



Instituto Politécnico Nacional

**Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingenierías y
Tecnologías Avanzadas**

Ingeniería en Sistemas Automotrices

Proyecto Integrador

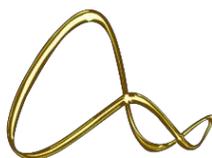
“Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo”

Presentan:

Francisco Hernández Hernández
Cesar Eduardo Jiménez Garibay
Isaac López Álvarez

Directores:

Dra. Blanca Rosa Briseño Tepepa
M. en C. Mauricio Méndez Martínez
Dr. Gerson Figueroa Flores



upiita-ipn

Ciudad de México, a 11 de mayo del 2022.

Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

Presente

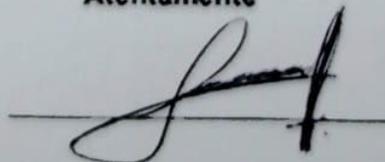
Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Hernández Hdz Francisco (se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Asistente de apoyo post-sinestros para la localización del vehículo

_____, en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA "La Tesis" por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "El IPN" de su terminación.

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

Ciudad de México, a 11 de mayo de 2022

Atentamente





Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe César Eduardo Jiménez Garibay
(se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Asistente de apoyo post siniestro para la localización del vehículo

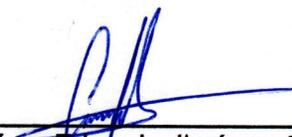
en adelante "La Tesis" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA "La Tesis" por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a "El IPN" de su terminación.

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

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

Ciudad de México, a 27 de Septiembre de 2019.

Atentamente


César Eduardo Jiménez Garibay

Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe Isaac Lopez Alvarez
(se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo.

_____ ,
en adelante “La Tesis” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, Plataforma de la Dirección de Bibliotecas del IPN y/o consulta directa en la Coordinación de Biblioteca de la UPIITA “La Tesis” por un periodo de 5 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a “El IPN” de su terminación.

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

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

Ciudad de México, a 22 de Septiembre de 2021 .

Atentamente



Isaac Lopez Alvarez



Instituto Politécnico Nacional

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingenierías y Tecnologías Avanzadas

Ingeniería en Sistemas Automotrices

Proyecto Integrador

“Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo”

Presentan:

Francisco Hernández Hernández
Cesar Eduardo Jiménez Garibay
Isaac López Álvarez

Dra. Blanca Rosa Briseño Tepepa
Vocal 1 del Jurado.

M. en C. Mauricio Méndez Martínez
Vocal 2 del Jurado.

Dr. Gerson Figueroa Flores
Vocal 3 del Jurado.

Ing. Julio César Suárez Tapia
Presidente del Jurado.

M. en C. Victor Daría Cuervo Pinto
Secretario del Jurado.

Agradecimientos especiales

Para este equipo de trabajo es un honor el poder agradecer al reconocido Instituto Politécnico Nacional por brindarnos los conocimientos y las herramientas necesarias para poder desarrollar con satisfacción este proyecto. Por su parte, los asesores también se merecen un honorable reconocimiento por haber apoyado en todo momento nuestro proyecto.

Especial reconocimiento a la Dra. Blanca Rosa Briseño Tepepa, quien siempre nos motivó, orientó y apoyó a pesar de todas las adversidades y dificultades con las que nos enfrentamos en el transcurso del desarrollo del proyecto.

Gran agradecimiento al M. en C. Mauricio Méndez Martínez, quien nos supo orientar, enseñar y apoyar en cuestiones tecnológicas y de ingeniería para satisfacer de la mejor manera los objetivos del proyecto.

Agradecemos al Dr. Gerson Figueroa Flores por compartirnos sus conocimientos y experiencias que adquirió en el desarrollo de un proyecto con un enfoque parecido.

Por último, pero no menos importante, un especial y reconocido agradecimiento al Dr. Christopher René Torres San Miguel y al Dr. Juan Carlos Paredes Rojas, quienes, sin formar parte del proyecto como asesores, se tomaron la tarea de orientarnos, asesorarnos y corregirnos en cuestiones físicas, de ingeniería e investigación para un buen desarrollo del proyecto que cumpla con los objetivos planteados.

Dicen que el objetivo principal es el ser alguien en la vida. En mi opinión, el descubrir que es lo que realmente te apasiona, encontrar ese verdadero sentido de estar y sentirte vivo, lo es aún más.

A lo largo de mi carrera profesional he aprendido a apreciar ese significado, el cual se encuentra inmerso en la trayectoria de cada persona que persigue sus ideales.

Dedico este trabajo...

A mis padres Lourdes y Francisco, que me apoyaron incondicionalmente en esta trayectoria e inspiraron a lograr la meta de convertirme en un profesionalista.

A mi abuela Paz Ortiz Flores, por guiarme e impulsar siempre a triunfar.

A mi familia y amigos que me ofrecieron experiencias y enseñanzas a lo largo del camino, las cuales permitieron materializar lo alcanzado.

A mis profesores que sembraron la semilla de sabiduría para complementar mi educación. En especial al profesor Antonio Rendón quien me inculcó el gusto por el área Físicomatemáticas y el valor del aparato crítico con base en la lectura.

Agradezco...

Al Instituto Politécnico Nacional por estar en la trayectoria de los jóvenes que aspiramos a ser alguien en la vida.

A mis profesores por brindar su conocimiento y experiencia a lo largo de nuestra carrera, e impulsar la técnica al servicio de la patria.

A mis amigos que gracias a su ayuda supimos resolver cada uno de los retos presentados y con cada momento aprendimos que la vida no sólo es el estudio, sino también la convivencia.

A mi familia por todo el apoyo otorgado y su gran dedicación, que sin su asistencia no se hubiese logrado este objetivo

Francisco Hernández

Dedico este trabajo...

*A mis padres Reyna y Fernando:
Por sus enseñanzas y valores inculcados para formarme como hombre de bien.*

*A mis abuelos, Rosaura, Elvira, Antonio y Victoriano:
Por darme la dicha de tener a mis padres y apoyarme.*

*A mis hermanos Fernando y Luis:
Por apoyarme siempre que lo necesito.*

*A mis padrinos:
Alejandro Cortázar y María de Lourdes Martínez.*

*A mis familiares y amigos:
Por sus palabras de aliento en los momentos difíciles.*

Agradezco...

*Al Instituto Politécnico Nacional:
Por ser el pilar de mi formación académica y profesional desde el nivel bachillerato.*

*A mis padres:
Por el apoyo brindado a lo largo de mi vida.*

*A mis asesores:
Israel Casillas Torres, Blanca Rosa Briseño Tepepa y Mauricio Méndez Martínez por ayudarme en este último paso de mi licenciatura.*

*A mis profesores en general:
Por apoyarme en mi formación.*

*A mi familia y amigos:
Por apoyarme a seguir adelante y nunca darme por vencido.*

César Jiménez

Dedico este trabajo...

A mis padres, Román y Elizabeth que siempre confiaron en mí y desde pequeño me inculcaron valores y educación que han sido fundamentales para mi desarrollo académico y profesional.

A mi hermano Adán por siempre motivarme y apoyarme a lo largo de mis estudios y a mi hermana Luz por ser fuente de motivación.

A todos mis profesores que desde educación básica me han apoyado, pero sobre todo a los del IPN que aman su vocación y siempre buscan la superación de sus estudiantes.

A mis amigos cercanos que siempre confiaron en mí y me apoyaron.

Agradezco...

Al Instituto Politécnico Nacional, a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y a la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas por permitirme obtener una formación integral y profesional.

A mi madre, Elizabeth Alvarez, por su amor, comprensión y paciencia en los momentos difíciles, por su apoyo y consejos cuando más los necesité, por guiarme, escucharme y motivarme a lo largo de este camino, por siempre creer en mí y estar a mi lado en cada paso que doy.

A mi padre, Román López, por siempre ser mi ejemplo de fortaleza y lucha constante, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por demostrarme que se puede conseguir hasta lo imposible, por darme sus consejos y tiempo tan valioso y por toda la confianza que tiene en mí.

A mis hermanos, Adán y Luz, porque hacen mi vida más feliz, por su paciencia, ayuda y comprensión en los momentos difíciles que pasé. A mi abuelo Aurelio, por el apoyo y comprensión que me ha brindado desde pequeño a lo largo de toda mi vida y a mi familia, por siempre apoyarme y poner como prioridad mi formación profesional sin importar las circunstancias.

A mis amigos y equipo de trabajo que siempre confiaron en mí y que no se rindieron por más difícil que pareciera la situación, por siempre buscar solución a los problemas que se nos presentaron.

Isaac Lopez

Tabla de contenido

Índice de Figuras	V
Índice de Tablas	IX
Resumen	VI
<i>Abstract</i>	VIII
Objetivo general	X
Objetivos específicos	X
Introducción	XII
Justificación	XIV
Capítulo I – Estado del Arte	1
I.1 Antecedentes	2
I.1.1 Introducción a los hechos de tránsito terrestre	3
I.1.2 Antecedentes de hechos de tránsito terrestre	4
I.1.3 La seguridad activa y pasiva del vehículo	7
I.1.4 Seguridad activa	7
I.1.4.1 Sistema de frenado.....	8
I.1.4.2 Sistema de dirección	8
I.1.4.3 Sistema de suspensión	9
I.1.4.4 Neumáticos	9
I.1.4.5 Sistema de iluminación	10
I.1.4.6 Sistema de control de estabilidad	10
I.1.5 Seguridad pasiva	11
I.1.5.1 Chasis y carrocería	11
I.1.5.2 Cinturones de seguridad	12
I.1.5.3 Sistema de bolsas de aire	12
I.1.5.5 Repozacabezas	13
I.1.6 Sistema de conectividad de General Motors: <i>OnStar</i>	14
I.1.7 Sistemas con tecnologías de localización y comunicación inalámbricas.	15

I.1.7.1 Sistema de localización monitoreo y control vehicular basado en los protocolos GPS/GSM/GPRS.	15
I.1.7.2 Diseño de un equipo de rastreo satelital de elementos usando tecnologías GPS Y GSM.	15
I.1.7.3 Sistema de monitoreo remoto del habitáculo y posición del vehículo	15
I.2 Metodología	16
I.2.1 Diseño secuencial y diseño concurrente.	16
I.2.2 Metodología VDI 2206	19
I.3 Planteamiento del problema	21
I.4 Alcance del Proyecto	22
I.5 Sumario	23
I.6 Referencias	23
Capítulo II – Marco Teórico	27
II.1 El vehículo.....	28
II.2 Organismos de control de seguridad vial	30
II.2.1 Euro NCAP	32
II.2.2 NHTSA.....	32
II.2.3 IIHS	33
II.2.4 ANCAP	33
II.2.5 Latin NCAP	34
II.3 Prevención de accidentes de tránsito	34
II.3.1 Antecedentes	35
II.3.2 Situación actual	37
II.4 Tipos de siniestros	39
II.4.1 Impacto frontal	39
II.4.2 Impacto lateral	40
II.4.3 Impacto posterior.....	41
II.4.4 Vuelco	41
II.5 Influencia de la velocidad en los siniestros automovilísticos	42
II.6 Mecánica del impacto [24]	44

II.6.1 Fuerza de impacto	47
II.6.2 Energía de impacto	48
II.6.3 La estructura del vehículo en la colisión	49
II.7 Sensores de impacto automotrices	50
II.7.1 Sensores de impacto inerciales	50
II.7.2 Sensores de impacto magnéticos.	51
II.7.3 Sensores de impacto con acelerómetros	52
II.7.4 Sensores de fuerza y presión	53
II.8 El valor de Criterio de Daño de la Cabeza: <i>HIC</i>	54
II.9 Tecnologías para el sistema.....	55
II.9.1 El Sistema de Posicionamiento Global: <i>GPS</i>	55
II.8.1.1 Segmento Espacial	56
II.8.1.2 Segmento de control terrestre	56
II.8.1.3 Segmento de usuario	56
II.8.1 El Paquete General de Radio Servicio: <i>GPRS</i>	56
II.9.3 El Bluetooth.....	57
II.10 Sumario	58
II.11 Referencias	58
Capítulo III – Desarrollo Experimental	61
III.1 Construcción del vehículo a escala	62
III.2 Subsistema de sensado	67
III.3 Subsistema de localización y comunicación inalámbrica a distancia	69
III.4 Subsistema de interfaz gráfica	74
III.5 Integración de los subsistemas	76
III.6 Lectura del sensor ADXL345 para el sensado del sistema	78
III.7 Diagrama de flujo operacional	80
III.8 Materiales y costos	81
III.9 Sumario	83
III.10 Referencias	83

Capítulo IV – Análisis de resultados	85
IV.1 Velocidad de impacto	87
IV.2 Aceleración del cuerpo	88
IV.3 Fuerza de impacto	89
IV.4 Energía de impacto	90
IV.5 Validación del sistema	91
IV.5.1 Siniestro leve	92
IV.5.1.1 Apoyo denegado	92
IV.5.1.2 Apoyo aceptado	94
IV.5.2 Siniestro moderado	97
IV.5.2.1 Apoyo denegado	97
IV.5.2.2 Apoyo aceptado	99
IV.5.3 Siniestro grave	102
IV.5.4 Localización en tiempo real	103
IV.6 Sumario	104
Conclusiones y trabajos a futuro	105

Índice de Figuras

Capítulo I – Estado del Arte

Figura I-1. Ensayos militares hechos por Stapp [2].....	2
Figura I-2. Número de vehículos y relación de muertes viales por cada 1000,000 vehículos: 2000-2016 [7].	5
Figura I-3 Seguridad activa y pasiva en el vehículo [12].	7
Figura I-4. Sistema de frenos de una rueda [40].....	8
Figura I-5 Sistema de dirección delantera [41].	8
Figura I-6. Sistema de suspensión [42].	9
Figura I-7. Neumático automotriz [14].	9
Figura I-8. Sistema de iluminación [19].	10
Figura I-9. Trayectoria de vehículo con y sin sistema ESP [12].	10
Figura I-10. Chasis y carrocería de un vehículo [43].	11
Figura I-11. Cinturón de seguridad del conductor [44].	12
Figura I-12. Sistema de bolsas de aire de un vehículo [45].	12
Figura I-13. Cristal parabrisas de un vehículo [46].	13
Figura I-14. Reposacabezas de un vehículo [25].	13
Figura I-15. Interfaz OnStar [26].	14
Figura I-16. Etapas del diseño secuencial.	16
Figura I-17. Etapas del diseño concurrente.	17
Figura I-18. Metodología del diseño concurrente recursivo.....	18
Figura I-19. Metodología del diseño concurrente integrado.	18
Figura I-20. Modelo V para el diseño concurrente recursivo.	20

Capítulo II - Marco Teórico

Figura II-1. Simulación de impacto frontal [19].	40
Figura II-2. Simulación de impacto lateral [19].	41
Figura II-3. Colisión tipo vuelco [19].	42
Figura II-4. Relaciones de los efectos de la velocidad (<i>Power Model</i>).	43

Figura II-5. Desplazamiento de los ocupantes.	44
Figura II-6. Ejemplo de diferentes fuerzas en una colisión [19].	47
Figura II-7. Sistema Masa-Amortiguador-Resorte diseñado [30].	51
Figura II-8. Diseño masa-resorte de sensor de impacto.	51
Figura II-9. Diseño de sensor de impacto magnético [31].	52
Figura II-10. Principio de funcionamiento y estructura interna del acelerómetro [32] ...	53
Figura II-11. Estructura de un FSR [29].....	53

