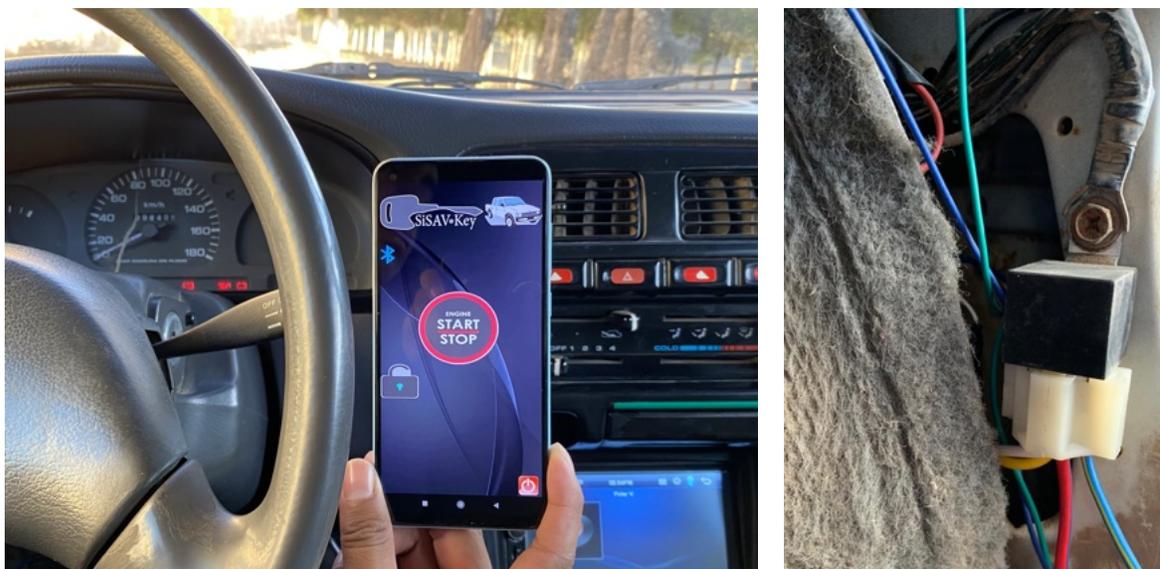


Figura 4.36. On activado.

Es importante mencionar que para que la marcha se accione es necesario mantener presionado el pedal del freno o accionar el freno de mano y, sólo si cumple con una de estas condiciones, el vehículo podrá dar marcha. Para esta prueba se accionó el freno de mano y se dio clic al botón Start/Stop. El botón cambió a un color verde, indicando que la marcha trabajará durante 1,420 ms y el vehículo encenderá (véase Figura 4.37).



Figura 4.37. Pick Up D21 encendida.

Para apagar el vehículo fue necesario establecer condiciones que aseguren que el vehículo se encuentra totalmente estático, para ello es necesario accionar el freno de mano y presionar el pedal de freno para poder apagar el vehículo. En la Figura 4.38 se observa que se tuvo que accionar el freno de mano y mantener presionado el pedal del freno antes de dar el cuarto clic en botón Start/Stop para apagar el vehículo.

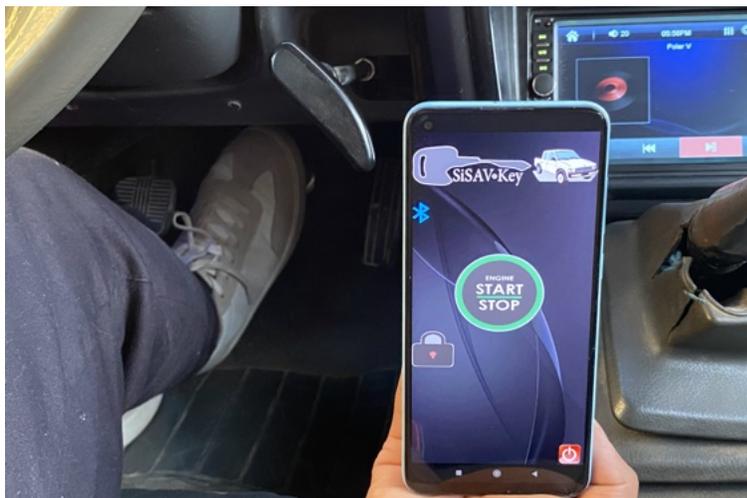


Figura 4.38. Condiciones para apagar el vehículo.

Finalmente, para terminar con estas pruebas, se dio clic al botón Salir. Al realizar esta acción, el vehículo quedó inmovilizado, se cerraron los seguros, el SiSAV-Key entra en modo suspensión profunda y la aplicación se cierra.

4.3. Actualización del sistema

Esta fase requiere herramientas adecuadas de HW para la reingeniería. Cabe mencionar que una vez que el sistema funciona correctamente y cumple con los requerimientos iniciales, ya no se llevará a cabo esta fase, pero se propone que futuros trabajos puedan hacer uso de la información y con ello brindar las mejoras que se consideren necesarias mediante la actualización del sistema.

Capítulo 5. Conclusiones

En el presente trabajo de tesis se diseñó el sistema inalámbrico de arranque e inmovilizador para vehículos Pick Up D21 y D22 de la firma Nissan (SiSAV-Key), el cual se implementó en un módulo ESP32 de 30 terminales; para su control se desarrolló una aplicación en MIT App Inventor que se ejecuta en un dispositivo móvil con sistema operativo Android versión 11.

En primer lugar, se realizó una investigación documental sobre los sistemas eléctricos y electrónicos de arranque y de seguridad existentes en el mercado. Se consultaron libros, manuales, artículos y páginas de internet, con el propósito de recopilar toda esta información; el resultado de dicha investigación se describe en el Capítulo 2 y en las Referencias Bibliográficas.

Se analizaron diversos sistemas de seguridad disponibles en el mercado, teniendo como resultado la existencia de sistemas de seguridad factibles, pero excesivamente costosos. Por otro lado, la mayoría de los sistemas comerciales accesibles al público basan su funcionamiento en el bloqueo de señales de diversos componentes que impiden el arranque del automóvil e inclusive algunos sistemas sólo funcionan para prevenir de forma manual el uso del automóvil.

Se definieron las especificaciones del SiSAV-Key (véase Subcapítulo 3.1) y para cumplir con ellos fue necesario analizar los distintos microcontroladores existentes en el mercado con la finalidad de seleccionar el que mejor cumpla con los requerimientos que demanda el sistema. En el Subcapítulo 2.1 se presenta una comparación entre MCU y se determinó que el más adecuado para el SiSAV-Key es el módulo ESP32 debido a su bajo costo, disponibilidad de tecnologías Wi-Fi y Bluetooth, y bajo consumo de energía.

Posteriormente, en el módulo ESP32 se codificaron los subsistemas de arranque con inmovilizador y el de apertura y cierre de seguros eléctricos empleando el IDE Arduino. Para la programación de este proyecto se utilizó la versión IDE 2.3.0.

El SiSAV-Key necesita conectarse por vía Bluetooth con un dispositivo móvil con sistema operativo Android, para que por medio de éste se le envíen señales al módulo ESP32. Fue necesario crear una aplicación especial para el SiSAV-Key con una interfaz gráfica de usuario amigable, con esta finalidad se investigó respecto al desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles con sistema operativo Android; en Google Labs se encontró la plataforma MIT App Inventor, la cual permite crear aplicaciones para dispositivos móviles, tabletas o teléfonos inteligentes con sistema operativo Android, mediante una programación basada en bloques. Las aplicaciones creadas mediante MIT App Inventor están limitadas por su simplicidad, pero permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil. Los proyectos generados a través de esta herramienta se almacenan automáticamente en los servidores de App Inventor, permitiendo llevar en todo momento un seguimiento y control del trabajo. La codificación de la aplicación del SiSAV-Key siguió el diagrama de flujo de la Figura 3.23.

Dando seguimiento a la metodología de desarrollo, se realizó la integración de los componentes del sistema, inicialmente en una protoboard y posteriormente en la PCB, en ambos casos se realizaron pruebas como se describe en el Capítulo 4. El último componente que se integró fue el encapsulado, que fue diseñado de acuerdo con las dimensiones que demandaba la placa PCB con sus componentes ya soldados. Para el diseño del encapsulado se hizo uso del software SolidWorks y posteriormente se imprimió en 3D (véase Anexo B).

Por último, se realizaron las pruebas finales a la instalación completa del SiSAV-Key en un vehículo Pick Up D21 modelo 1999 de la firma Nissan como se describe en el Apartado 4.2.2.

Cabe señalar que el seguimiento de una metodología facilitó el desarrollo del SiSAV-Key brindando una mejor estructura para la implementación de un

sistema robusto y confiable respecto a las especificaciones iniciales, así como en la selección de componentes y su integración como sistema embebido.

Con base en lo anterior, se puede concluir que se cumplieron con éxito los requerimientos del SiSAV-Key y con ello los objetivos del presente trabajo de tesis. El sistema cumple con el objetivo general de dar arranque e inmovilizar el vehículo de manera inalámbrica a través de un dispositivo móvil.

5.1. Limitaciones

El módulo ESP32 proporciona comunicaciones Bluetooth de baja energía (BLE, *Bluetooth Low Energy*) en su versión 4.2, adecuadas para conectar dispositivos cercanos y para transmitir poco volumen de datos de manera no continua (véase Apartado 2.1.6). La principal ventaja de BLE, respecto al Bluetooth original es su bajo consumo de energía. El presente trabajo de tesis basa su funcionamiento en el módulo ESP32 e incluye la comunicación BLE, con las ventajas y desventajas de seguridad que dicho protocolo de comunicaciones inalámbrico representa. Sin embargo, se cuenta con la seguridad que establece el proceso de emparejamiento inicial al configurar el dispositivo móvil con el módulo ESP32, el cual se debe realizar cada que se configura un nuevo dispositivo móvil o se reinicia completamente el sistema. Esto último puede ocurrir en caso de extraviar el dispositivo móvil y, además, para complementar lo anterior, se propone como línea futura el implementar un encendido de emergencia.

Para este trabajo de tesis se realizó un promedio del tiempo de arranque (tiempo en el cual trabaja la marcha) ideal para la Nissan D21. La temperatura de la batería, la temperatura del combustible, la calidad del combustible, la vida útil de la marcha, los problemas mecánicos, eléctricos y electrónicos del motor de combustión interna del vehículo son consideraciones ajenas al SiSAV-Key, y deben valorarse en la implementación dependiendo de cada vehículo.

5.2. Líneas Futuras de Investigación

De acuerdo con los resultados obtenidos, se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Integrar un actuador para la apertura de la puerta del depósito de combustible.
- Integrar un subsistema de arranque de emergencia.
- Mejorar la respuesta de encendido mediante un solo clic.
- Integrar un subsistema de reconocimiento facial para validar al usuario y autorizar el acceso al automóvil.

Referencias Bibliográficas

- Chávez Calderón, L. F., & Flores Arteaga, J. D. (01 de 06 de 2014). *Construcción e implementación de un banco didáctico de un sistema de inmovilizador con trasponder para la Escuela de Ingeniería Automotriz*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de Página Web de DSpace: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3370>
- Chevrolet. (12 de Noviembre de 2020). *Catalogo OnStar y Servicios Conectados*. Recuperado el 2022, de Sitio Web de la firma Chevrolet: <https://www.chevrolet.com.co/content/dam/chevrolet/south-america/colombia/espanol/index/onstar/01-pdf/catalogo-onstar-col.pdf>
- Coello T., P. E. (10 de Enero de 2014). *Diseño de un sistema de encendido automático e inmovilizador para un vehículo estándar, por medio de la adaptación de un dispositivo lector de huellas digitales*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 27 de Enero de 2023, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3140>
- Coughlin, R. F., & Driscoll, F. F. (1999). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. México D.F.: Prentice Hall.
- Crouse, W. H. (1996). *Equipo eléctrico y electrónico del automóvil*. México D.F.: Alfaomega-Marcombo.
- Berger, A. H. (2002). *Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools, and Techniques*. Washington: Taylor & Francis.
- Denton, T. (2018). *Automobile Electrical and Electronic Systems*. New York: Routledge.
- Denton, T. (2021). *Advanced Automotive Fault Diagnosis, Automotive Technology: Vehicle Maintenance and Repair, RepairFifth Edition*. New York: Routledge.

Digilent. (04 de 2015). *chipKIT Uno32 Reference Manual*. Recuperado el 2022, de Página Web de Digilent: https://digilent.com/reference/chipkit_uno32/refmanual

El Tiempo. (17 de Febrero de 2012). *El motor de arranque cumple un siglo de haber sido instalado en un carro*. (El Tiempo) Recuperado el 04 de Octubre de 2022, de Página Web de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-11153122>

Floyd, T. L. (2008). *Dispositivos Electrónicos*. México D.F.: Pearson Education.