Capítulo III - Desarrollo Experimental

Figura III-1. Comparación del vehículo F-250 2007 real (A) y el modelo a escala (B). 62	62
Figura III-2. Tarjeta de desarrollo Arduino UNO [4].	63
Figura III-3. Puente H BTS7960 en módulo [5].	63
Figura III-4. Puente H L298 en módulo [6],	64
Figura III-5. Módulo Bluetooth [7].	65
Figura III-6. Conexión del control inalámbrico.	66
Figura III-7. Dirección y tracción del vehículo a escala.	66
Figura III-8. Interfaz gráfica de la App.	67
Figura III-9. Acelerómetro ADXL345 [9].	67
Figura III-10. Esquemático del sensor y el Bluetooth maestro.	68
Figura III-11. Conexión del subsistema de sensado y el control de movimiento.	69
Figura III-12. Módulo GPS NEO6MV2 [11].	69
Figura III-13. Esquemático de conexión del GPS.	70
Figura III-14. GPS instalado en el vehículo a escala.	71
Figura III-15. Módulo GPRS [12].	71
Figura III-16. Esquemático de conexión del GPRS.	73
Figura III-17. GPRS instalado en el vehículo a escala.....	74
Figura III-18. LCD 2004 [13].	74
Figura III-19. Esquemático de la interfaz gráfica.	75
Figura III-20. Instalación de la pantalla en el vehículo a escala.	76
Figura III-21. Subsistema de comunicación y localización integrado.	76

Figura III-22. Instalación del sistema integrado en el prototipo a escala.....	77
Figura III-23. Gráfica de mediciones registradas por el ADXL345 contra Fuerza g.	78
Figura III-24. Gráfica con los valores fuerza g vs ms considerados para los impactos. .	79
Figura III-25. Diagrama de flujo operacional del sistema.	80

Capítulo IV - Análisis de resultados

Figura IV-1. Interfaz gráfica mostrando la hora (13:22) y la fecha (12/06/2020).	92
Figura IV-2. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro leve, enviando mensaje preventivo".	92
Figura IV-3. Interfaz gráfica con el mensaje "Solicitar asistencia. Mantenga presionado (Si / No).....	93
Figura IV-4. Interfaz gráfica con mensaje "Asistencia denegada. Que tenga usted un Buen día".	93
Figura IV-5. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la negación del apoyo.	94
Figura IV-6. Interfaz gráfica como reloj digital mostrando la hora (17:21) y la fecha (12/06/2020).	94
Figura IV-7. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro leve, enviando mensaje preventivo".	95
Figura IV-8. Interfaz gráfica con el mensaje "Solicitar asistencia. Mantenga presionado (Si / No).....	95
Figura IV-9. Interfaz gráfica con el mensaje "Apoyo solicitando, mantenga la calma".	96
Figura IV-10. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la solicitud del apoyo.	96
Figura IV-11. Interfaz gráfica como reloj mostrando la hora (17:23) y la fecha (12/06/2020).	97
Figura IV-12. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro moderado, enviando mensaje preventivo".	97
Figura IV-13. Interfaz gráfica con el mensaje "Solicitar asistencia. Mantenga presionado (Si / No).....	98

Figura IV-14. Interfaz gráfica con mensaje "Asistencia denegada. Que tenga usted un Buen día".	98
Figura IV-15. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la negación del apoyo	99
Figura IV-16. Interfaz gráfica como reloj digital mostrando hora (13:23) y fecha (12/06/2020).	99
Figura IV-17. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro moderado, enviando mensaje preventivo".	100
Figura IV-18. Interfaz gráfica con el mensaje "Solicitar asistencia. Mantenga presionado (Si / No).....	100
Figura IV-19. Interfaz gráfica con el mensaje "Apoyo solicitando, mantenga la calma".	101
Figura IV-20. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la solicitud del apoyo.	101
Figura IV-21. Interfaz gráfica como reloj digital mostrando hora (13:24) y fecha (12/06/2020).	102
Figura IV-22. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro grave, enviando mensaje de alerta".	102
Figura IV-23. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la solicitud del apoyo.	103
Figura IV-24. Localización en tiempo real del siniestro mostrada en Google Maps. ...	104

Índice de Tablas

Capítulo I – Estado del Arte

Tabla I-1. Número de muertos, heridos y accidentes de tránsito en México: 2013 – 2018.	5
Tabla I-2. Tipología de accidentes en zonas urbanas y suburbanas en México: 2013- 2018.....	6

Capítulo II– Marco Teórico

Tabla II-1. Clasificación de automóviles terrestres.	28
Tabla II-2. Sistemas de seguridad comercializados en vehículos en 1995 y 2005 [16]. .	38
Tabla II-3. Relación de valores para HIC.	55

Capítulo III – Desarrollo Experimental

Tabla III-1. Comparación de características entre el vehículo a escala y el real [1] [2].	62
Tabla III-2. Especificaciones técnicas de BTS 7960 [5].	64
Tabla III-3. Especificaciones técnicas del L298N [6].	65
Tabla III-4. Especificaciones Técnicas Bluetooth HC-05 [8].	65
Tabla III-5. Especificaciones técnicas del ADXL345 [10].	68
Tabla III-6. Especificaciones técnicas del GPS [11].	70
Tabla III-7. Especificaciones técnicas del GPRS IOT GA6 [12].	72
Tabla III-8. Especificaciones Técnicas de la LCD 2004 [13].	75
Tabla III-9. Costos y materiales utilizados para la construcción del prototipo a escala.	81
Tabla III-10. Materiales y costos del sistema.	82

Capítulo IV – Análisis de resultados

Tabla IV-1. Resumen de pruebas de siniestros realizadas.	86
----------------------------------------------------------------------	----

Índice de abreviaturas

GPS:	Global Positioning System (ingles).
GPRS:	General Packet Radio Service (ingles).
mph:	millas por hora.
km/h:	kilómetros sobre hora.
Gs:	plural de aceleración en unidades de gravedad.
ABS:	Antiblocker system (alemán).
ESP:	Electronic Stability Program (ingles).
GM:	General Motors (ingles).
USA:	United America States (ingles).
GSM:	Global System for Mobile communications (ingles).
2G,3G,4G,5G:	Generaciones de transferencia de voz y datos móviles.
VDI:	Verein Deutscher Ingerieure (alemán).
BMW:	Bayerische Motoren Werke (alemán).
INEGI:	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
HIC:	Head Injury Criterion (ingles).
Global NCAP:	The Global New Car Assessment Programme (ingles).
ECOSOC:	Economic and Social Council (ingles).
FIA:	Fédération Internationale de l'Automobile (francés)
SNRA:	Swedish National Road Administration (ingles).

NHTSA:	National Highway Traffic Safety Administration (ingles).
IHS:	Insurance Institute for Highway Safety (ingles).
HLDI:	Highway Loss Data Institute (ingles).
ANCAP:	Australasian New Car Assessment Program (ingles).
SRK:	Behavioural model skill-rule-knowledge (ingles).
CREAM:	Cognitive Reliability and Error Analysis Method (ingles).
FTA:	Fault tree analysis (ingles).
MORT:	Management oversight and risk tree (ingles).
MES:	Multilinear events sequencing (ingles).
SCAT:	Systematic Cause Analysis Technique (ingles).
ILCI:	International Loss Control Institute (ingles).
ANFAC:	Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones.
N/m:	Newton sobre metro.
N/m²:	Newton sobre metro cuadrado.
MEMS:	Micro Electro Mechanical Systems (ingles).
FSR:	Force Sensing Resistor (ingles).
ISO:	International Standard Organization (ingles).
AIS:	Abbreviated Injury Scale (ingles).
MEO:	Medium Earth orbit (ingles).
OCS:	Operational Control Segment (ingles).
kbits:	kilobits per second (ingles).
SMS:	Short Message Service (ingles).

EDGE o EGPRS:	Enhanced Data Rates for GSM Evolution (ingles).
HSDPA:	High Speed Downlink Packet Access (ingles).
mbps:	megabits per second (ingles).
LTE:	Long Term Evolution (ingles).
gbps:	gigabits per second (ingles).
MOSFET:	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (ingles).
TTL:	transistor-transistor logic (ingles).
PWM:	pulse-width modulation (ingles).
SPI:	Serial Peripheral Interface (ingles).
I²C:	inter integrated circuits (ingles).
BT:	Bluetooth (ingles).
EEPROM:	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (ingles).
LED:	Light Emitting Diode (ingles).
USB:	Universal Serial Bus (ingles).
LCD:	Liquid Crystal Display (ingles).
ms:	mili segundos.
M:	metros.
v:	Velocidad.
a:	Aceleración.
Ec:	Energía cinética.
m/s:	metros sobre Segundo.
m/s²:	metros sobre segundo al cuadrado.

N: Newton.

J: Joule.

MRUA: Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado.

RGB: Red Green Blue (ingles).

Resumen

Con base en las estadísticas sobre accidentes viales en México y en el mundo, se puede considerar que el índice de accidentes viales es alto. En este trabajo se desarrolló un sistema cuyo propósito es brindarle al conductor y a los ocupantes de un vehículo un asistente de apoyo para después de que ocurrió un siniestro; dicho asistente tiene la capacidad de sensar los impactos en caso de siniestro, pero también es capaz de valorar la magnitud del impacto en tres variables propuestas: leve, moderado y grave. En el caso de sensar un siniestro con magnitud leve o moderado, el sistema envía un mensaje de texto preventivo informando del acontecimiento y notifica al conductor el tipo de siniestro que se sufrió, posteriormente le cuestiona si quiere o no que se envíe el mensaje de texto con la solicitud de apoyo; pero si detecta un impacto de magnitud fuerte, el sistema inmediatamente enviará un mensaje de texto para notificar a algún apoyo externo que sufrió un siniestro. El mensaje de texto contiene la magnitud (leve, moderado o grave) del siniestro que se sufrió, la ubicación en tiempo real y la hora en la que se sensó el siniestro. Para ello, el sistema cuenta con un *GPS* que hace una lectura continua de la ubicación para que al momento del impacto se cuente con la localización en tiempo real y se envíe en el mensaje de texto; además, el sistema dispone de un dispositivo con tecnología *GPRS* que nos permite una comunicación inalámbrica de largo alcance que es soportada por una red telefónica.

Para el desarrollo del sistema fue necesario utilizar una metodología de diseño con enfoque concurrente recursivo, esto debido a la necesidad de integrar los diferentes subsistemas que incluye este sistema desarrollado y que el resultado tenga más sinergia de integración. Por otro lado, las pruebas se realizaron en un vehículo a escala en donde se simularon diferentes tipos de impactos y siniestros, lo que permitió medir variables como la distancia, el tiempo, la velocidad, la aceleración, la fuerza y energía de impacto para validar los resultados esperados en el diseño.

Abstract

Based on the statistics on road accidents in Mexico and the world, it can be considered that the rate of road accidents is high. In this work, a system was developed which purpose is to provide the driver and the occupants of a vehicle with a support assistant for after an accident occurred. This assistant has the ability to sense the impacts in the event of an accident, but is also able to assess the magnitude of the impact in three proposed variables: light, moderate and severe. In the case of sensing an accident with a light or moderate magnitude, the system sends a preventive text message informing of the event and notifies the driver of the accident type that was suffered, then asks whether or not the text message with the request for support is sent; but if it detects a severe impact, the system would immediately send a text message to notify any external support that an accident was suffered. The text message contains the magnitude (light, moderate or severe) of the incident suffered, the location in real time and the time the incident was sensed. For this, the system has a GPS that makes a continuous reading of the location so that at the moment of the impact the location is available in real time to send it in the text message. In addition, the system has a device with GPRS technology that allows us long-range wireless communication that is supported by a telephone network.

For the system development it was necessary to use a design methodology with a recursive concurrent approach, this due to the need to integrate the different subsystems that this developed system includes, so that, the result has more integration synergy. On the other hand, the tests were carried out on a scale vehicle where different types of impacts and accidents were simulated, which allowed the measurement of variables such as distance, time, speed, acceleration, force and impact energy to validate the expected results in the design.

Objetivo general

Desarrollar e implementar un sistema electrónico en un vehículo con un asistente que apoye al conductor en el momento en el que ya ocurrió un siniestro, dando aviso y enviando la localización del evento.

Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema que permita detectar cuando un vehículo sufre un siniestro y que además valore la magnitud de este.
- Realizar un entorno gráfico en donde el asistente le indique al conductor que tipo de impacto sufrió y le cuestione si quiere solicitar apoyo (en impactos leves y moderados), pero en impactos graves será automático.
- Implementar un sistema de localización que permita obtener la ubicación en tiempo real del siniestro.
- Desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica que permita enviar información entre el asistente y un receptor.
- Realizar las pruebas de detección de impactos y de comunicación entre el asistente y un receptor, provocando impactos simulados en un entorno controlado.

Introducción

Los problemas de seguridad vial y accidentes de tránsito se originan debido a una mala planeación e implementación de los cambios en la infraestructura vial, estos a su vez, surgen como respuesta al incremento del parque vehicular, a las necesidades de movilidad de la población, cambios demográficos y económicos.

En la actualidad, los accidentes de tránsito representan a nivel mundial uno de los problemas que más afecta a la salud de la sociedad. Dejando no solo pérdidas de seres queridos y daños emocionales, sino también costos monetarios muy altos, tratamientos médicos y quirúrgicos, daños materiales y la incapacidad laboral de la persona lesionada; lo que afecta directamente la capacidad productiva y económica del país. Ante esta problemática mundial, surge la necesidad de conocer y comprender cuales son las causas que originan los accidentes de tránsito y los factores que intervienen. Esto con el propósito de poder generar medidas preventivas y correctivas que disminuyan los accidentes de tránsito, pero el determinar estas causas no es tarea fácil, ni mucho menos económica, se necesitan investigadores entrenados y equipo adecuado.

El Capítulo I presenta al lector información y antecedentes de la seguridad vial, de los sistemas de seguridad pasiva y activa que comprenden al vehículo, describe la metodología más conveniente para el diseño y desarrollo de sistemas integrales, expone el planteamiento del problema la propuesta de solución y el alcance del presente proyecto. El Capítulo II describe los tipos de colisiones, los organismos de control de seguridad vial, la mecánica y otros factores relacionados con accidentes de tránsito e impactos, finalmente se hace referencia a los sensores de impacto automotrices disponibles en el mercado. En el Capítulo III se desarrolla el sistema y cada uno de los subsistemas que lo integran especificando los dispositivos empleados. Y el Capítulo IV aborda un análisis de resultados obtenidos junto con la validación del funcionamiento del sistema desarrollado tras la implementación del sistema y la realización de pruebas.

Justificación

En el año 2018, la Organización Mundial de Salud desarrolló el informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2018 en donde afirma que los accidentes de tránsito de vehículos de motor han provocado anualmente: la muerte de 1.2 millones de personas, el traumatismo en un máximo de 50 millones de personas, la muerte de casi 600 mil peatones, ciclistas o motociclistas y los costos mundiales de las lesiones están evaluados en 518,000 millones de dólares. Las lesiones causadas por accidentes viales son la octava causa de muerte a nivel mundial y la primera entre los jóvenes de 15 a 29 años.

En México, el panorama de los accidentes viales no es alentador. En países como Holanda, Alemania y Suecia redujeron en 35 años, que comprende del periodo de 1970 al 2006, sus tasas de mortalidad en alrededor del 80%. Sin embargo, México incrementó su tasa de mortalidad en el mismo periodo en 94%. Además, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía registró un total de 365,281 accidentes de tránsito terrestre en el año 2018, de los cuales hubo 4, 227muertos y 89,220 heridos.

Actualmente, existen diversas tecnologías desarrolladas con el fin de brindar más seguridad al conductor y a los ocupantes del vehículo, tecnologías que van desde los frenos ABS, sistemas Airbag, hasta algunos más complejos como el control de tracción, sistemas inteligentes de frenado y de conducción, entre otros. Sin embargo, el impedir un accidente al momento de conducir es casi imposible por lo que los accidentes de tránsito siempre existirán. Los fabricantes de automóviles no han desarrollado un sistema general enfocado específicamente en ayudar al conductor en solicitar apoyo externo notificando del tipo de accidente y enviando la ubicación del evento en tiempo real. Además, dentro del sector automotriz no existe algún sistema de sensado capaz de valorar la magnitud del impacto.

Esta problemática es la motivación por la cual se desarrolló el proyecto, ya que el sistema del *Asistente de apoyo post siniestro para la localización del vehículo* apoyará al conductor cuando ya ocurrió el accidente; el asistente solicitará apoyo externo notificándole el tipo de accidente que sucedió y enviando la localización del evento en tiempo real.

Capítulo I



I. Estado del Arte

Es este capítulo se mencionan los antecedentes de los hechos de tránsito terrestre y la situación mundial y nacional en cuanto número de accidentes, heridos y muertes. También se explica la importancia de la seguridad activa y pasiva, sus elementos y función en el vehículo; así como los sistemas relacionados con el proyecto. Finalmente, se expone el planteamiento del problema y el alcance del proyecto.