Ford. (20 de Enero de 2023). *FordPass Manual*. Recuperado el 06 de Octubre de 2022, de Página Web de Ford: <http://pictures.dealer.com/steve-marsh-ford/f3c819660a0e0ca2068a6efdf4ab8ddb.pdf>

Jayendra, G., Kumarawadu, S., & Meegahapola, L. (2018). RFID-Based Anti-theft Auto Security System with an Immobilizer. *International Conference on Industrial and Information Systems*, 2705-2707.

Malvino, A., & Bates, D. J. (2007). *Principios de electrónica*. Madrid: McGraw-Hill.

Mecánica Automotriz. (30 de Octubre de 2017). *Manual de sistemas de arranque y carga Nissan*. Recuperado el 2022, de Página Web de Mecánica Automotriz: <https://www.mecanicoautomotriz.org/76-manual-nissan-sistemas-arranque-carga>

MIT. (20 de Febrero de 2023). *MIT App Inventor*. Obtenido de Página Web de MIT App Inventor: <https://appinventor.mit.edu/>

Murugesan V. M., R. R. (2011). Development of ECU Based Starting System for Automobiles. *International Conference on Process Automation, Control and Computing*, 1-5.

- New Line. (20 de 7 de 2023). *¿Qué es un regulador de voltaje?* Recuperado el 27 de 10 de 2023, de Página Web de New Line: <https://corpnewline.com/reguladores.htm>
- Ozan Oner, V. (2021). *Developing IoT Projects with ESP32. Automate your home or business with inexpensive Wi-Fi devices-Packt Publishing*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Reader's Digest. (1983). *¡En marcha! Servicio y reparación de su automóvil*. México D.F.: Reader's Digest.
- Russo, H. (5 de Enero de 2015). *Viper SmartStart te dejará arrancar, abrir/cerrar tu auto desde el smartwatch de Apple y Android Wear #CES2015. Geek's Room*. Recuperado el 04 de Octubre de 2022, de Página Web de Geeks Rom: <https://geeksroom.com/2015/01/viper-smartstart-te-dejara-arrancar-abrircerrrar-tu-auto-desde-el-smartwatch-de-apple-y-android-wear-ces2015/91043/>
- Silva, R. (12 de 03 de 2021). *Estos fueron los autos más robados de México en 2020 y los SUV lideran la lista de los robos con violencia*. Obtenido de Sitio Web de Motorpasión México: <https://www.motorpasion.com.mx/industria/autos-robados-mexico-2020-suv-lideran-lista>
- Spanulescu, S. (2020). *ESP32 programming for the Internet of Things*. Bucharest: Server Spanulescu.
- Suárez Guedes, R. J. (24 de Abril de 2020). *Blog de Tecnologías*. Recuperado el 2022, de Blog de Tecnologías: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/rsuagued/arduino/>
- Susany, R., & Rotar, R. (2020). Remote Control Android-based Applications for a Home Automation implemented with Arduino Mega 2560 and ESP32. *Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*, 1-8.

Texas Instruments. (2013). *Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board*. Dallas: Texas Instruments. Recuperado el 2022, de <http://tecbolivia.com/index.php/venta-de-componentes-electronicos-11/tableros-de-experimentacion/placa-de-desarrollo-tiva-c-tm4c123g-launchpad-detail>

Tolocka, E. (12 de Abril de 2021). *Primeros pasos con la STM32 Blue Pill*. (Primeros pasos con la STM32 Blue Pill) Recuperado el 2022, de Página Web de el Profe Tolocka: <https://www.profetolocka.com.ar/2021/04/12/primeros-pasos-con-la-stm32-blue-pill/>

UNIT Electronics. (27 de Enero de 2023). *mini 560 Regulador Step Down*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2023, de Página Web de UNITElectronics: <https://uelectronics.com/producto/mini-560-regulador-step-down-99-eficiencia/>

VIPER. (2 de Febrero de 2023). *Viper SmartStart VSM550. Manual de usuario*. Recuperado el 04 de Octubre de 2022, de Página : <https://viper.com/smartstart/product/vsm550/viper-smartstart-pro-module>

VIPER. (23 de Enero de 2023). *How Does Viper SmartStart Work?* Recuperado el 04 de Octubre de 2022, de Página Web de VIPER: <https://www.viper.com/smartstart/howitworks.aspx>

Anexo A. Código del SiSAV-Key en Arduino IDE

```
// SISTEMA INALÁMBRICO DE ARRANQUE E INMOVILIZADOR PARA VEHÍCULOS PICK UP
D21 Y D22 DE LA FIRMA NISSAN
// Angel Heriberto Velasco Martínez

#include "BluetoothSerial.h"

#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth is not enabled! Please run `make menuconfig` to and
enable it
#endif

BluetoothSerial SerialBT;

// Salidas
#define relay1 12 // Accesorios-blanco
#define relay2 14 // Ignicion-rojo
#define bomba 22 // Sistema inmovilizador-Amarillo
#define relay3 27 // Marcha-azul
#define seguroA 23 // Seguros Eléctricos

// Entradas
const int freno = 21;
const int frenoM = 4;

// Banderas
int k = 0;
int cont = 0;
int a = 1;

// Variables Bluetooth
BluetoothSerial ESP_BT;
int incoming;

// Funciones del Sistema
void AbCeSeguros();
void StartStop();
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(freno, INPUT);
  pinMode(frenoM, INPUT);
  pinMode(relay1, OUTPUT);
  pinMode(relay2, OUTPUT);
  pinMode(relay3, OUTPUT);
  pinMode(bomba, OUTPUT);
  pinMode(seguroA, OUTPUT);
  ESP_BT.begin("SiSAV-Key_NissanD21-D22");
}

void loop() {
  if (ESP_BT.available()) {
    incoming = ESP_BT.read();
  }
  switch (incoming) {
    case 10:
      AbCeSeguros();
      break;
    case 11:
      AbCeSeguros();
      break;
    case 12:
      StartStop();
      break;
    case 13:
      esp_sleep_enable_ext0_wakeup(GPIO_NUM_15, 0);
      break;
    case 14:
      esp_deep_sleep_start();
      break;
  }
}

void AbCeSeguros() {
  if (incoming == 11)
    digitalWrite(seguroA, HIGH);
  if (incoming == 10)
```

```
    digitalWrite(seguroA, LOW);
}

void StartStop() {
    boolean pedal = digitalRead(freno);
    boolean p1M = digitalRead(frenoM);
    cont++;

    switch (cont) {
        case 1:
            a = 1;
            digitalWrite(relay1, HIGH);
            digitalWrite(relay2, LOW);
            digitalWrite(relay3, LOW);
            digitalWrite(bomba, LOW);
            SerialBT.print(a);
            cont = 1;
            incoming = 2;
            break;
        case 2:
            a = 2;
            digitalWrite(relay1, HIGH);
            digitalWrite(relay2, HIGH);
            digitalWrite(relay3, LOW);
            digitalWrite(bomba, HIGH);
            SerialBT.print(a);
            cont = 2;
            incoming = 2;
            break;
        case 3:
            if ((cont == 3 && pedal == HIGH) || (cont == 3 && p1M == HIGH)) {
                a = 3;
                digitalWrite(relay1, LOW);
                digitalWrite(relay2, HIGH);
                digitalWrite(bomba, HIGH);
                digitalWrite(relay3, HIGH);
                delay(1420); //Tiempo de arranque
                digitalWrite(relay3, LOW);
                digitalWrite(relay1, HIGH);
            }
    }
}
```

```
    digitalWrite(relay2, HIGH);
    digitalWrite(bomba, HIGH);
    digitalWrite(seguroA, LOW);
    SerialBT.print(a);
    k = 1;
    a++;
} else {
    k = 0;
    cont = 4;
}
cont = 3;
incoming = 2;
break;
case 4:
    if (k == 0) {
        a = 4;
        digitalWrite(relay1, LOW);
        digitalWrite(relay2, LOW);
        digitalWrite(relay3, LOW);
        digitalWrite(bomba, LOW);
        SerialBT.print(a);
        cont = 0;
    }
    if ((cont == 4 && pedal == HIGH) && (cont == 4 && p1M == HIGH)) {
        a = 4;
        digitalWrite(relay1, LOW);
        digitalWrite(relay2, LOW);
        digitalWrite(relay3, LOW);
        digitalWrite(bomba, LOW);
        digitalWrite(seguroA, HIGH);
        SerialBT.print(a);
        cont = 0;
    }
    if (cont == 4)
        cont = 3;
    incoming = 2;
    break;
}
}
```

Anexo B. Diseño de la PCB del SiSAV-Key

Para el diseño de la placa PCB se utilizó el software EAGLE, el cual es un software de automatización del diseño electrónico (EDA) que permite a los diseñadores de placas de circuito impreso (PCB) conectar sin problemas los diagramas esquemáticos, la colocación de componentes, el enrutamiento de las PCB y el contenido de una amplia biblioteca.

El módulo ESP32, los arneses y el regulador de voltaje Mini 560 Step Down no se encuentran en las librerías de Eagle, por lo que tuvieron que ser diseñados. Para su diseño fue necesario contar con las medidas específicas de cada componente, en este caso se consultaron las hojas de especificaciones y, con ayuda de un vernier, se tomó la medida de la distancia de cada terminal (pin) tanto vertical como horizontal. En el menú principal de EAGLE se seleccionó File> New > Library como muestra la Figura B.1.

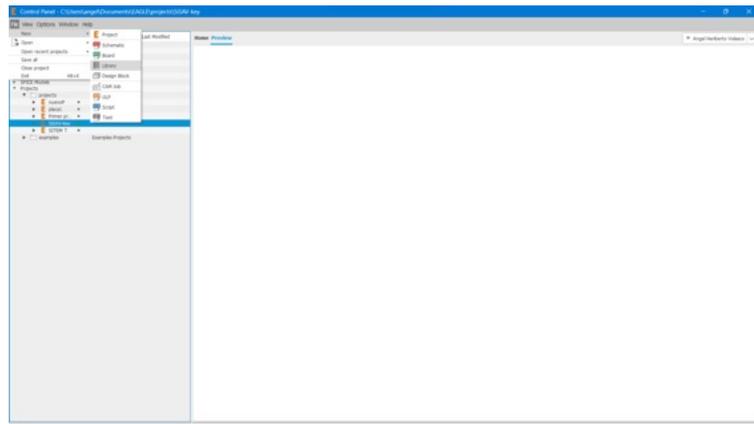


Figura B.1. Pasos para crear una librería.

En las siguientes Figuras se muestran los resultados del diseño del símbolo (Symbol) y la huella (Footprint) de los componentes antes mencionados.

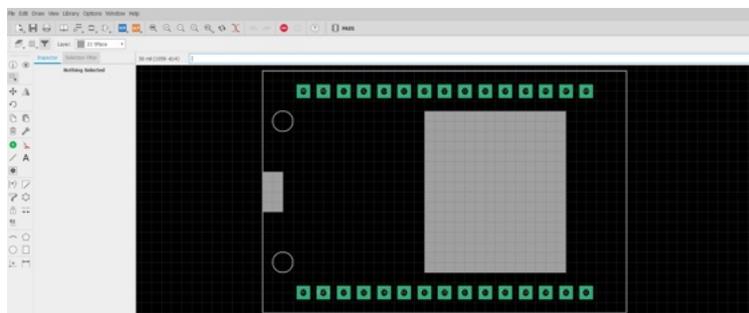


Figura B.2. Huella en la librería del ESP32.



Figura B.3. Símbolo en la librería del ESP32.

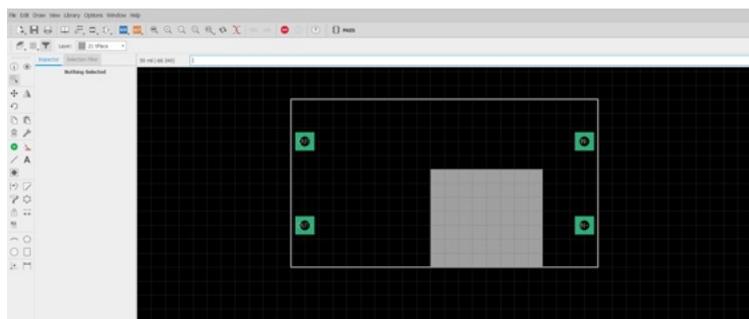


Figura B.4. Huella en la librería del Regulador de voltaje Mini 560 Step Down.

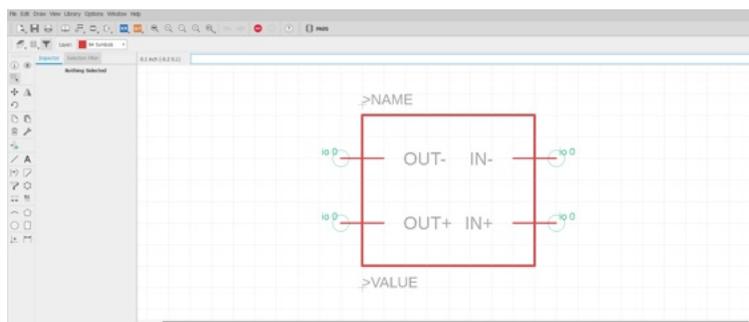


Figura B.5. Símbolo en la librería del Regulador de voltaje Mini 560 Step Down.