I.1 Antecedentes

Es evidente que durante el siglo XX y lo que ha transcurrido del siglo XXI la ingeniería automotriz ha logrado construir vehículos con diversos sistemas y tecnologías que se han implementado a lo largo de la historia para satisfacer diferentes necesidades y regulaciones. Al surgir los vehículos, los accidentes viales igualmente aparecieron, uno de los primeros accidentes viales registrados fue el del año 1889 en Londres. Un vehículo presentó una falla en el sistema de frenado mientras se desplazaba en una pendiente, lo que provocó una mayor velocidad de entre 12 y 15 mph. Al impactarse, el conductor y su acompañante salieron disparados ocasionando su muerte [1]. A partir de este evento y similares es cuando comenzó una lucha y un intenso estudio para combatir este tipo de accidentes que ha durado décadas y hasta la fecha se sigue estudiando.

El primer ensayo de choque de un vehículo contra una barrera rígida fue realizado en 1934 por General Motors, en Michigan Estados Unidos. El objetivo fue minimizar el daño a los ocupantes del vehículo. No obstante, los primeros intentos de evaluar el riesgo de daños fueron en el año 1959 por John Stapp, físico de las fuerzas aéreas de los Estados Unidos. Stapp sometió a voluntarios en un conjunto de ensayos violentos (Figura I-1), entre ellos, frenaba un vehículo espacial, desde una velocidad de 1,000 km/h hasta su detención en menos de 1,5 segundos alcanzando una deceleración superior a 49 Gs [2].



Figura I-1. Ensayos militares hechos por Stapp [2].

Los análisis posteriores a estos estudios se lograron mediante las grabaciones del experimento, se llegó a determinar valores pico de la aceleración de hasta 200 Gs. Stapp concluyó que se podía asegurar la supervivencia de los ocupantes con sistemas adecuados de retención y protección en el interior del vehículo. Este estudio fue el pionero en seguridad pasiva y ayudó en el desarrollo del cinturón de seguridad que se creó en Suecia, en 1960 el 50% de los vehículos privados ya los llevaban incorporados [2].

Por otro lado, aunque el primer sistema de airbag puede ser atribuido a las investigaciones de Leonardo Da Vinci [3], la empresa General Motors inició en 1969 el desarrollo de los sistemas complementarios al cinturón de seguridad para retención de ocupantes, como son las bolsas de aire o airbag [1].

Dichos sistemas se han ido modificando al pasar de los años con el fin de mejorar la conducción y optimizar el funcionamiento del vehículo. Sin embargo, en relación con los sistemas de seguridad activa y pasiva del automóvil y a la reducción de las emisiones de gases contaminantes los cambios se han intensificado notablemente en las últimas décadas debido a las exigencias que han implementado los gobiernos; esto con el vital objetivo de incrementar la seguridad vial.

I.1.1 Introducción a los hechos de tránsito terrestre

Un hecho de tránsito terrestre se refiera a un accidente de tránsito vehicular; un accidente es un suceso inesperado, que no necesariamente produce daños, pero si interrumpe la terminación de una actividad. Además, un accidente es inevitablemente precedido de un acto inseguro, una condición insegura o alguna combinación de ambos [4]. Un hecho de tránsito terrestre es producido en una vía pública, donde se encuentra implicado uno o más vehículos, pero también pueden estar involucrados peatones, vehículos estacionados u otros elementos.

En general, durante el proceso de un hecho de tránsito terrestre se desarrollan tres etapas [5]:

- 1) La precolisión, donde se encuentran las condiciones iniciales del accidente.
- 2) La colisión, que es el acontecimiento del accidente.

- 3) La postcolisión, del que se obtienen los efectos y consecuencias del accidente o resultados finales.

En el proceso de estas etapas es necesario tomar en cuenta dos factores que son directamente influyentes: las causas y los mecanismos que producen lesiones.

Por otro lado, el estudio de los hechos de tránsito terrestre se enfoca en una recopilación de los datos y variables influyentes para plantear una hipótesis y generar una reconstrucción del accidente con el máximo detalle posible, para así obtener la secuencia y la evolución del evento [6].

I.1.2 Antecedentes de hechos de tránsito terrestre

Con base en el informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2018 emitido por la Organización Mundial de la Salud, las lesiones causadas por accidentes viales son la octava causa de muerte a nivel mundial y la primera entre los jóvenes de 15 a 29 años. Las tendencias indican que para el 2030 se convertirá en la quinta causa de muerte [7].

Durante el periodo del año 2000 al 2016, el número de vehículos alrededor del mundo ha incrementado constantemente, mientras que la relación de muertes por accidentes viales se ha reducido de 135 en el 2000 a aproximadamente 64 muertes en el 2016, ambos por cada 100,000 vehículos. Esto simboliza una reducción de más del 50% en los últimos 15 años representando un progreso en mitigar los efectos adversos del incremento del transporte motorizado. Sin embargo, aunque existe dicho progreso, estos datos demuestran que no ocurre a un paso lo suficientemente veloz para compensar el rápido crecimiento de la población y el incremento de vehículos alrededor del mundo [7].

Dichas estadísticas se pueden observar gráficamente en la Figura I-2.

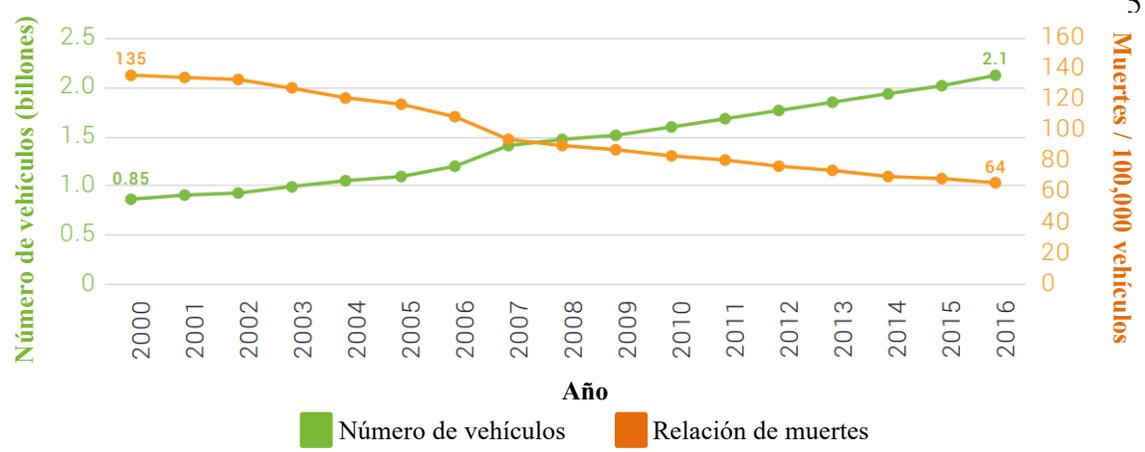


Figura I-2. Número de vehículos y relación de muertes viales por cada 1000,000 vehículos: 2000-2016 [7]. En

países como Holanda, Alemania y Suecia redujeron de 1970 al 2006 sus tasas de mortalidad en alrededor del 80%. Tomando en cuenta que los viajes vehículo/ kilómetro han aumentado 2.7 veces en promedio. Sin embargo, México incrementó el 94% su tasa de mortalidad en el mismo periodo [8]. Además, en el informe global de seguridad vial del 2009, se encontró que México ocupó el séptimo lugar a nivel internacional por fallecimiento en accidentes de tránsito y en América Latina, México ocupa el segundo lugar [9].

Por otro lado, el número de accidentes, heridos y muertos en hechos de tránsito terrestre en México desde el año 2013 hasta el año 2018 se muestra en la Tabla I-1. Donde se observa un decremento anual considerable en las tres categorías mostradas [10].

Tabla I-1. Número de muertos, heridos y accidentes de tránsito en México: 2013 – 2018.

Categoría	Año/Totales por individuo					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Accidentes	385,772	380,573	382,066	360,051	367,789	365,281
Heridos	122,850	118,188	107,202	97,614	91,157	89,220
Muertos	5,058	4,779	4,636	4,559	4,394	4,227

En las zona urbanas y suburbanas los hechos de tránsito terrestre no sólo están involucradas colisiones entre vehículos, existe una lista de distintos tipos de siniestros viales. La Tabla I-2 muestra que entre un 60-70% de los accidentes durante este periodo de tiempo estuvieron relacionados con colisiones entre vehículos y entre el 11.5-12.9% fue debido a colisiones con objetos fijos como postes, banquetas, camellones, semáforos, automóviles estacionados, etc. Con dicha información se concluye que son estos dos tipos de accidentes los más recurrentes en siniestros de tránsito en México mostradas [11].

Tabla I-2. Tipología de accidentes en zonas urbanas y suburbanas en México: 2013-2018.

Tipo de accidente	Año/Totales por individuo					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Colisión con vehículo automotor	264,199	256,337	255,863	235,998	241,285	238,225
Colisión con peatón	15,610	15,637	14,621	13,362	13,153	12,884
Colisión con animal	1,472	1,380	1,260	1,352	1,079	929
Colisión con objeto fijo	44,537	45,582	48,279	47,220	47,396	46,900
Volcadura	8,095	8,233	8,368	8,547	8,633	8,660
Caída de pasajero	2,924	2,789	2,570	2,137	1,930	1,679
Salida del camino	8,567	8,083	7,930	7,998	8,554	8,934
Incendio	346	306	358	309	235	225
Colisión con ferrocarril	228	234	241	270	298	285
Colisión con motocicleta	28,936	30,616	32,019	32,892	34,910	37,094
Colisión con ciclista	6,001	5,897	5,644	5,107	4,963	4,566
Otro	4,854	5,479	4,913	4,859	5,353	4,900
Totales	385,772	380,573	382,066	360,051	367,789	365,281

I.1.3 La seguridad activa y pasiva del vehículo

Los sistemas de seguridad activa y pasiva (Figura I-3) ocupan un lugar preferente en la organización eléctrica y mecánica de un vehículo moderno. En la última década se han disparado los avances tecnológicos enfocados a la mejora en esta materia, pero aun así actualmente mueren en todo el mundo alrededor de 1,2 millones de personas al año por culpa de accidentes automovilísticos. Se cree que al aumentar año tras año el parque vehicular a nivel global, esta cifra de muertes está en aumento y aunque se ha obtenido una mejora considerable de la tecnología en materia de seguridad, es insuficiente para las necesidades actuales [12].



Figura I-3 Seguridad activa y pasiva en el vehículo [12].

Actualmente, la industria automotriz se ve obligada a adaptar las nuevas tecnologías en función de las normas dictadas por organismos internacionales que realizan investigaciones sobre las causas de los accidentes de tráfico [12]. Esto con la finalidad de mejorar la seguridad vial protegiendo la vida del conductor y los ocupantes del vehículo.

I.1.4 Seguridad activa

La seguridad activa se refiere a los sistemas, dispositivos, o mecanismos que, incorporados al automóvil, incrementan su seguridad en su desplazamiento y trayectoria; por ejemplo, los frenos ABS incrementan la eficacia del frenado o las suspensiones de dureza variable que acoplan su acción al estado del suelo [13].

Los principales sistemas involucrados con la seguridad activa son:

1.1.4.1 Sistema de frenado

El sistema de frenado es esencial para la seguridad del conductor, está integrado por un conjunto de elementos destinados a detener y retardar su marcha. Todos los sistemas de frenado actuales cuentan con circuitos independientes que permiten frenar con seguridad en caso de que el de alguna rueda falle (Figura I-4) [14].



Figura I-4. Sistema de frenos de una rueda [40].

Entre los mejores sistemas están los frenos antibloqueo (ABS), de sus siglas en alemán: *Antiblockiersystem*, que reducen la distancia de frenado manteniendo la capacidad de cambiar de dirección ya que no bloquean por completo las ruedas [15].

1.1.4.2 Sistema de dirección

El sistema de dirección garantiza la correcta maniobra y dirección del vehículo (Figura I-5). Los sistemas de dirección de los vehículos modernos se endurecen a altas velocidades para mantener un mejor control y evitar posibles accidentes [16].



Figura I-5 Sistema de dirección delantera [41].

1.1.4.3 Sistema de suspensión

El sistema de suspensión permite al automóvil mantenerse estable y además absorbe las irregularidades de la carretera proporcionando un mejor control y confort de este (Figura I-6). Dentro de este sistema existe componente llamado barra estabilizadora que conecta las dos ruedas de cada eje para controlar la inclinación del coche en las curvas, evitando así una salida de la vía [17].



Figura I-6. Sistema de suspensión [42].

1.1.4.4 Neumáticos

Los neumáticos son parte fundamental en el automóvil. Su composición y su dibujo deben garantizar un buen contacto con el suelo para obtener la tracción adecuada en cualquier clima y condición (Figura I-7). Deben estar en las mejores condiciones para conseguir la máxima adherencia con el suelo ya que son el único contacto entre este y el vehículo [18].



Figura I-7. Neumático automotriz [14].

1.1.4.5 Sistema de iluminación

El alumbrado del vehículo es un sistema clave en la seguridad activa dado que gracias a este se puede circular en situaciones de baja visibilidad permitiendo ver con claridad (Figura I-8). Además, informa al resto de usuarios de la vía sobre nuestra presencia en el camino, la dirección que vamos a tomar o la velocidad a la que estamos circulando [19].



Figura I-8. Sistema de iluminación [19].

1.1.4.6 Sistema de control de estabilidad

El ESP por sus siglas en inglés *Electronic Stability Program* asiste al conductor en situaciones extremas, velocidad excesiva en curva, pérdida de tracción, etc. (Figura I-9) [12]. Mediante sensores que perciben la velocidad de cada una de las llantas, la posición del volante y la posición del pedal del acelerador, un procesador electrónico determina las acciones a tomar: frenar una o más ruedas o mantener las llantas con la tracción adecuada [14].

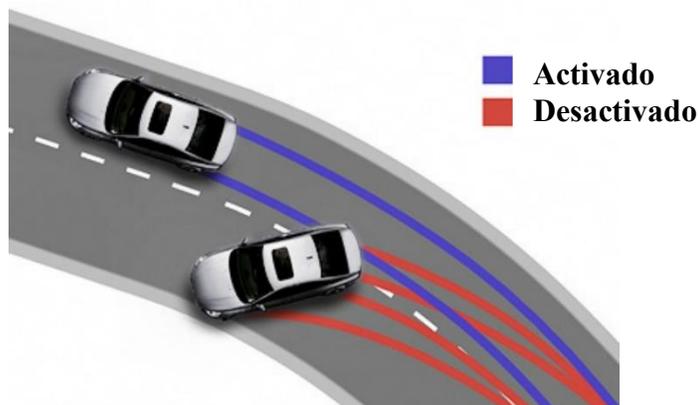


Figura I-9. Trayectoria de vehículo con y sin sistema ESP [12].

I.1.5 Seguridad pasiva

La seguridad pasiva se refiere a aquellos componentes, ya sean sistemas, dispositivos o mecanismos, que, incorporados al vehículo, preservan a los ocupantes de posibles daños en caso de un accidente. Se pueden definir como elementos pasivos cuya acción sólo se desarrolla en caso de accidente. Las bolsas de aire ocultas en el volante y otros interiores del habitáculo o los cinturones de seguridad son buenos ejemplos de elementos de la seguridad pasiva [13].

I.1.5.1 Chasis y carrocería

El chasis de todo automóvil se compone por elementos mecánicos como el bastidor que integra largueros o travesaños, es la estructura interna del vehículo. Y la carrocería es la estructura externa o el armazón en donde se alojan los pasajeros o carga [20], ambos existen zonas que absorben la energía en caso de un impacto (Figura I-10). Si es un choque frontal, acomoda el motor y la columna de dirección a modo que no se introduzca en el habitáculo [21].