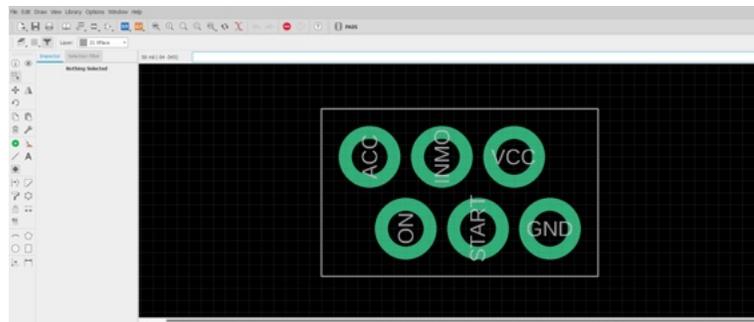


Figura B.6. Huella en la librería del arnés principal.

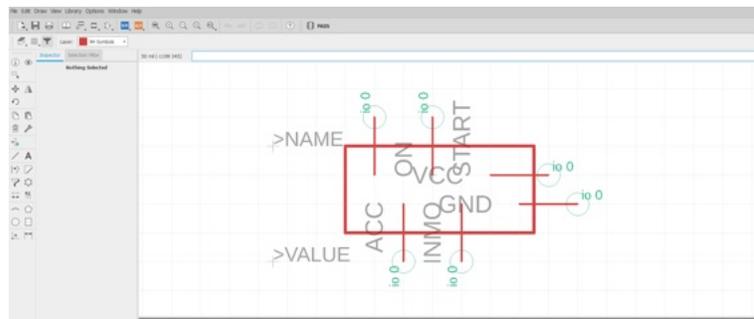


Figura B.7. Símbolo en la librería del arnés principal.

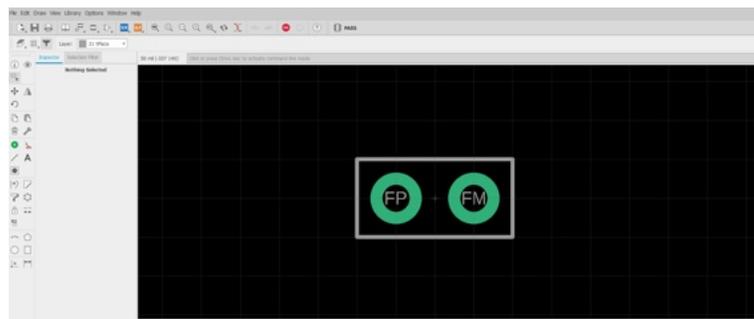


Figura B.8. Huella en la librería del arnés para las señales de Freno.

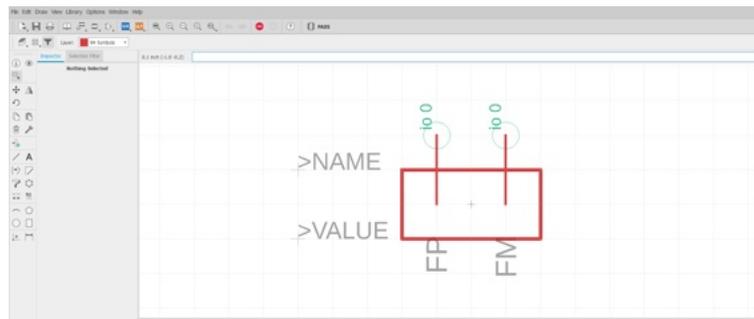


Figura B.9. Símbolo en la librería del arnés para las señales de Freno.

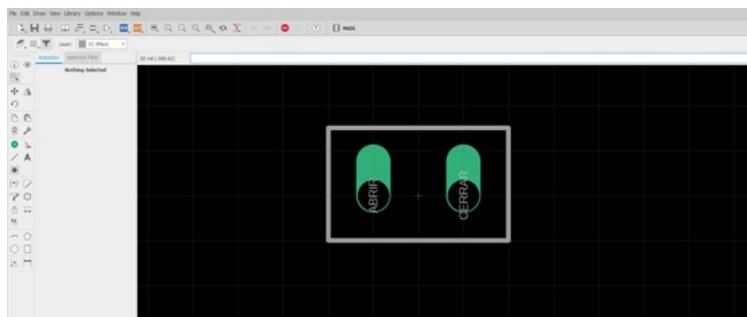


Figura B.10. Huella en la librería del arnés para señales al subsistema de seguros eléctrico.

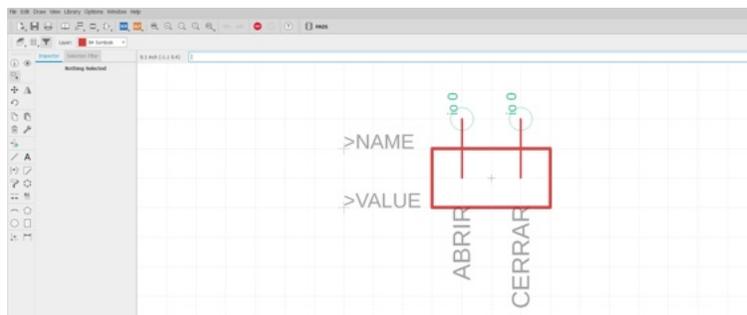


Figura B.11. Símbolo en la librería del arnés para señales al subsistema de seguros eléctrico.

Una vez diseñados los componentes y módulos, se realizó el diagrama esquemático del sistema, en donde se utilizaron diversas etiquetas para establecer la conexión entre diferentes módulos y obtener una mejor organización de la placa (véase Figura B.12).

Concluido el esquemático, se prosiguió con el diseño de la placa PCB; para ello se dio clic en Generate/switch to board y el programa genera una placa PCB virtual en 2D mostrando los componentes que se establecieron y conectaron en el diagrama esquemático.

Para evitar problemas de interferencias electromagnéticas, de señal y tener una mejor disipación térmica, se organizaron los componentes siguiendo las reglas para la colocación de componentes en una PCB. Esto es de suma importancia para tener una buena organización de los componentes, y con ello garantizar un funcionamiento óptimo y mayor durabilidad de la PCB.

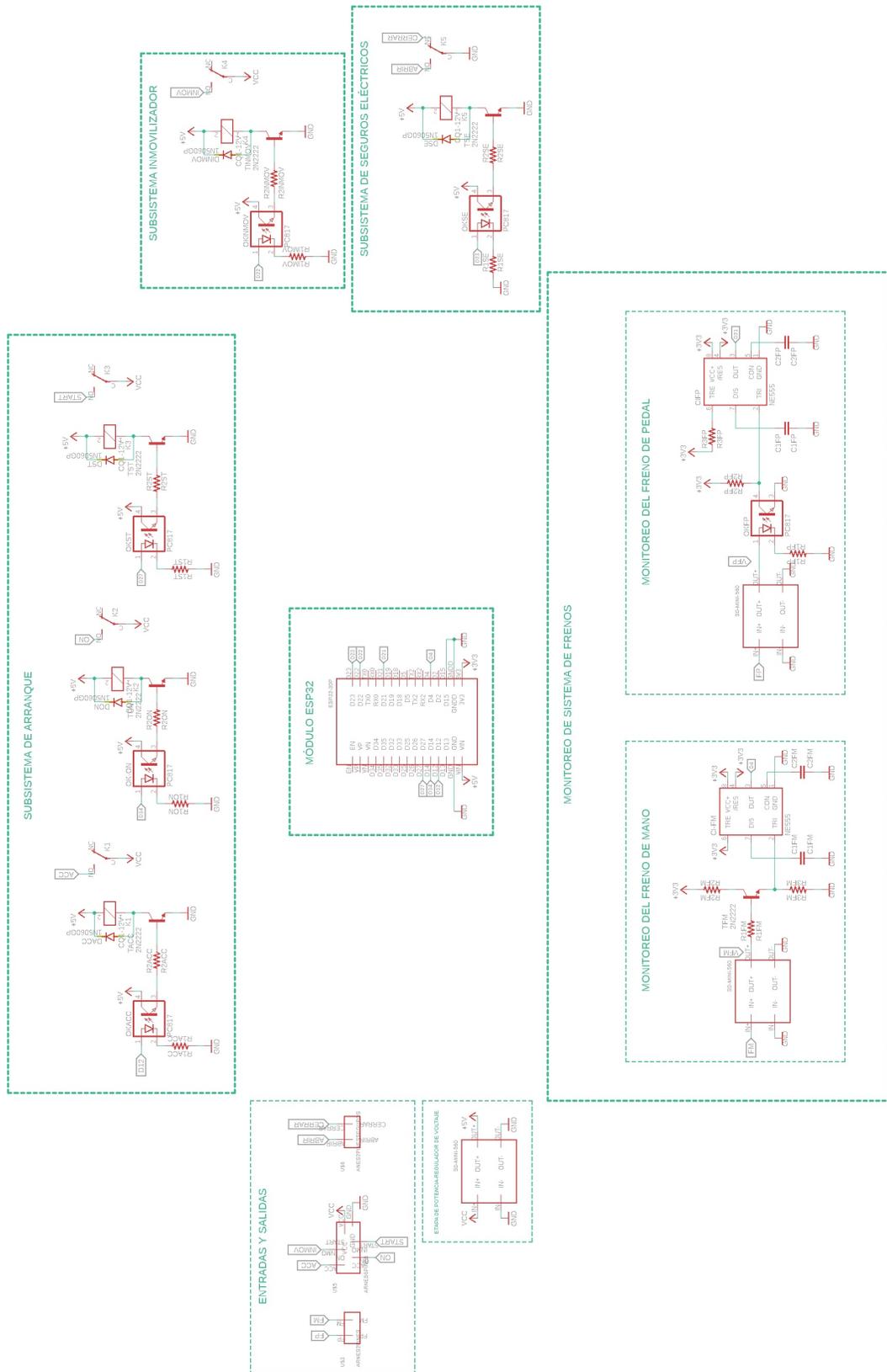


Figura B.12. Esquemático de SiSAV-Key diseñado en EAGLE.

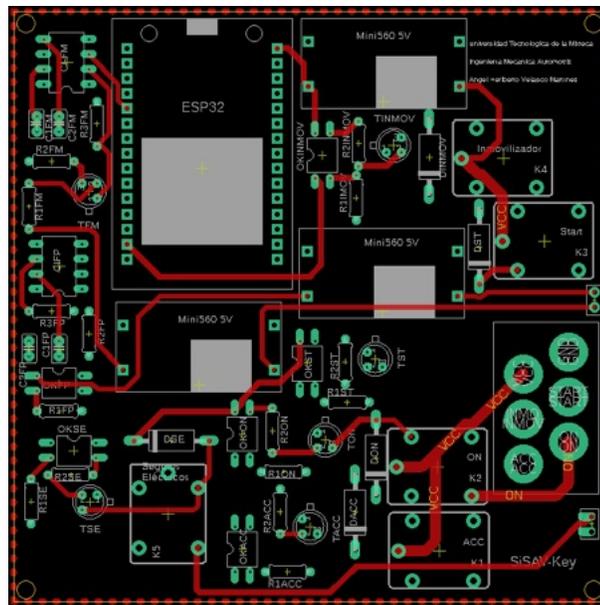


Figura B.14. Enrutamiento de la capa Top.

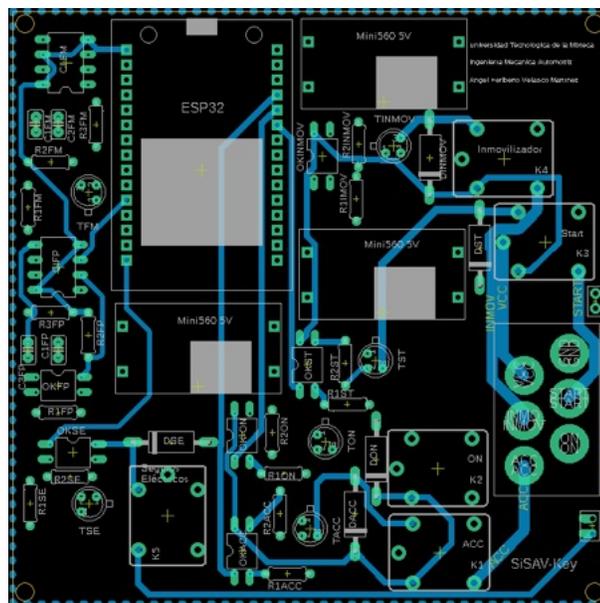


Figura B.15. Enrutamiento de la capa Bottom.

En la Figura B.16 se muestra el enrutamiento con ambas capas.