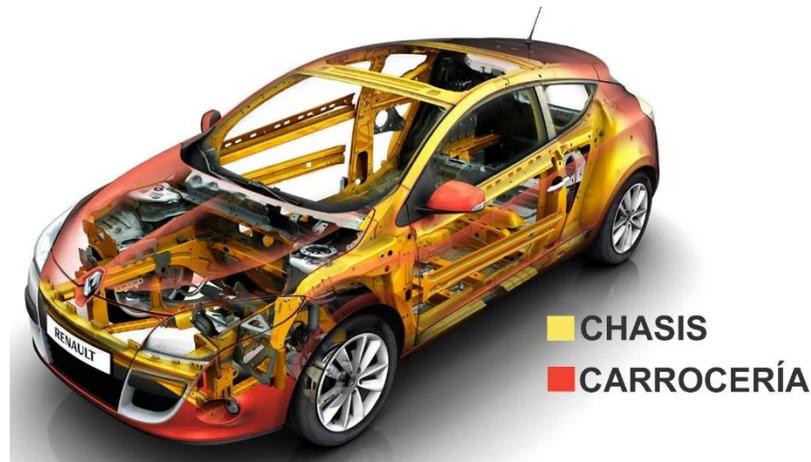


Figura I-10. Chasis y carrocería de un vehículo [43].

Es importante mencionar que el chasis y la carrocería son los principales elementos que absorben la energía en caso de un impacto y por tal motivo en la actualidad la ingeniería automotriz se ha encargado de diseñar estructuras mecánicas capaces de disipar la energía de impacto a base de elementos metálicos con innovadores tratamientos térmicos [20].

1.1.5.2 Cinturones de seguridad

Imprescindibles para cualquier ocupante del vehículo y básicos en la seguridad vial (Figura I-11). En caso de impacto, cuentan con un dispositivo que bloquea el mecanismo en caso de sufrir una fuerte desaceleración evitando que la persona salga despedida [22].



Figura I-11. Cinturón de seguridad del conductor [44].

1.1.5.3 Sistema de bolsas de aire

Es mejor conocido por su nombre en inglés *Airbag System*, son unas bolsas que, mediante un sistema pirotécnico, se inflan en fracciones de segundo cuando el vehículo se impacta con un objeto sólido a una velocidad determinada (Figura I-12). Su objetivo es impedir que los ocupantes se golpeen directamente con alguna parte del vehículo. Actualmente existen las bolsas frontales, laterales, tipo cortina (para la cabeza) e incluso para las rodillas [23].



Figura I-12. Sistema de bolsas de aire de un vehículo [45].

I.1.5.4 Cristales

El compuesto del vidrio parabrisas está especialmente diseñado para que, en caso de accidente, no salten astillas que puedan dañar a los pasajeros del vehículo (Figura I-13). Las ventanillas laterales son más débiles y se pueden romper. Es la salida más cómoda si en caso de vuelco las puertas se quedan bloqueadas [24].



Figura I-13. Cristal parabrisas de un vehículo [46].

I.1.5.5 Reposacabezas

Es el elemento fundamental de los asientos para la protección de la persona frente al latigazo cervical en el momento del impacto, siempre que se ajusten a la altura de la persona que vaya sentada (Figura I-14) [25].

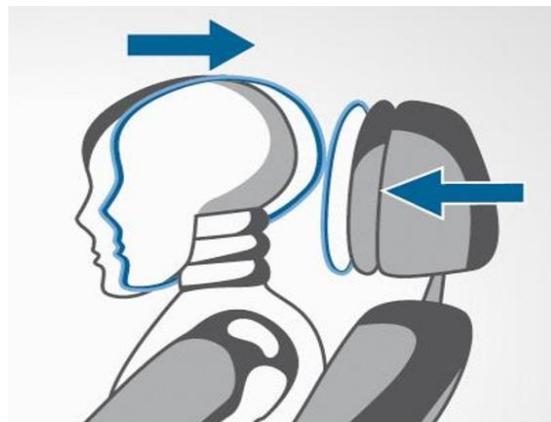


Figura I-14. Reposacabezas de un vehículo [25].

I.1.6 Sistema de conectividad de General Motors: *OnStar*

El sistema de conectividad OnStar (Figura I-15) lo implementó GM (*General Motors*) en 1996 en USA en donde unió a sus vehículos tecnología GPS y de comunicación con asesores en vivo (entrenados para ayudar a los conductores) con el fin de salvar vidas enviando a los equipos de emergencia al lugar donde ocurrió un accidente. Desde su desarrollo ha logrado más de 6.4 millones de suscriptores alrededor del mundo, en 1999 se expandió a Canadá, a China en 2009 y finalmente llegó a México en 2013, convirtiéndose en el primer país de Latinoamérica con este sistema. Tan sólo en Norteamérica ha ayudado en más de 560 millones de conexiones y guiado a los servicios de emergencia a más de 222,000 accidentes [26].



Figura I-15. Interfaz OnStar [26].

El sistema OnStar cuenta principalmente con 4 opciones: el servicio de Respuesta Automática de Accidentes, Asistencia de Vehículos Robados, el Diagnostico del vehículo y la navegación Paso a Paso. La asistencia de Vehículos Robados ha contribuido junto con las autoridades a recuperar las unidades en más de 63 mil robos. En 2008, se incorporó la Desaceleración de Vehículos Robado que permite al Asesor trabajar con la policía y enviar una señal al vehículo, haciéndolo desacelerar de forma gradual y segura para recuperarlo.

Actualmente, OnStar se complementa con la aplicación móvil MyChevrolet®, con la que se puede localizar el vehículo en tiempo real, también es posible consultar el nivel de combustible, encender el aire acondicionado sin importar qué tan lejos se encuentre el usuario y encender el motor antes de entrar al habitáculo, entre otras opciones [27].

I.1.7 Sistemas con tecnologías de localización y comunicación inalámbricas.

Existe un gran número de proyectos y sistemas que implementan tecnologías de esta índole, sin embargo, se hará énfasis en sistemas desarrollados en la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas por alumnos de la Ingeniería en Sistemas Automotrices.

I.1.7.1 Sistema de localización monitoreo y control vehicular basado en los protocolos GPS/GSM/GPRS.

El objetivo de este dispositivo es el monitoreo en tiempo real, almacenamiento, procesamiento y gestión de los datos que son enviados desde los vehículos hacia los servidores de la nube. El equipo de rastreo utilizado captura las diferentes señales de los sensores del vehículo, que se envían a través de la red GSM/GPRS hacia los servidores para ser procesadas y luego almacenadas en una base de datos [28].

I.1.7.2 Diseño de un equipo de rastreo satelital de elementos usando tecnologías GPS Y GSM.

Esta tecnología va enfocada al servicio de transporte, en donde se requiere conocer la ubicación geográfica de sus elementos como son: vehículos, paquetes, equipos delicados o costosos, con el propósito de tener seguridad, seguimiento y logística. La seguridad para la comunidad puede ser también un factor importante para la ejecución de este proyecto, entes como la Policía, Bomberos y Ambulancias pueden ser optimizadas para actuar más rápidamente ante una emergencia [29].

I.1.7.3 Sistema de monitoreo remoto del habitáculo y posición del vehículo

Es un sistema con la capacidad de conocer la ubicación del vehículo en cualquier momento por medio de tecnología GPS (Global Positioning System), además reconocer y aprender el recorrido del conductor y avisa a un usuario mediante su teléfono celular cuando se salga del recorrido establecido. También el sistema monitorea el estado de las puertas y el interior de un vehículo por medio de una cámara, enviando una fotografía mediante tecnología de comunicación móvil 3G [30].

I.2 Metodología

El proceso de diseño tiene un papel fundamental en la ingeniería y se realiza con el objetivo de generar soluciones a un problema específico, normalmente identificado como una necesidad. Este proceso comúnmente se ejecuta en varias etapas, en busca de una solución que pueda satisfacer lo establecido en el planteamiento. Este no sólo se enfoca en el conjunto de etapas y normas que se requieren cumplir para obtener soluciones, sino que también considera aspectos ajenos al problema base y a las condiciones exteriores a las que se enfrentará. En el diseño, no existe una única solución correcta para el problema, pero sí hay posibilidad de que existan mejores soluciones que otras [31].

Hoy en día, principalmente se emplean dos tipos de metodologías para el desarrollo de cualquier diseño de ingeniería, el diseño secuencial y el diseño concurrente.

I.2.1 Diseño secuencial y diseño concurrente.

Se le conoce como Diseño Secuencial al Diseño Tradicional, aplicado en diseños no tan complejos; en los cuales puede existir interacción entre diferentes subsistemas, pero no es fundamental o compleja. En el Diseño Secuencial se aplican una serie de procesos individuales que se deben de realizar de manera secuencial (Figura I-16) [32].

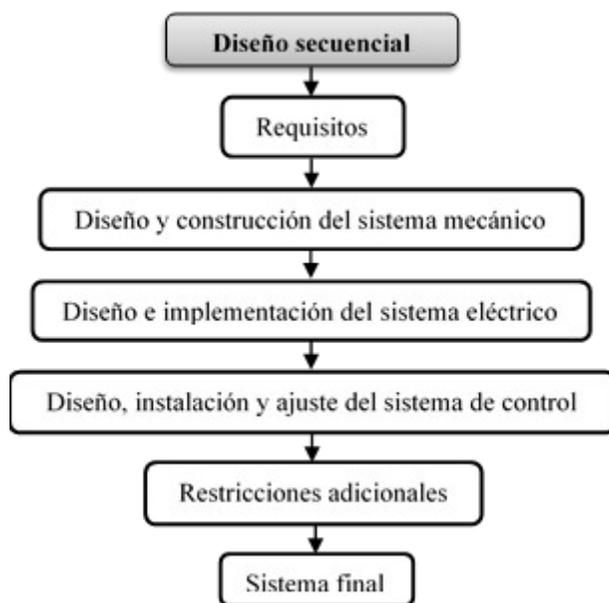


Figura I-16. Etapas del diseño secuencial.

Si en una de las últimas etapas del Diseño Secuencial se observa que no se satisfacen alguno de los requisitos, se realiza un proceso de rediseño para repetir algunas etapas del proceso de manera iterativa hasta conseguir resultados satisfactorios. Sin embargo, existe un inconveniente con el Diseño Secuencial, al tratarse de sistemas complejos en donde existen subsistemas que interactúan constantemente y se logre un funcionamiento óptimo de los subsistemas de forma independiente, difícilmente se logrará con el sistema integral. En otras palabras, el enfoque del diseño tradicional no podrá producir sistemas integrales y complejos que posean un comportamiento óptimo [33].

Por otro lado, el Diseño Concurrente (Figura I-17) se centra en un desarrollo paralelo y a la vez simultáneo de las diferentes etapas que incluye el diseño propuesto. Al tratarse de sistemas complejos en donde sus subsistemas están estrechamente interconectados el diseño concurrente obliga a que desde un principio se tomen en cuenta todos los elementos del producto final. Debido a esto, el Diseño Concurrente ha sido propuesto y seleccionado en innumerables proyectos de la ingeniería mecatrónica y actualmente de la ingeniería automotriz, en donde en el sistema se presenta la necesidad de integrar el diseño, el modelado y el control de los subsistemas que incluye el diseño en un único proceso que se desarrolle conjuntamente [34].

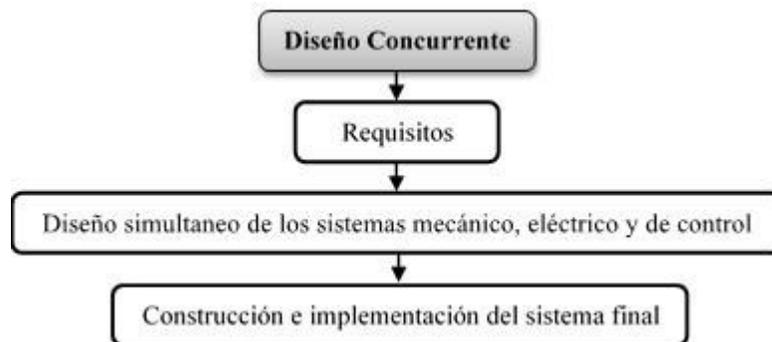


Figura I-17. Etapas del diseño concurrente.

En el Diseño Concurrente existen dos metodologías, conocidas como Recursivo e Integrado. El Diseño Concurrente Recursivo se aplica desarrollo paralelo de los subsistemas y se hace un proceso recursivo para evaluar el desempeño simultáneo de los

subsistemas y finalmente del sistema en general hasta llegar al funcionamiento óptimo que cumpla con los requerimientos previamente establecidos (Figura I-18) [34].



Figura I-18. Metodología del diseño concurrente recursivo.

En la metodología del Diseño Concurrente Integrado (Figura I-19), se consideran los parámetros estructurales, mecánicos y los del controlador, en una sola etapa; logrando así minimizar los cambios en el desempeño del sistema debidos a parámetros de ambiente o no controlables [35].

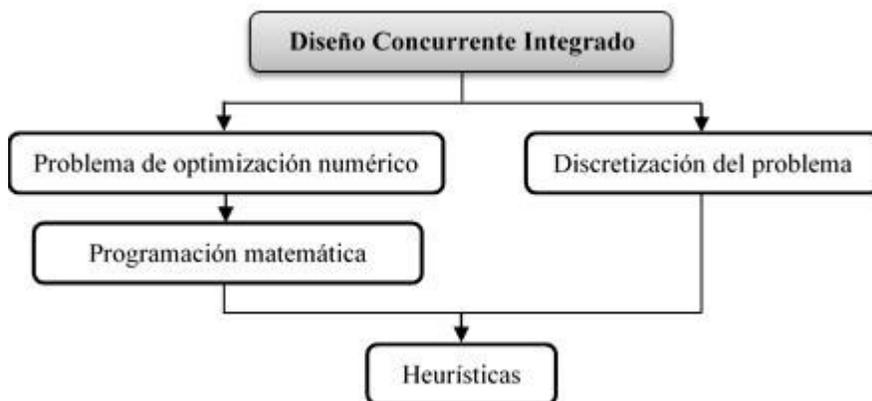


Figura I-19. Metodología del diseño concurrente integrado.

Finalmente, para el desarrollo de este proyecto se empleará la metodología descrita por el Diseño Concurrente Recursivo debido a su naturaleza de integración.

I.2.2 Metodología VDI 2206

La VDI, por sus siglas en alemán *Verein Deutscher Ingenieure*, es una asociación alemana dedicada a la ingeniería y la tecnología; desarrolló una metodología de diseño para el área mecatrónica, gracias al grupo de trabajo reconocido como VDI A126 (Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme). Esta metodología para el diseño mecatrónico está basada en el enfoque concurrente por lo que se esperan productos con más sinergia como resultado [36].

La ingeniería mecatrónica y la ingeniería automotriz comparten la constante interacción que existe entre los subsistemas que conforman al sistema, debido a esto, se dice que existe una sinergia en la integración de sistemas mecánicos, eléctricos y digitales con los sistemas de información para el diseño y manufactura de los productos y/o procesos. Dicha sinergia es generada por una correcta combinación de parámetros, provocando que el producto final sea mejor que la simple suma de las partes del sistema.

Esta metodología se apoya principalmente en tres elementos [36].

- Ciclo general de resolución de problemas a nivel micro.
- Modelo V en el nivel macro.
- Módulos de proceso predefinidos.

Lo más destacado de esta metodología de diseño es su modelo V (Figura I-20). Este modelo ofrece un ciclo de resolución de problemas a nivel macro, en donde una secuencia lógica de los subpasos y/o subsistemas en el desarrollo de los sistemas integrados [36], los que se requieren en la ingeniería automotriz y mecatrónica.