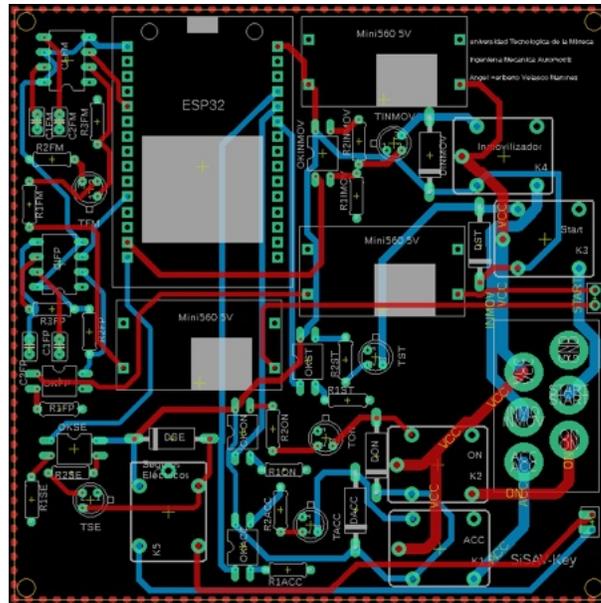


Figura B.16. Enrutamiento de ambas capas (Top y Bottom).

Después de haber realizado los enrutamientos, se colocó el plano de tierra sólido (GND) en las capas Top y Bottom; se seleccionó Polygon y se dibujó un recuadro que fuese del mismo tamaño que la placa; posteriormente, se seleccionó la opción Rastnest y se nombró al plano de tierra sólido como GND; para ello era necesario nombrar anteriormente las conexiones y líneas GND para que queden en el mismo plano.

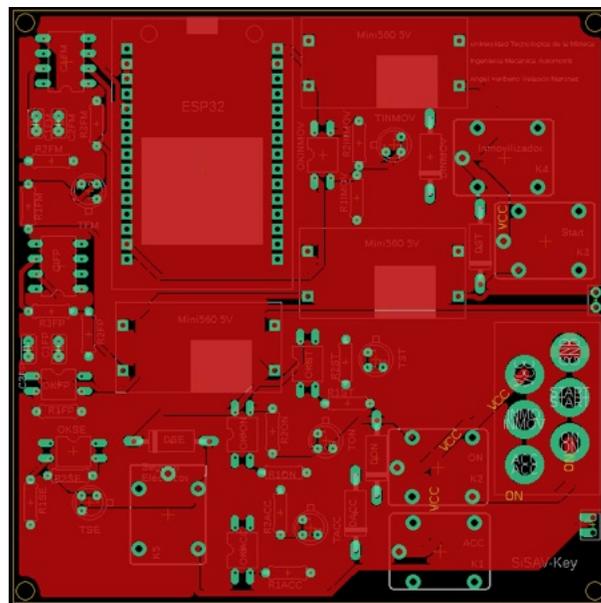


Figura B.17. Colocación del plano GND en la capa Top.

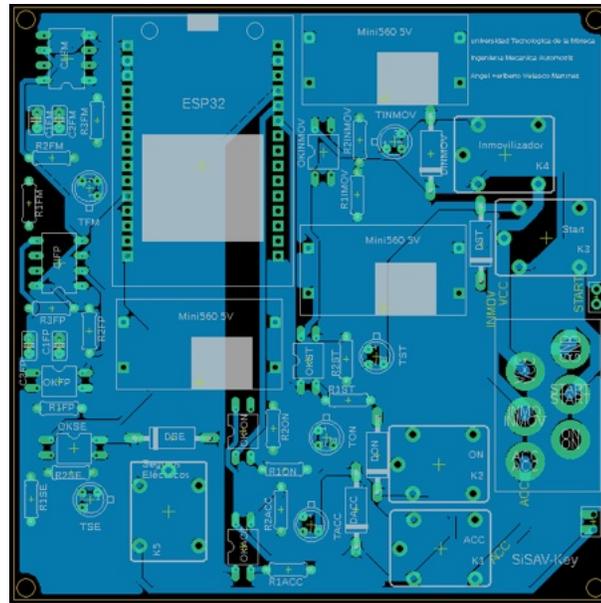


Figura B.18. Colocación del plano GND en la capa Bottom.

Una vez que se comprobaron y corrigieron los errores del diagrama esquemático y de las reglas de diseño de la PCB, se obtuvo el diseño final de la PCB como se muestra en las Figuras B.19 y B.20, procediendo con el envío para su fabricación.

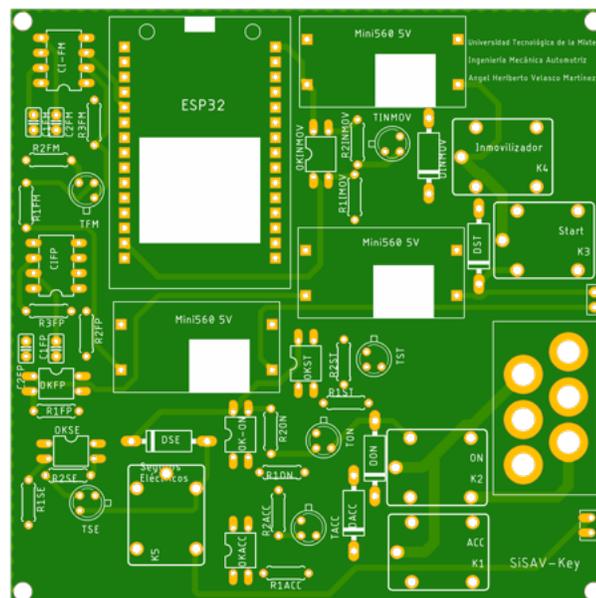


Figura B.19. PCB en la capa Top.

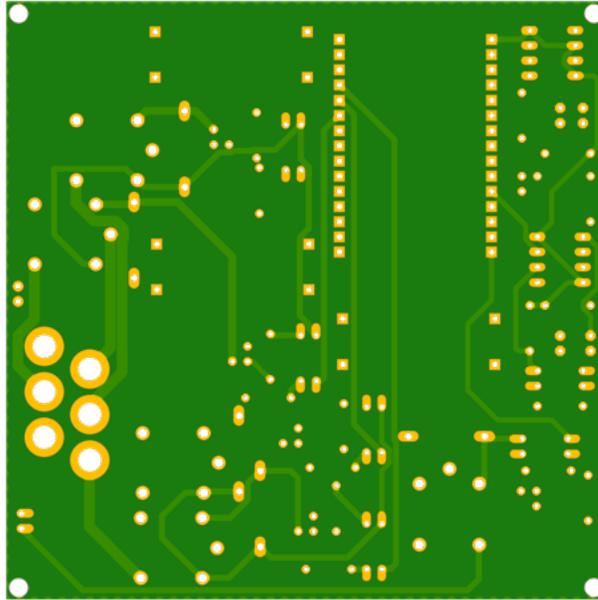


Figura B.20. PCB en la capa Bottom.

Anexo C. Diseño de la Carcaza en SolidWoks

Para el diseño de las piezas de la carcaza se utilizó SolidWorks, para ello lo primero fue realizar la extrusión saliente de la caja y una extrusión de corte para dejar la caja hueca; posteriormente, se diseñaron los postes para sujetar la placa PCB y por último se realizaron cortes para dejar con libre acceso los arneses, el puerto USB del módulo ESP32 y se realizaron cortes en la tapa con la finalidad de tener ventilas. En las siguientes figuras se muestran los resultados del diseño.



Figura C.1. Impresión 3D de la caja y tapa.

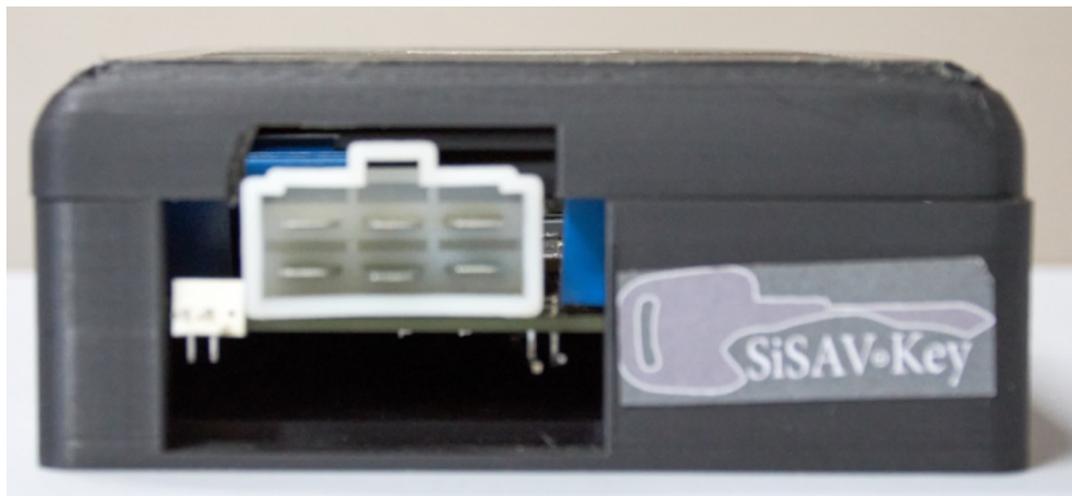


Figura C.2. Carcaza SiSAV-Key.

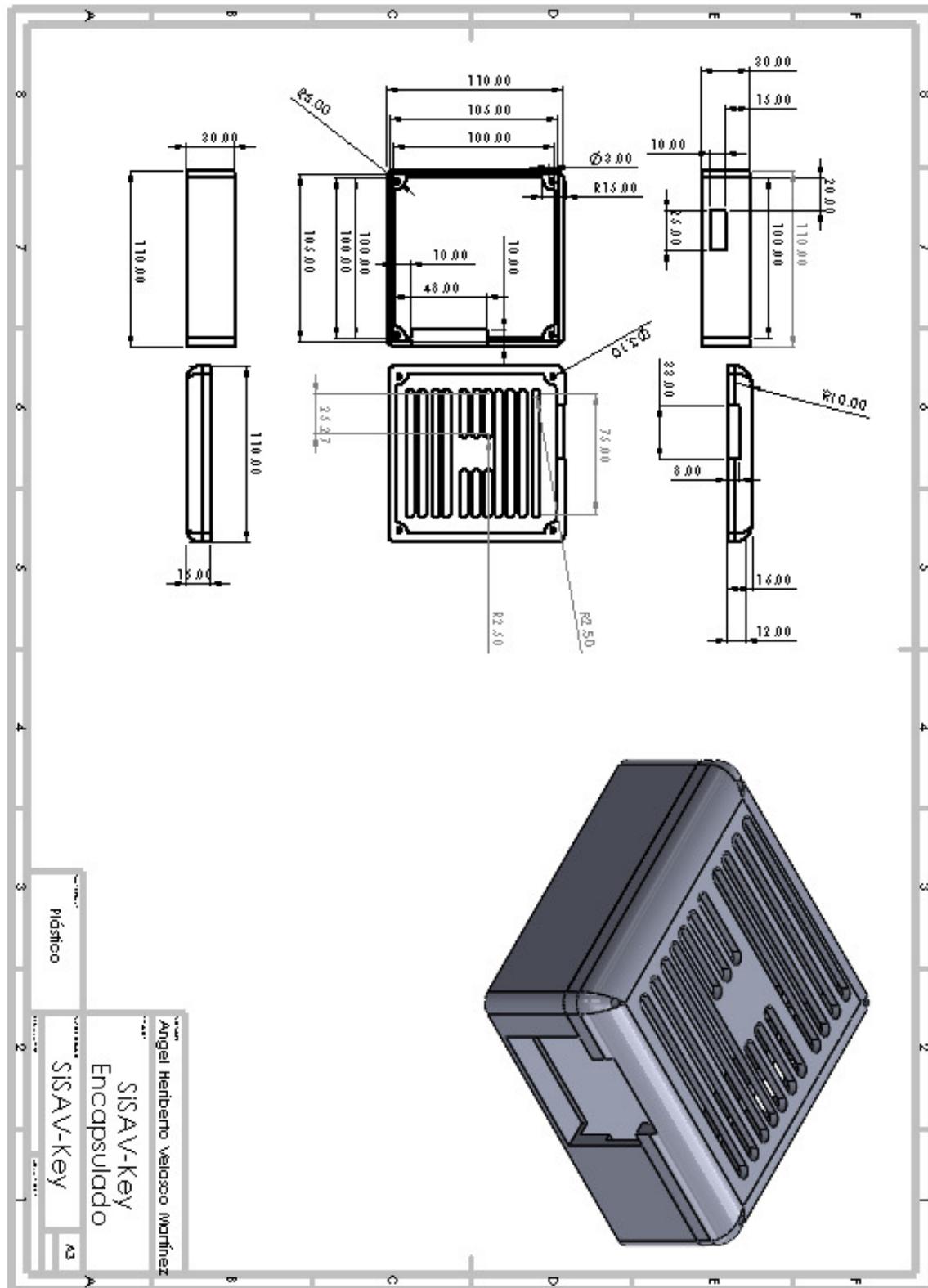


Figura C.3. Dibujo técnico de la carcasa.