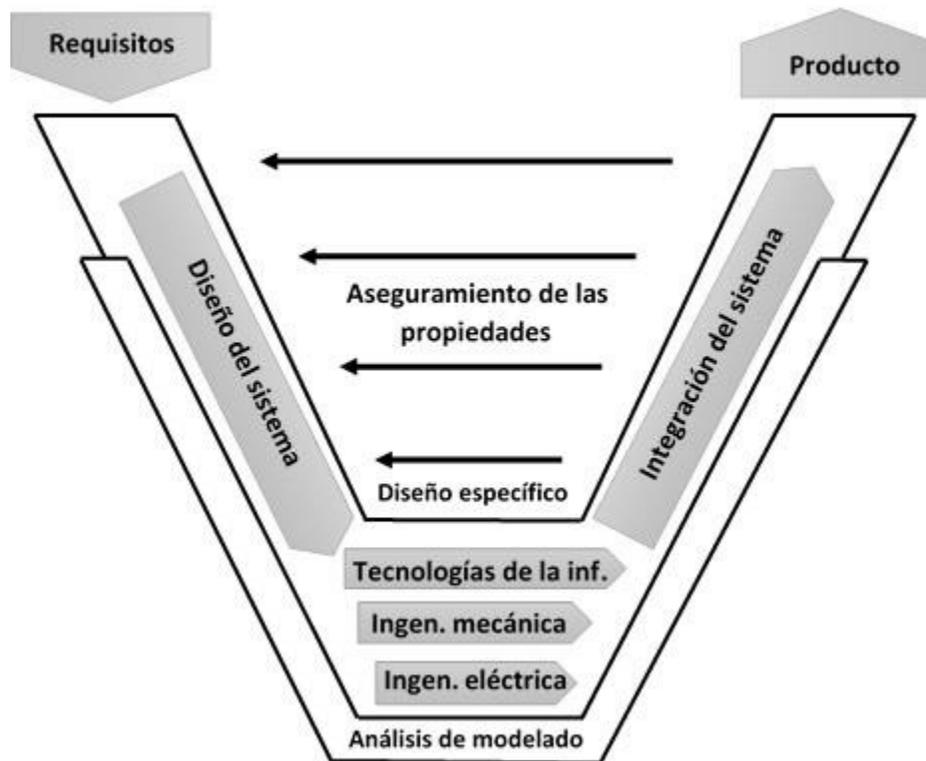


Figura I-20. Modelo V para el diseño concurrente recursivo.

Por otro lado, los módulos de procesos predefinidos se utilizan para el manejo de pasos de trabajo concurrente en el desarrollo del sistema. Estos procesos son los subpasos que se repiten al diseñar sistemas integrales, tomando en cuenta el modelo V. Los principales subpasos son [37].

- Diseño de sistemas.
- Modelado y análisis del modelo.
- Diseño de dominio específico.
- Integración del sistema.
- Validación de propiedades del sistema.

Finalmente, es importante mencionar que esta metodología fue desarrollada para sistemas integrados, como los que se requieren en el área automotriz para el óptimo funcionamiento del automóvil. Además, se debe tener presente de que los productos innovadores son una combinación interdisciplinaria de la ingeniería mecánica, eléctrica y tecnológica [37].

I.3 Planteamiento del problema

Hasta hoy en día, no se han desarrollado sistemas o tecnologías de índole universal (para cualquier vehículo) que estén enfocadas específicamente en asistir al conductor para ponerse en contacto con ayuda externa tras ocurrir un siniestro y que le den la localización en tiempo real del accidente.

En el momento en el que un conductor sufre un accidente el algoritmo básico a seguir, si cuenta con aseguranza y está en condiciones de hacerlo, se basa en buscar los papeles de contrato del seguro, encontrar el número telefónico y llamar para dar aviso del siniestro; una vez que se contacta al seguro se debe de proporcionar el número de registro para que la agencia aseguradora localice los datos personales del conductor y del automóvil. Por otro lado, si no cuenta con seguro debe de realizar por lo menos una llamada para solicitar apoyo. Lo siguiente, para ambos casos, es dar la ubicación de los hechos para que la ayuda externa pueda llegar y realice lo necesario para dar solución al problema.

Dicho algoritmo llega a ser un tanto tardado y confuso para el conductor, y más aún si se trata del primer siniestro que este sufre, además de que, aunque se debe, no siempre se tienen los papeles de contrato del seguro a la mano. Por otro lado, la mayoría de las personas que sufren un accidente automovilístico presentan algún traumatismo, lo que provoca que el algoritmo se complica aún más [38]. Lo anterior es en condiciones favorables, ya que en un siniestro en donde el conductor pierde la conciencia o sufre daños mayores, la ayuda o el apoyo solo podría llegar si alguna persona de alrededor presencio el accidente y decide ayudar solicitando apoyo.

Por otro lado, dentro del sector automotriz tampoco existe algún sistema de sensado que sea capaz de magnificar el impacto; es decir, todos los sistemas para detectar impactos (sistemas *airbag*) están diseñados para un siniestro específico que sea capaz de dañar la integridad física de los ocupantes se activen las bolsas de aire y salvaguarden la vida de los pasajeros. Existen algunos sistemas un poco más complejos y tecnológicos que son instalados en los automóviles catalogados como premium o de lujo (Audi, BMW, Mercedes-Benz, etc.) que son capaces de detectar la zona del impacto y accionar únicamente las bolsas de aire necesarias para salvaguardar la vida de los ocupantes [39].

Sin embargo, en esta índole, dichos sistemas no se han diseñado con la habilidad de detectar la magnitud del impacto; tampoco son capaces de enviar la localización del siniestro a algún apoyo externo en tiempo real del evento.

De lo establecido en los Antecedentes, surge la necesidad de proponer el *Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo*. Este sistema propuesto es capaz de detectar un impacto y magnificarlo (leve, moderado o grave), envía un mensaje de texto preventivo, posteriormente notifica al conductor el tipo de siniestro que sufrió y si desea o no que el sistema se ponga en contacto con algún apoyo a quien mandará la localización de los hechos en tiempo real. Esto con el fin de facilitar al conductor el ponerse en contacto con el apoyo necesario para que llegue a la ubicación del accidente.

I.4 Alcance del Proyecto

El *Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo* pretende dar solución a las dificultades que presenta el conductor para contactar el apoyo necesario cuando ocurre un siniestro, dificultades que van desde buscar los papeles de contrato del seguro hasta que el conductor entre en pánico y/o trauma y le impida actuar de la manera adecuada para pedir apoyo y le proporcione la localización del accidente. Y en el caso extremo, al sentir un siniestro grave, en donde probablemente el conductor pierda la conciencia o sufra algún traumatismo grave, este sistema dará aviso inmediato.

Esto lo logrará gracias al sensado de la desaceleración brusca del cuerpo (vehículo) obtenido de un acelerómetro, esta información será procesada por una tarjeta de desarrollo para que se le pueda cuestionar al conductor y este decida si desea o no que el asistente se ponga en contacto para solicitar apoyo externo. A su vez, el asistente dará el aviso y la localización en tiempo real, la hora y el tipo del siniestro mediante una comunicación inalámbrica con tecnología GPRS.

Finalmente, las pruebas se harán en un entorno controlado con un modelo a escala o una maqueta que emule el vehículo y el siniestro que se simulará.

I.5 Sumario

En el presente capítulo se presentaron los antecedentes de la seguridad vial desde los inicios del automóvil y los primeros accidentes de tránsito registrados, así como los primeros ensayos de prueba de choque realizados en materia de seguridad que fueron los estudios pioneros sobre la seguridad pasiva en el vehículo. Después se mencionaron datos relevantes obtenidos del informe sobre la situación mundial de la seguridad vial en cuanto a cifras y estadísticas de muertos, heridos y accidentes de tránsito a nivel global, seguidamente se expusieron los datos obtenidos del INEGI sobre la situación nacional en accidentes de tránsito.

También se explicó lo que conlleva la seguridad en el vehículo para así poder mencionar los elementos, sistemas y tecnologías que componen la seguridad activa y pasiva, así como su función e importancia. Posterior, se presentó el planteamiento del problema el cual justifica el estudio y desarrollo de dicho trabajo y finalmente, se expuso el alcance del proyecto presentando las condiciones de su desarrollo.

I.6 Referencias

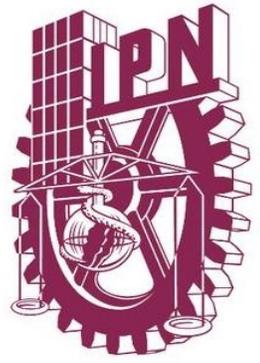
- [1] P. Álvarez y C. Vera, de *Ingeniería del Automóvil Sistemas y Comportamiento Dinámico*, Thomson Ediciones Spain, 2008, pp. 471-477.
- [2] S. Lewis y J. P. Stapp, « Human Tolerance to Aircraft Seat Belt Restraint,» *Journal of Aviation Medicine*, vol. 29, nº 3, pp. 187-196, 1958.
- [3] J. Nunes, P. Moreira y J. Tavares, «Human Motion Analysis And Simulation Tools,» *XX Encontro Português de Computação Gráfica*, pp. 1-6, 2012.
- [4] P. Luque, «Investigación de Accidentes de Tráfico,» de *Estudio del Automóvil*, Universidad de Oviedo, 2003, pp. 2-4.
- [5] D. Álvarez , «Investigación de Accidentes de Tráfico,» de *Manual de Reconstrucción*, Gesbiblio S. L., 2007, pp. 2-4.
- [6] O. Cortes, «Simulación numérica del atropello de peatones con un vehículo tipo sedán en la Ciudad de México,» Tesis de grado, 2015, pp. 2-3.
- [7] World Health Organization, «Global Status Report on Road Safety,» 2018.
- [8] R. Hinojosa y P. Leobard, «Siniestralidad por accidentes de tránsito en México; una aproximación desde el análisis espacial, GESIG-UNLUG,» *Revista Digital del Grupo de Estudio sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica*, ISSN , nº 4, pp. 292-296, 2012.

- [9] World Health Organization, «Department of Violence and Injury Prevention and Disability,» de *Global Status Report on Road Safety*, 2013.
- [10] INEGI, «Accidentes de Tránsito Terrestre,» 2019. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/temas/accidentes/default.html#Informacion_general. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [11] INEGI, «Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas,» 31 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/default.html#Tabulados>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [12] Ó. Barrera Doblado y J. A. Ros Marín, «Sistemas de seguridad en el vehículo,» de *Sistemas de Seguridad y Confortabilidad*, Madrid, Ediciones Paraninfo, SA, 2012, pp. 2-3.
- [13] A. Martí Parera, «Seguridad Activa,» de *Sistemas de Seguridad y Confort en Vehículos Automóviles*, Barcelona, marcambo Boixareu Editores, 2000, pp. 15-16.
- [14] G. Figueroa Flores, «Diseño e implementación de un impactador de miembro inferior aplicado a la seguridad pasiva,» Tesis de grado, 2017, pp. 44-45.
- [15] Frenos Auto Red en Santiago, de *El Buen Estado de los Frenos de su Auto es su Mayor Garantía Mientras Conduce*, Frenos, 2009.
- [16] V. Frenández, Fiat Punto HGT 1.8 16v, km77, 2015.
- [17] «Sistema de suspensión,» de *Sistema de Transmisión de Fuerzas*, Plantilla Awesome Inc, 2014.
- [18] Pneus Online , de *Guía de Adherencia Automóvil*, Alle Rechte vorbehalten Pneus Online Suisse, 2014.
- [19] J. Jiménez, «El sistema de alumbrado del vehículo,» Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.ro-des.com/mecanica/sistema-alumbrado-del-coche-que-es/>. [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [20] M. Arias-Paz, «Estudio General del Automóvil,» de *Manual de Automóviles*, Madrid, Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000 S.L., 2004, pp. 27-33.
- [21] Subaru Technology, «Carrocería Rígida,» *Subaru*, 2015.
- [22] M. Vazquéz, Los Cinturones de Seguridad Aislaron, Dreams time, 2014.
- [23] C. Gonzalez, El ABC de las Bolsas de Aire, Día Como el de Hoy, 2011.
- [24] Camser 2000, *Cristal Automotriz*, 2007.
- [25] BMW España, «Reposacabezas Activos,» *Seguridad Activa*, 2013.
- [26] M. Santillan, «Conoce cómo funciona el sistema OnStar de GM en México,» Autocosmos, 17 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://noticias.autocosmos.com.mx/2013/09/17/conoce-como-funciona-el-sistema-onstar-de-gm-en-mexico>. [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [27] Chevrolet®, «OnStar® El punto exacto entre conexión, inteligencia y protección,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.chevrolet.com.mx/onstar>. [Último acceso: 12 Abril 2020].

- [28] J. Astudillo y E. Delgado, Sistema de localización monitoreo y control vehicular basado en los protocolos GPS/GSM/GPRS., Tesis de grado, 2012.
- [29] G. Henao, Diseño de un equipo de rastreo satelital de elementos usando tecnologías GPS Y GSM., Tesis de grado, 2014.
- [30] C. A. Ayala Albarrán, Á. Cruz Contreras y A. Escamilla Prado, Sistema de monitoreo remoto del habitáculo y posición del vehículo, Tesis de grado, 2016.
- [31] R. L. Norton, Diseño de Máquinas, Practice-Hall, 1999.
- [32] S. J. E., Teoría de máquinas y mecanismos, Mc. Graw Hill, 1996.
- [33] F. a. P. V. d. B. IEEE Paul Sas István Németh Pierre de Fonseca Hendrick Van Brussel, «Towards a Mechatronic Compiler,» *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 6, nº 1, 2001.
- [34] K. Y. T., Modeling, design and control integration: A necessary step in Mechatronics., 1996.
- [35] M. G. Villarreal Cervantes, Diseño integrado robusto de una manipulador de cadena cinemática cerrada., Ciudad de México: PhD thesis, 2010.
- [36] A. Magdy M., «VDI 2206,» *Mechatronics*, 2014.
- [37] A. Carvallo, *El proceso de diseño de ingeniería*, Ciudad de México, 2019.
- [38] Organización Mundial de la Salud, «Informe Mundial sobre Prevención de los Traumatismos causados por el Tránsito,» Ginebra, 2014.
- [39] Hella , «Estructura y Funcionamiento Del Airbag,» Hella Tech World, [En línea]. Available: <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Electricidad-y-electronica-del-automovil/Sistema-airbag-3083/>. [Último acceso: 13 Abril 2020].
- [40] J. Antamba, «Lo que deberías saber del sistema de frenos,» 24 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.seminuevos.com/blog/sistemas-de-frenos/?pais=>. [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [41] P. Ibáñez, «Seguridad Activa: una dirección asistida demasiado blanda puede ser contraproducente,» 14 Junio 2014. [En línea]. Available: <https://www.circulaseguro.com/una-direccion-asistida-demasiado-blanda-puede-ser-contraproducente/>. [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [42] A. Cheryl Cruz, «5 Warning Signs of Car Suspension Problems,» 27 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.carmudi.com.ph/journal/5-warning-signs-of-suspension-problems/>. [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [43] D. Alvarado Palomino, «Diferencia entre chasis y carrocería,» 31 Julio 2015. [En línea]. Available: <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/diferencia-entre-chasis-y-carroceria.html>. [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [44] C. Rodríguez Vidondo, «¿Qué se debe revisar del cinturón de seguridad para su correcto funcionamiento?,» 22 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.circulaseguro.com/que-se-debe-revisar-del-cinturon-de-seguridad-para-su-correcto-funcionamiento/>. [Último acceso: 12 Abril 2020].

- [45] P. Meister, «Is AirBag Really Necessary For Car Safety?,» Car From Japan, 23 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://carfromjapan.com/article/industry-knowledge/the-extremely-importance-of-air-bag/>. [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [46] Galecsa Autocristales, «Especialistas en parabrisas y cristales automotrices,» Sitioadn, 2020. [En línea]. Available: <https://www.autocristalesgalecsa.com/>. [Último acceso: 12 Abril 2020].

Capítulo II



II. Marco Teórico

En este capítulo se mencionan temas relacionados con la seguridad vial: organismos de control globales y nacionales, prevención de accidentes de tránsito, los tipos de colisión que generalmente se presentan, gran parte de la mecánica que existe detrás de un siniestro vial y el valor HIC. También se presentan los sensores de impacto más usados por la industria automotriz para detectar siniestros y finalmente, se explican las tecnologías usadas para el desarrollo de este proyecto.

En este capítulo se mencionan temas relacionados con la seguridad vial: organismos de control globales y nacionales, prevención de accidentes de tránsito, los tipos de colisión que generalmente se presentan, gran parte de la mecánica que existe detrás de un siniestro vial y el valor HIC. También se presentan los sensores de impacto más usados por la industria automotriz para detectar siniestros y finalmente, se explican las tecnologías usadas para el desarrollo de este proyecto.

Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo



II.1 El vehículo

La Ley de Seguridad Vial define al vehículo como “automóvil de motor que sirve normalmente para el transporte de personas o cosas, o de ambas a la vez, o para la tracción de otros vehículos con igual fin.”. Se desprende de la definición que son automóviles los vehículos que se mueven exclusivamente por sí mismos, sin otra dependencia del exterior y que circulan sin raíles (trenes o tranvías) [1].

Los vehículos se pueden clasificar de diferentes maneras, pero la más común y de fácil distinción es según el aspecto exterior de la carrocería [1], la Tabla II-1 muestra este tipo clasificación con una breve definición y una imagen ilustrativa.

Tabla II-1. Clasificación de automóviles terrestres.

Clasificación de automóviles terrestres por su carrocería		
Nombre	Descripción	Imagen
Sedán o berlina (VW Jetta)	Automóvil cuya carrocería está totalmente recubierta por un techo rígido, con cuatro o cinco plazas. Llevan dos puertas a cada lado y cuatro o seis ventanas laterales.	
Coupé (Honda Civic)	Automóvil de carrocería cubierta con techo rígido, con dos plazas y sólo dos puertas.	
Cabriolet (Audi A5)	Automóvil con dos puertas, de dos a cuatro plazas y con capota plegable.	

<p>Hatchback (VW Golf)</p>	<p>Automóvil que consiste en una cabina con maletero integrado, al cual se tiene acceso mediante una puerta trasera. Puede ser de 3 o de 5 puertas y de 2 a 5 espacios.</p>	
<p>SUV Sport Utility Vehicle (VW Touareg)</p>	<p>Automóvil todocamino o vehículo todoterreno ligero. Combina elementos de automóviles todoterreno y de automóviles de turismo. Es construido sobre la base de un pick up.</p>	
<p>Crossover (Honda HR-V)</p>	<p>Automóvil construido sobre la base de un <u>automóvil</u> y que cuenta con las prestaciones de los tradicionales de un SUV.</p>	
<p>Pick up (Ford Lobo)</p>	<p>Automóvil tipo camión pequeño en donde la cabina está separada de una caja de carga. Puede acomodar a 3 o hasta a 5 pasajeros.</p>	
<p>Van o Furgoneta (Fiat Ducato)</p>	<p>Vehículo monoplaza utilizado para transportar <u>bienes</u> o grupos de personas. Tiene en la parte posterior una zona de carga de forma ortogonal y techada.</p>	
<p>Mini Van (Honda Odyssey)</p>	<p>Automóvil con las características de un tipo VAN pero más pequeño y de uso familiar.</p>	
<p>Deportivo (Ford GT)</p>	<p>Automóvil de altas prestaciones diseñado para ser conducido a altas velocidades en vías públicas. Poseen 2 ó 4 plazas y 2 ó 4 puertas laterales.</p>	

<p>Camión (Nissan NP-300)</p>	<p>Automóviles de uso pesado utilizados para el transporte de diversas mercancías o de pasajeros.</p>	
<p>Todo terreno (Jeep Rubicon)</p>	<p>Automóvil 4x4 de utilización mixta, sobre asfalto y campo, con techo rígido o desmontable y de cuatro o cinco plazas.</p>	
<p>Micro car (MB Smart)</p>	<p>Automóvil especialmente pequeño que por lo regular sólo tiene una puerta lateral y cuenta con dos plazas. Ideal para ciudades y trayectos cortos.</p>	
<p>Autobus (MB Boxer)</p>	<p>Automóvil especialmente diseñado para el transporte de pasajeros (20 o más). Existen para el transporte urbano dentro de la misma ciudad y para el transporte foráneo.</p>	

II.2 Organismos de control de seguridad vial

El Programa de Evaluación de Autos Nuevos Global (Global NCAP) por sus siglas en inglés *The Global New Car Assessment Programme* tiene como objetivo la promoción de la seguridad y la salud públicas, para la protección y preservación de la vida humana y para la conservación, protección y mejora del medio ambiente físico y natural, en particular, por [2].

- La promoción y la realización de investigaciones independientes y probar programas que evaluarán la seguridad y las características ambientales de los vehículos de motor y su rendimiento comparativo y la difusión de los resultados al público.

- Promover el desarrollo de programas de evaluación de nuevos coches, proporcionando apoyo financiero y asistencia técnica, y facilitar la cooperación internacional con y entre dichos programas.

Global NCAP fiduciarios han adoptado la siguiente declaración de la misión:

Global NCAP tiene como objetivo apoyar el desarrollo de nuevos programas de pruebas de choque de los consumidores en los mercados emergentes, donde el crecimiento del vehículo es fuerte, pero independiente de la información al consumidor sobre el comportamiento al choque con frecuencia no es fácil de conseguir.

Para lograr este *NCAP Global* ofrecerá apoyo a los Programas de Evaluación de Autos Nuevos (NCAPs) en las economías emergentes y regiones, ofreciendo orientación soporte técnico y garantía de calidad.

Global NCAP también proporcionará una plataforma de cooperación para *NCAPs* y al igual que organizaciones de todo el mundo para compartir las mejores prácticas, para intercambiar más información, y para promover el uso de la información al consumidor para fomentar la fabricación de vehículos más seguros en todo el mercado mundial del automóvil.

Global NCAP llevará a cabo la investigación sobre las innovaciones en tecnologías de seguridad de los vehículos, su aplicación en los mercados globales, la gama de políticas que acelerarán su uso y monitorear el progreso de la seguridad de los vehículos en todo el mundo.

Global NCAP también desarrollará un esquema global de premios para reconocer los logros en la seguridad del vehículo, la innovación en las tecnologías relacionadas con la seguridad, y los productos.

Global NCAP tiene estatuto consultivo ante las Naciones Unidas (ECOSOC), es un miembro de la Colaboración para la Seguridad Vial de la ONU, y es compatible con la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020.

II.2.1 Euro NCAP

Es un organismo independiente formada por fabricantes europeos. En noviembre del 1996 se unieron al programa las dos primeras asociaciones, la FIA (Federación Internacional de Automovilismo) y la SNRA (Swedish National Road Administration). Con esta unión, se formó la Euro NCAP e hicieron el discurso inaugural en diciembre del 1996. En 1998, Euro NCAP consiguió el estatus legal cuando se convirtió en asociación internacional bajo la ley belga. La Euro NCAP, afincado en Bruselas, es el programa europeo de referencia, y realiza constantes oleadas de *crash test* según el tamaño de los vehículos probados; utilitarios, berlinas, grandes berlinas y coches de lujo. Su finalidad es comprobar la seguridad pasiva de los coches, mediante diversas pruebas de choque normalizadas en las que se analizan los daños en los maniqués instalados en el interior del coche [3].

La Euro NCAP realiza diversas pruebas de choque normalizadas siendo choque frontal, impacto lateral, atropello y test del poste. Las valoraciones de los daños se hacen en cinco niveles; Bueno, Adecuado, Suficiente, Débil y Pobre. Cada uno de los elementos antes indicados se valora según esta escala y al resultado global se le asocia un porcentaje. El 100% corresponde a un nivel bueno en todos los apartados. Los porcentajes obtenidos en la combinación de los choques frontal y lateral, junto al de atropello y al test de poste, teniendo en cuenta la protección infantil en cada prueba, dan un resultado global que se valora en estrellas. Actualmente, el máximo posible es de cinco estrellas [3].

II.2.2 NHTSA

La Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras por sus siglas en inglés NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) es una agencia dependiente del gobierno de los Estados Unidos fundada en 1970. Promueve la fabricación de coches más seguros para sus ocupantes. NHTSA realiza pruebas de seguridad pasiva en vehículos nuevos entregando una clasificación en estrellas basada en el comportamiento del vehículo en pruebas de impacto frontal y lateral. En los últimos años se ha incorporado una prueba de vuelco ante un accidente la que también se mide en estrellas [4].

II.2.3 IIHS

El Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras por sus siglas en inglés IIHS (*Insurance Institute for Highway Safety*) es una organización científica y educacional independiente, sin fines de lucro dedicada a disminuir las pérdidas (muertes, heridas y daños materiales) en accidentes en los Estados Unidos. Fue fundada en 1969 por William Haddon obteniendo financiamiento de las compañías aseguradoras de automóviles. Una organización afiliada es el Instituto de Datos de Pérdidas en la Carretera (HLDI, *Highway Loss Data Institute*) cuya misión es la de reunir, computar y publicar los accidentes reportados a las compañías de seguros y al IIHS. Este último, realiza sus mediciones a través de datos estadísticos y de pruebas de seguridad pasiva en autos nuevos entregando una clasificación (buena, aceptable, marginal y pobre) en sus mediciones [5].

- La prueba de impacto frontal tipo off set se realiza a 64 km/h (40 mph) contra una barrera.
- La prueba de impacto lateral tipo estándar es relativamente reciente y se realiza a 40 km/h (31 mph) contra una barrera móvil deformable.
- La IIHS no realiza pruebas orientadas a medir la seguridad de niños a bordo ni de peatones en caso de atropello, pero sí resistencia de parachoques a golpes a 8 km/h (5 mph).

II.2.4 ANCAP

El Programa de Evaluación de Autos Nuevos de Australasia por sus siglas en inglés ANCAP (*Australasian New Car Assessment Program*) es el principal líder independiente de seguridad de los vehículos de Australasia. ANCAP ofrece a los consumidores consejos y la información sobre el nivel de protección de los ocupantes y peatones que proporcionan los distintos modelos de vehículos de los tipos más comunes de accidentes, así como su capacidad a través de la tecnología para evitar un choque. Desde 1993, ANCAP ha publicado los resultados de pruebas de choque para más de 500 vehículos comerciales de pasajeros y ligeros vendidos en Australia y Nueva Zelanda.

Los vehículos se otorgan una calificación de seguridad de ANCAP de entre 1 a 5 estrellas que indican el nivel de seguridad que ofrecen en caso de un accidente. Cuantas más estrellas obtengan, mejor será el vehículo realizado en las pruebas de ANCAP. Para lograr la máxima calificación de seguridad de ANCAP de 5 estrellas, un vehículo debe alcanzar los más altos estándares en todas las pruebas y características avanzadas de la SAT (Seguridad de las Tecnologías de Asistencia) [6].

II.2.5 Latin NCAP

El Programa de Evaluación de Vehículos Nuevos para América Latina y el Caribe (Latin NCAP) brinda a los consumidores información independiente y transparente acerca de los niveles de seguridad que ofrecen los diferentes modelos de vehículos del mercado. Este NCAP basa sus pruebas en métodos internacionalmente reconocidos y califica entre 0 y 5 estrellas la protección que brindan los vehículos para ocupante adulto y para ocupantes niños. Latin NCAP comenzó en el año 2010 como una iniciativa y en 2014 fue establecida como una asociación bajo el marco de una entidad legal. Latin NCAP evalúa la versión más básica en seguridad de los modelos disponibles en el mercado [7].

II.3 Prevención de accidentes de tránsito

Tres son los factores (hombre, vehículo y vía) que se relacionan entre sí en la circulación; siendo todos ellos importantes, pero es el hombre en definitiva el único que tiene capacidad de decisión para adaptar su conducción a las circunstancias que envuelvan a la misma [1].

El accidente automovilístico es uno de los fenómenos más complejos de prever que existen. Ello es debido a que en un accidente intervienen muchos (demasiados) factores: las velocidades de los vehículos implicados, las trayectorias de incidencia, la posición de los ocupantes, el proceso de deformación de las carrocerías, las particularidades propias de cada vehículo (composición, rugosidad, estado, etc.), pequeños factores de azar (manchas de aceite, árboles, piedras sueltas, etc.) y otros impredecibles. Aún así, los fabricantes de vehículos dedican grandes esfuerzos a preparar sus vehículos ante la posibilidad que tengan accidentes [8].

II.3.1 Antecedentes

La prevención de accidentes de tránsito no es algo nuevo, desde los inicios del transporte, las personas responsables de la seguridad en las vías han establecido normas que permitan el tránsito seguro y libre de riesgos. En la era de los coches de vapor en 1861, en Inglaterra, fue promulgada *la Red Flag Act* (Ley de la Bandera Roja, que permaneció vigente durante un lustro). Según dicha ley, se prohibía a los automóviles circular a más de 3 km/h por el interior de las poblaciones y a más de 6 km/h fuera de ellas. Además, debían ir precedidos de un peatón que agitase una bandera roja y una linterna en la noche [9].

Pasaron varios años y un número muy grande de accidentes fatales para que se planteara los accidentes de tránsito como un problema a gran escala, considerados como una nueva epidemia que a diferencia de las enfermedades causadas por agentes extraños (bacterias, virus) al hombre. Ésta es causada por el hombre mismo y es hasta los años 1957 que se lleva a cabo el primer congreso internacional de policía de tráfico en Eindhoven, Países Bajos. Donde se discutieron diversas medidas y se hicieron recomendaciones relativas a la seguridad del tráfico, particularmente para los usuarios de la vía pública y sobre todo de los niños [10].

Los primeros acontecimientos fatales fueron considerados como un hecho accidental hasta que William Haddon, se hizo cargo de la *National Highway Traffic Safety Administration*. Él abordó el fenómeno desde la perspectiva de la salud pública y fue el autor de *Accident Research* en 1964, donde planteó el estudio en matriz, considerando las circunstancias de la máquina, de las personas y el entorno, todo antes, durante y después de la colisión. A partir de sus propuestas generó las primeras medidas preventivas, desarrolló la seguridad y demostró que los accidentes se podían evitar [11].

El primer modelo de causalidad de los accidentes, también conocido como la teoría del dominó fue desarrollado por Heinrich en 1941. Implica la progresión lineal uno a uno de acontecimientos que condujeron al accidente [12]. El estudio realizado por Panagiota Katsakiori en el 2009 [13] hace una clasificación de los modelos de causalidad de los accidentes en tres grupos:

- El primero fue el modelo secuencial de accidentes un término utilizado por Hollnagel en el 2002. Describen el accidente como una secuencia de acontecimientos en un orden específico. Por ejemplo, la teoría del dominó.
- El segundo grupo es el modelo de accidente bajo procesamiento humano de la información. Un término también utilizado por Lehto y Salvendy en 1991. Describen el accidente en términos del comportamiento y acciones humanas. Por ejemplo, SRK de Rasmussen, CREAM de Hollnagel y el modelo de Hale y Glendon.
- El tercero es modelo de accidente sistémico, un término utilizado por Hollnagel en el 2002. Como el modelo de Reason que incluyen los factores de organización y gestión. Así como, describe el desempeño de todo el sistema.

A continuación, se describen algunos de los modelos más utilizados en la actualidad de causalidad de accidentes [14]:

- Árbol de análisis de errores FTA (*Fault tree analysis*). - Se desarrolló en la década de 1960 por los Laboratorios Bell. En el FTA un evento no deseado (un accidente) es seleccionado y todos los factores posibles que pueden contribuir a este evento son diagramados como un árbol con el fin de mostrar las conexiones lógicas y las principales causas de un accidente determinado.
- Supervisión de la gestión y árboles de riesgo MORT (*Management oversight and risk tree*). - Johnson desarrolló MORT en 1973 para la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos. El diagrama MORT es un árbol de lógica (el accidente es el evento más importante) con tres ramas principales; S-factores (los descuidos y omisiones específicos relacionados con el accidente investigado), R-factores (los riesgos asumidos, los cuales son los riesgos conocidos, pero por alguna razón no controlados), M-factores (que son las características generales del sistema de gestión que han contribuido al accidente).

- La secuencia de eventos multilineal MES (*Multilinear events sequencing*). - Ludwig Benner desarrolló MES a mediados de 1970. MES es una técnica de gráficos, que muestra cronológicamente acontecimientos ordenados en función de una línea de tiempo. Se basa en la idea de que un accidente comienza cuando una situación estable se altera. Una serie de acontecimientos puede conducir a un accidente. El método distingue entre los actores, acciones y eventos. Los actores pueden ser personas, equipos, sustancias, mientras que las acciones son cualquier cosa llevó a cabo por un actor. Los eventos son una combinación única de un actor, más una acción.
- Técnica de análisis sistemático de las causas SCAT (*Systematic Cause Analysis Technique*). - El Instituto Internacional de Control de Pérdidas (ILCI) desarrolló SCAT a finales de 1980, tiene sus raíces en la teoría del dominó de Heinrich en 1941 y su versión actualizada por Bird en 1974. SCAT se presenta como un gráfico que contiene cinco bloques que corresponden a cinco etapas en el proceso de causalidad de los accidentes. El primer bloque contiene espacio para escribir la descripción del accidente. El segundo bloque se enumeran las categorías más comunes de contacto que podría haber dado lugar al accidente. En el tercer bloque se enumeran las causas inmediatas más comunes de este contacto, mientras que en el cuarto bloque se identifican las causas subyacentes. En el último bloque las listas de prácticas de gestión de seguridad que se deben abordar para evitar que ocurran accidentes.

II.3.2 Situación actual

Muchos de los sistemas de seguridad han sido introducidos recientemente en el mercado. En este sentido, existe mucho que agradecer a las evaluaciones de choque tipo Euro NCAP, ya que ha logrado que algunos dispositivos antes considerados un lujo, como el airbag o el ABS, se hayan convertido en un equipamiento de serie para la mejora de la seguridad. Del mismo modo, se está ya solicitando que otros dispositivos cuya efectividad para evitar accidentes y muertes ha sido demostrada se incluya en todos los vehículos. Este el caso del control de la estabilidad ESP [15].

Un estudio realizado por la GDV (Asociación Alemana de Aseguradoras) demuestra que aproximadamente el 25 % de los accidentes de tráfico que provocan lesiones graves se deben a que el vehículo ha patinado. Según este estudio, este porcentaje podría reducirse considerablemente si todos los vehículos tuvieran ESP. Por ejemplo, el uso combinado del sistema de control de estabilidad (ABS) y del control de deslizamiento lateral (ESP) ha permitido reducir en un 20 % los accidentes mortales en la Unión Europea, pasando de 50 000 víctimas mortales al año a 40 000 en los últimos diez años. En concreto en España, según datos de la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) [16] de los coches comercializados en el 2005, sólo un 48.7 % tienen de serie el sistema ESP (Tabla II-2).

Tabla II-2. Sistemas de seguridad comercializados en vehículos en 1995 y 2005 [16].

Sistemas	Año 1995	Año 2005
ABS	48.5 %	100 %
Airbag conductor	53.6 %	100 %
Airbag pasajero	21.8 %	96 %
Airbag lateral	-	77 %
ESP	-	48.7 %

En el mismo ámbito, algunos vehículos actuales cuentan con diferentes sistemas y tecnologías en materia de seguridad, que al igual que el sistema ESP, se busca que sean incluidos en todos los vehículos. Dichos elementos son los siguientes [8]:

- *Amortiguadores de impacto*, se instalan en el motor y en los paragolpes para disminuir la violencia del impacto y para guiar los elementos de más inercia (por ejemplo, el motor) hacia lugares no peligrosos para los ocupantes.
- *Diseño y elección de materiales*, exigen un especial cuidado para que el vehículo no contenga aristas, picos o bordes que puedan producir lesiones a los ocupantes propios o externos.

- *Habitáculos seguros*, contienen elementos indeformables que en conjunción con otros deformables consiguen proteger a los ocupantes.
- *Elementos eléctricos de seguridad pasiva*, son elementos o sistemas más complejos como el ya mencionado ESP, el control de tracción, los arcos antivuelco activos, etc.). Incluso existen vehículos en los que se instalan *detectores de presencia de los ocupantes y de cierre de cinturones* para establecer la mejor estrategia de protección ante un accidente.
- *Columna de dirección fraccionada*, en lugar de un eje rígido de antaño, las columnas de dirección están formadas por dos mitades que van unidas por la interposición de diferentes tipos de juntas-uniión. Sin mermar la rigidez del eje, estas juntas permiten que éste acorte su longitud en caso de impacto y el encuentro con el tórax del conductor sea menos violento [17].

II.4 Tipos de siniestros

Existe una amplia variedad de daños en las colisiones de vehículos, las que dependerán de la forma y de las zonas que coincidan en el contacto, para ello se elabora una clasificación general de los diferentes tipos de colisión [18]. Dichos tipos de colisión se muestran a continuación [19].

II.4.1 Impacto frontal

Se conoce como una colisión con un cuerpo de frente al vehículo, sustancialmente reduce su velocidad. El ocupante que se encuentra en el automóvil al no llevar cinturón de seguridad seguirá su viaje hacia adelante (primera ley de Newton), hasta que alguna parte del compartimiento en donde se encuentra el pasajero lo detenga o disminuya la velocidad del ocupante, existe la posibilidad de que sea expulsado del vehículo. Durante el choque, el primer punto inicial de impacto, las rodillas o los pies los cuales reciben el intercambio de energía. La inclinación hacia delante del tronco sobre las extremidades puede causar las lesiones siguientes: luxación posterior del acetábulo cuando la pelvis choca a la cabeza del fémur, luxación de la rodilla cuando el fémur sobrepasa la tibia y el peroné, fractura-luxación del tobillo y fractura de fémur.

De igual forma si el movimiento es hacia abajo, es una rotación hacia adelante del torso sobre la columna (Figura II-1). La posición del paciente y el diseño del asiento es de la manera que la cabeza apunta como un misil humano, contra el marco o el parabrisas. La energía inicial es absorbida por la columna cervical, mientras que el tórax y el abdomen chocan con los objetos que se tienen de frente.



Figura II-1. Simulación de impacto frontal [19].

II.4.2 Impacto lateral

Es definido como el choque contra el lado del vehículo que despierta al ocupante lejos del punto de impacto (aceleración como oposición a la desaceleración). Las lesiones son similares a las de la colisión frontal, también ocurren lesiones por compresión del tórax y la pelvis. Las lesiones internas se relacionan con la posición del ocupante y las fuerzas de impacto. Cuando el automóvil es golpeado del lado del conductor, el ocupante tiene mayor riesgo de lesión del lado izquierdo, fracturas costales izquierdas, lesión esplénica y fracturas óseas izquierdas, incluyendo la pelvis. Cuando el golpe es del lado derecho del vehículo, el ocupante tiene similares lesiones al del lado contrario, particularmente con el riesgo mayor de lesión hepática.

En impactos como este, la cabeza funciona como una gran masa que rota y que se dobla lateralmente a la altura del cuello y tórax (Figura II.2), este es empujado en dirección de la fuerza de colisión.



Figura II-2. Simulación de impacto lateral [19].

II.4.3 Impacto posterior

Frecuentemente este tipo de impacto ocurre cuando un vehículo está detenido completamente y es golpeado por la parte de atrás por el otro vehículo. El vehículo y el ocupante reciben la energía del vehículo que lo está golpeando, en la parte posterior. Debido al diseño del asiento, el tórax naturalmente es acelerado hacia adelante, así como el automóvil. La cabeza del ocupante frecuentemente no es acelerada con el resto del cuerpo y el cuello se extiende hacia atrás especialmente si él apoya cabezas no existe o no está bien colocado. El estiramiento extiende las estructuras que soportan el cuello, produciendo una lesión cervical. Esta lesión también puede suceder en un impacto frontal, cuando existe un vehículo en frente que originalmente fue golpeado por atrás.

II.4.4 Vuelco

El ocupante al no llevar el cinturón de seguridad puede golpear contra cualquier parte del compartimiento del pasajero dentro del vehículo. Las lesiones se conocen debido al punto de impacto sobre la piel del ocupante. Naturalmente este tipo de colisión produce lesiones severas debido a que los movimientos que ocurren durante el vuelco son más violentos y múltiples (Figura II-3).



Figura II-3. Colisión tipo vuelco [19].

II.5 Influencia de la velocidad en los siniestros automovilísticos

La alta velocidad en el transporte contribuye al desarrollo económico de los países, lo que ayuda a mejorar la calidad general de vida, también tiene efectos diferentes: básicamente en términos de accidentes de carretera (con efectos materiales, de heridos y mortales), incluso en términos de medio ambiente, el ruido y la emisión de gases de combustión, así como en términos de habitabilidad de zonas urbanas y residenciales. Los avances en el último siglo, en materia de infraestructura carretera, vehículos motorizados, y transporte vial, han contribuido a la disminución del tiempo en traslados; colaborando de manera satisfactoria al desarrollo de las economías nacionales y facilitando el acceso a los servicios, bienes e instalaciones como hospitales, centros comerciales, entre otros. Lo que permite ampliar las oportunidades de empleo, vivienda etc., mejorando visiblemente la calidad de vida de los ciudadanos [20].

La velocidad también tiene consecuencias negativas, principalmente en términos de medio ambiente y de seguridad vial, encaminando efectos negativos en la habitabilidad de zonas urbanas y residenciales. El exceso de velocidad (conducir por arriba de los límites de velocidad), y velocidad inadecuada (conducir demasiado rápido en condiciones concretas, pero dentro de los límites) son el principal problema de seguridad vial que aporta un tercio de los accidentes mortales. De acuerdo con los principios de la energía cinética, las fuerzas que deben absorber los pasajeros del vehículo en caso de accidente aumentan drásticamente al aumentar la velocidad de impacto. El exceso de velocidad es un problema que aqueja a toda la red vial (autopista, carreteras locales, vías urbanas), frecuentemente en cualquier momento, el 50 % de los conductores supera los límites de velocidad [20].

Diferentes investigadores han demostrado la relación que existe entre accidentes con heridas graves, mortales y la velocidad. El modelo conocido como “*power model*” de Nilsson muestra las relaciones entre los cambios de velocidad en los accidentes mortales, en accidentes con heridos y accidentes con graves resultados. En este, se observa aumento aproximado del 10 % de los accidentes con heridos y del 20% de los accidentes mortales debido al aumento del 5% en la velocidad media. En cuanto a los efectos positivos de la reducción de la velocidad del vehículo, se observa una reducción aproximada del 10% de los accidentes con heridos y el 20 % de los accidentes mortales, con la reducción del 5% en la velocidad media (Figura II-4).

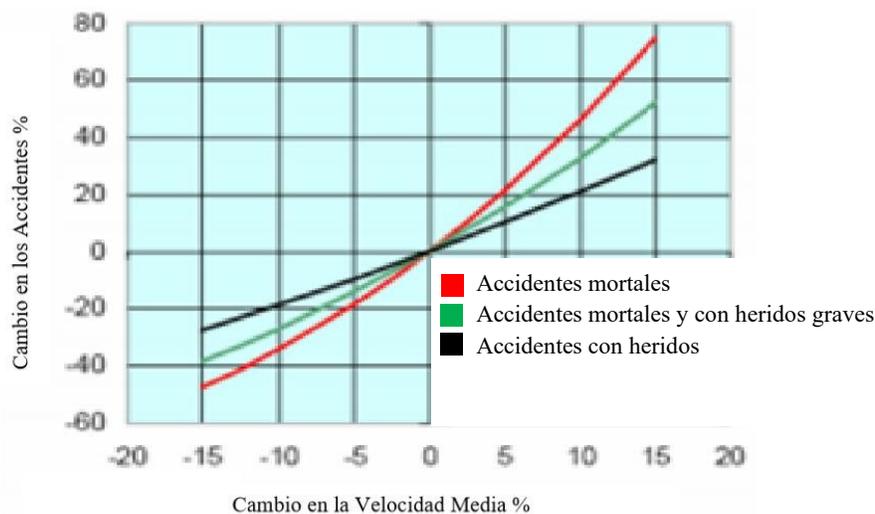


Figura II-4. Relaciones de los efectos de la velocidad (*Power Model*).

En un siniestro vial, el exceso de velocidad no es la causa decisiva en el periodo de impacto del vehículo, pero la gravedad de las lesiones está estrechamente relacionada con la velocidad del automóvil. Los efectos se basan en las reglas de la física referentes al cambio en la energía cinética liberada en un accidente, la energía absorbida y liberada depende de la velocidad del impacto, en donde la mayor energía cinética es absorbida por el oponente de menor peso (el usuario vulnerable). Se conoce que durante el cambio en la velocidad de impacto la probabilidad de resultar herido de gravedad en una colisión aumenta significativamente [21].

Según la OMS, un vehículo perfectamente diseñado, en donde los ocupantes llevan el cinturón de seguridad puesto, protege a una velocidad máxima de 70 km/h en impactos frontales y en impactos laterales con una rapidez de aproximadamente 50 km/h (excluyendo impactos con objetos como árboles, postes, donde la protección solo resulta efectiva a velocidades máximas más bajas) [22]. Si el vehículo es impactado por la parte de atrás, pueden darse traumatismos cervicales y daños prolongados con velocidad de impacto de aproximadamente 15 a 20 km/h [23].

II.6 Mecánica del impacto [24]

La mecánica es la ciencia que estudia el movimiento de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas participantes, cuando se lleva a cabo una colisión, existe un intercambio de energía que obedece a las leyes de la física, en lo que se refiere a los principios del movimiento. Se le considera movimiento al cambio de posición de un cuerpo en el espacio debido a una fuerza. De acuerdo con la primera ley de Newton, todo cuerpo continuará en su estado de reposo o movimiento uniforme a menos que sea obligado a cambiar ese estado, debido a fuerzas que actúan sobre él. Se le conoce como fuerza a todo aquello que es capaz de deformar un cuerpo o de modificar su estado de reposo o movimiento.

Cuando las personas se desplazan en un vehículo y existe un impacto frontal, un frenado o una arrancada brusca, los ocupantes tienden a desplazarse hacia adelante o atrás (Figura II-5). Esto es debido a la inercia o incapacidad de los cuerpos para salir de su estado actual (reposo o movimiento); el centro de inercia es el mismo que su centro de masa.

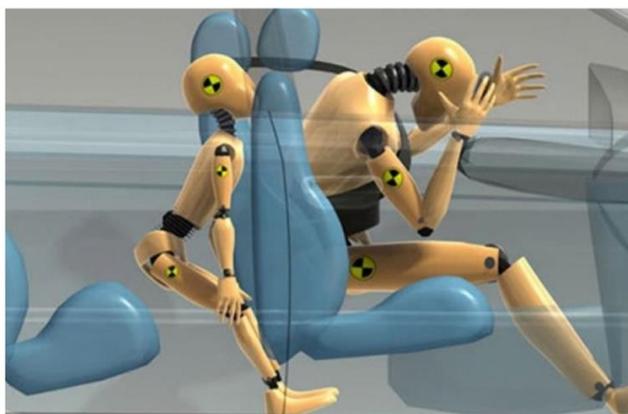


Figura II-5. Desplazamiento de los ocupantes.

La energía liberada en un accidente automovilístico, la determina la velocidad, junto al peso del o los vehículos involucrados en el suceso. Son factores que enlazan el potencial dañino, y el efecto perjudicial del impacto en la estructura orgánica. Lo que se comprende como:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{II.1})$$

Donde:

(E_c) = Energía cinética del cuerpo.

(m) = La masa del cuerpo.

(v^2) = el cuadrado de la velocidad.

La ecuación permite conocer y calcular la energía ligada a un cuerpo en movimiento, concretamente la energía que se genera en el momento la colisión. De este modo la energía cinética de un objeto en movimiento depende de la velocidad en forma logarítmica (la velocidad cuadruplica la energía cinética) y el peso del objeto en forma lineal. La velocidad y el peso del vehículo o vehículos que intervienen en el accidente determinan la energía liberada en el impacto.

La energía que se genera en el impacto se rige por el principio de la conservación de la energía, segunda ley de Newton, la cual establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. En el accidente, esa energía se transforma en la deformación del vehículo, calor etc., también se ha de manifestar en forma de las lesiones que se producen en los ocupantes. Sin embargo, las lesiones que se producen en los impactos están vinculadas a otros factores, por ejemplo: magnitud del impacto, la duración, volumen, masa, geometría y el tipo de la estructura de los impactantes; forma y grado de la absorción de la energía cinética, resistencia al choque (deformación de materiales) y el grado de compatibilidad con el impactante y el impactado.

La mecánica del impacto también permite determinar la variación brusca de las velocidades de ambos cuerpos en el momento del choque.

En las interacciones es posible despreciar la acción de todas las fuerzas restantes debido a la aparición de fuerzas de magnitud mayores. La variación de las fuerzas de choque con respecto al tiempo, se originan de manera que al principio la fuerza obtiene su valor máximo y después disminuye hasta cero. El valor máximo puede ser muy grande. El impulso de choque es la medida fundamental en la interacción del choque. Durante el tiempo el choque varía. El impulso de choque es igual a la variación de la cantidad de movimiento del cuerpo, la variación es directamente proporcional al impulso de choque e inversamente proporcional a la masa del cuerpo. En el choque la sucesión de fenómenos mecánicos es la siguiente: primero, se genera la deformación de los cuerpos, en el cual la energía cinética del movimiento se convierte en energía potencial de la deformación elástica, a continuación, la energía potencial se transforma nuevamente en energía cinética [19]. Lo cual se distinguen tres tipos de choque:

- Choque completamente elástico: es el choque ideal, toda la energía mecánica se conserva, en la colisión una parte de esa energía se transforma en calor.
- Choques inelásticos. En este la energía de deformación se transforma en calor.
- Choque no completamente elástico. Solo una parte de la energía de deformación se convierte en energía cinética de movimiento.

A los resultados que se obtienen mediante un choque mecánico se conocen como biomecánica de las acciones de choque [19].

- 1) El impulso: es el movimiento que precede al movimiento de choque, se considera la distancia entre el cuerpo y el objeto o superficie sobre el que golpeará.
- 2) Movimiento de choque: movimiento desde el comienzo de la colisión hasta el final del impulso.
- 3) Interacción de choque: es la colisión de los cuerpos que participan en el incidente.
- 4) Movimiento posterior al choque: es el movimiento del miembro de choque del cuerpo después de que se ha cesado el contacto al cual se aplicó el golpe.

II.6.1 Fuerza de impacto

La fuerza que impacta un vehículo en una colisión está estrechamente relacionada con la masa y la aceleración de este. A su vez, estas variables están relacionadas con la segunda ley de Newton, la cual establece que “si la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo no es cero, el cuerpo tendrá una aceleración proporcional a la magnitud de la resultante en la dirección de esta”. Experimentalmente se demuestra que el valor constante que se obtiene al relacionar las magnitudes de la fuerza y la aceleración es una característica del cuerpo llamado masa [18]. Por tanto, la expresión matemática de esta ley es:

$$F = m \cdot a \quad (\text{II.2})$$

Donde:

(F) = Fuerza.

(m) = Masa.

(a) = Aceleración.

Al existir esta expresión matemática, se concluye que cuanto menor sea la masa mayor será la aceleración. En la colisión, los ocupantes de un automóvil ligero están más expuestos a sufrir las consecuencias de una aceleración mayor que los que viajan en un vehículo de mayor peso, siendo el ocupante, de pequeña masa en relación con el vehículo, el que absorberá más energía cinética (Figura II-6). En el impacto de un vehículo ligero contra otro de gran peso, a baja velocidad (donde se relaciona la aceleración del vehículo), la masa toma enorme importancia de acuerdo con la segunda ley de Newton [19].



Figura II-6. Ejemplo de diferentes fuerzas en una colisión [19].

II.6.2 Energía de impacto

La ley de la conservación de la energía enmienda la energía de impacto, lo cual permite conocer que la energía es la misma antes y después de la colisión. En una colisión toda la energía se proyecta en la deformación y aplastamiento del vehículo [19]:

$$\text{Energía total del impacto} = \text{Energía total después del impacto} + \text{Energía consumida en el aplastamiento}$$

De acuerdo con la formula anterior en una colisión de dos vehículos (a y b), siendo Ma , masa del vehículo a ; Mb , masa del vehículo b ; V_{1a} , velocidad del vehículo a antes del choque; V_{1b} , velocidad del vehículo b antes del choque; V_{2a} , velocidad del vehículo a después del choque; V_{2b} , velocidad del vehículo b después del choque, se puede escribir la siguiente expresión matemática:

$$Ma \cdot V_{1a} + Mb \cdot V_{1b} = Ma \cdot V_{2a} + Mb \cdot V_{2b} \quad (\text{II.3})$$

En el choque predominante inelástico, la energía de impacto se puede disipar en forma de ruido, vibraciones, a través de los neumáticos, se transforma en calor o queda en la deformación de las estructuras. Mientras que, en el choque predominante elástico, gran cantidad de energía se conserva donde el vehículo y su deformación es mínima o nula, (en el choque elástico puro, situación ideal, toda la energía cinética se conserva y no existe deformación, debido a que la estructura tiene la capacidad para volver a su estado original).

Existe un coeficiente de restitución CR que relaciona las velocidades relativas antes y después de la colisión. El coeficiente es un parámetro que valora la elasticidad. Tomando rangos entre 0 y 1. En materiales elásticos el valor del coeficiente seria de 1 y en impactos inelásticos, con materiales que poseen bastante deformación, el valor del cociente de restitución seria 0. Con ello se concluye que, a mayor coeficiente de restitución, a mayor elasticidad y a mayor deformación en la estructura del vehículo el valor de CR disminuye, la deformación depende de la naturaleza del material [24]. Este se expresa:

$$CR = \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{II.4})$$

Siendo V_1 la velocidad inicial y V_2 la velocidad de rebote.

II.6.3 La estructura del vehículo en la colisión

La dinámica de impacto de en un automóvil, es bastante complejo y para estudiarlo de forma detallada, se requiere de las más avanzadas tecnologías existentes. Partiendo de un modelo linealizado, el estudio de la deformación de un vehículo en una colisión permitirá obtener resultados que representan un buen inicio para el análisis del fenómeno. Para poder llevar a cabo un análisis del comportamiento de la estructura del vehículo, se admitirá la hipótesis de la existencia de una relación lineal entre la fuerza de impacto f por unidad de longitud y la profundidad de deformación residual, es expresado [25]:

$$f = A + B \cdot a \quad (\text{II.5})$$

Donde:

(A)= Fuerza máx. por u. de ancho que no produce deformación permanente [N/m].

(B)= rigidez por unidad de ancho [N/m²].

(C)= profundidad media de la deformación residual [m].

La forma habitual de caracterizar la respuesta ante un impacto de un vehículo es obtener los coeficientes de rigidez de la estructura de este a partir de los datos provenientes de ensayo de choque contra barrera, con lo que se puede obtener la deformación dinámica del vehículo en función de la fuerza de colisión [26]. Hay que hacer notar que al final de la fase de aproximación se llega a la deformación máxima y posteriormente el vehículo inicia la fase de separación o repulsión. La energía de deformación total de la colisión, una parte será la correspondiente a un comportamiento elástico y el resto de la energía será asociado a fenómenos plásticos y por tanto se disipa, produciendo deformaciones permanentes en los elementos impactados. Es por esto por lo que la deformación residual es menor que la máxima deformación sufrida por el vehículo [27].

La energía absorbida por la deformación plástica de la estructura se obtiene por integración de la fuerza local por unidad de área, en todo el volumen de la estructura. Se asume que la deformación es uniforme en la dirección vertical. Se puede llegar a la siguiente expresión [27]:

$$E = \int \int f \cdot dC \cdot dw + CC \quad te \quad (II.6)$$

Siendo w el ancho de la zona impactada, la constante de integración representa la energía de deformación plástica, es decir indica la energía que hay que superar para producir deformación plástica del vehículo.

II.7 Sensores de impacto automotrices

Un sensor es un dispositivo que da respuestas a propiedades físicas y/o químicas tales como de tipo: eléctrico, mecánico, térmico, magnético, químico, óptico, etc. Esta respuesta que entregan los sensores normalmente es una señal eléctrica que puede ser susceptible de medición. Sin embargo, las señales obtenidas a partir de un sensor son de magnitud pequeña y necesitan una adecuación de señal como amplificación y/o filtrado [28].

Los sensores de impacto dan respuesta a variables mecánicas tales como: fuerza de impacto, inercia, desaceleración, entre otras. Dependiendo del sistema airbag y del número de airbags disponibles, los sensores de impacto y de aceleración se encuentran directamente en la unidad de control, o también pueden ubicarse como si fueran satélites en el frontal o en el lateral del vehículo. Los sensores frontales siempre se montan de dos en dos. Por regla general se trata de sensores que trabajan según el sistema masa-resorte, sin embargo, en la industria automotriz se han desarrollado diferentes tipos de sensores para detectar colisiones [29]:

II.7.1 Sensores de impacto inerciales

Estos sensores de impacto basan su funcionamiento en principios mecánicos, como por ejemplo una muelle que al detectar cierta fuerza inercial cuando se acontece un impacto se vence y cierra un circuito eléctrico que funciona como *switch*, con ello da aviso de que un impacto con posibilidades de dañar la integridad física de los ocupantes sucedió.

Un ejemplo de este sistema es el diseño de la Figura II-7, este incluye un mecanismo Masa-Amortiguador-Resorte para accionamiento del sistema, la propuesta es excelente para sensar valores de la fuerza G como respuesta inercial [30].

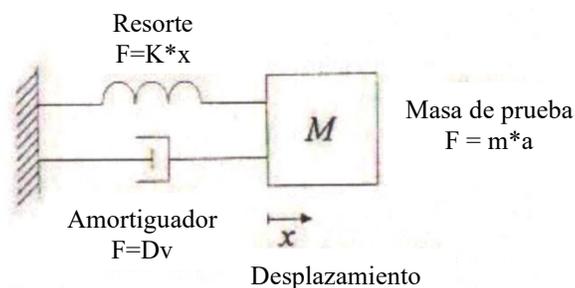


Figura II-7. Sistema Masa-Amortiguador-Resorte diseñado [30].

Otro ejemplo de este tipo de sensores masa-resorte es el de la Figura II-8, en este diseño se encuentra una polea que se ha llenado con un peso enorme. Esta polea de peso está rodeada por una abrazadera de bronce, cuyo extremo va fijado a la polea de peso y a la carcasa del sensor. Esta circunstancia permite a la polea de peso un único movimiento cuando la fuerza aplicada procede de una dirección determinada. Si se aplica la fuerza, la polea de peso gira contra la abrazadera de bronce y cierra por medio de un contacto el circuito de corriente hacia la unidad de control. Para la autodiagnos, el sensor lleva una resistencia con una impedancia muy elevada [29].

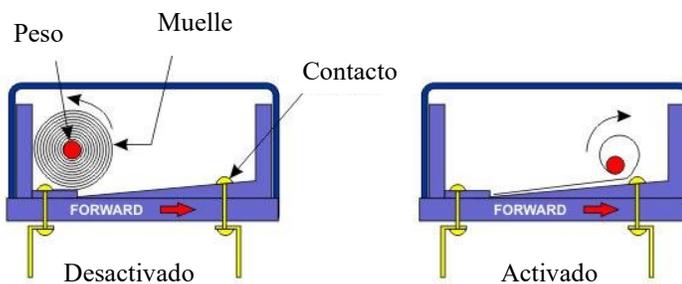


Figura II-8. Diseño masa-resorte de sensor de impacto.

II.7.2 Sensores de impacto magnéticos.

Este tipo de sensores para detectar impactos emplean como principio de funcionamiento el magnetismo para crear un circuito *on/off*. Comúnmente estos sistemas en uno de sus extremos poseen un imán que sostiene un pequeño balón o masa metálica y cuando se acontece un impacto cuya fuerza supere la fuerza magnética del imán, el balón se desprende del imán y se dirige al otro de sus extremos cerrando un circuito eléctrico.

Un ejemplo de este tipo de sensor se muestra en la Figura II-9. En donde se propone, bajo este principio, el accionamiento de las bolsas de aire y de los tensores de cinturón de seguridad para los ocupantes [31].

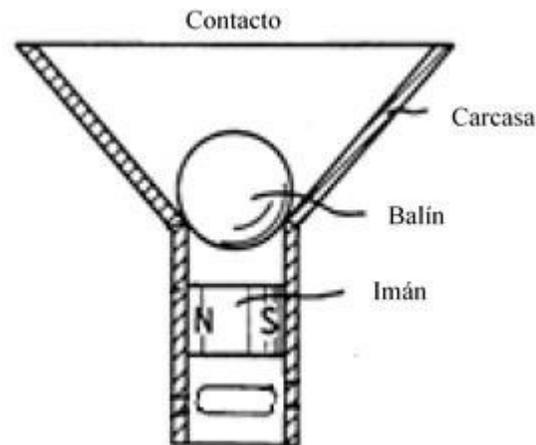


Figura II-9. Diseño de sensor de impacto magnético [31].

II.7.3 Sensores de impacto con acelerómetros

Un acelerómetro es un dispositivo que mide la vibración o la aceleración del movimiento de un cuerpo. La fuerza generada por la vibración o el cambio en el movimiento (aceleración) hace que una pequeña masa "comprima" el material piezoeléctrico, generando una carga eléctrica que es proporcional a la fuerza ejercida sobre él. De esta forma, un acelerómetro permite hacer mediciones indirectas, por ejemplo, si integramos la aceleración en el tiempo tenemos la velocidad y si la integramos nuevamente tenemos el desplazamiento, necesitando en ambos casos la velocidad y la posición inicial respectivamente [32].

Un dispositivo de esta naturaleza tiene un MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) que de forma similar a un sistema masa resorte permite medir la aceleración (Figura II-10).

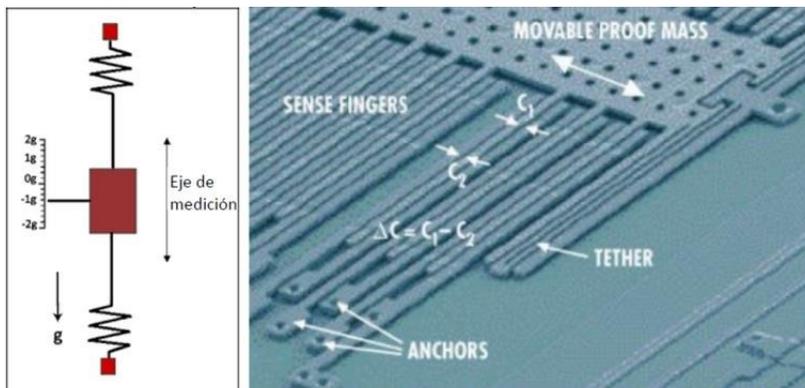


Figura II-10. Principio de funcionamiento y estructura interna de un acelerómetro [32]

II.7.4 Sensores de fuerza y presión

Estos sensores se montan en las puertas y reaccionan, en caso de accidente, ante un cambio de presión dentro de las puertas. En vehículos que lleven este tipo de sensores de presión es muy importante que las láminas de aislamiento de las puertas vuelvan a montarse correctamente si ha habido que desmontarlas. Si las láminas de aislamiento de las puertas no se montan correctamente y se produce una pérdida de presión en un accidente, podría verse afectado el funcionamiento de los sensores de presión [29].

El sensor de fuerza resistivo (FSR), mostrado en la Figura II-11, es un dispositivo de película de polímero (PTF) que presenta una disminución de la resistencia cuando aumenta la fuerza aplicada a la superficie activa. Su sensibilidad a la fuerza está optimizada para uso en el control por toque humano de dispositivos electrónicos. Las FSRs no son células de carga o galgas extensiométricas, aunque tengan propiedades similares [29].



Figura II-11. Estructura de un FSR [29].

II.8 El valor de Criterio de Daño de la Cabeza: *HIC*

El criterio de daño a la cabeza, por sus siglas en inglés *HIC* (*Head Injury Criterion*), se emplea para estudiar la efectividad de los sistemas de sujeción de los pasajeros. El valor de *HIC* refleja el cambio de aceleración que experimenta la cabeza en los primeros instantes después del choque, una vez que la onda de impacto alcanza la base del asiento del pasajero. La tecnología que se desarrolla a través de los estudios del valor al choque se aplica para mejorar la protección de los pasajeros, tanto de los vehículos pesados como de los autobuses. Los cual requiere de modelos que pueden simular la dinámica del cuerpo humano, bajo las condiciones de aceleración que se presentan durante los choques.

El cálculo se lleva a cabo seleccionando los límites máximos de integración, tomando el valor máximo a los 36 milisegundos, después del accidente [19].

$$HIC = \{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_1^2 a(t) dt \right]^{2.5} \} \quad (II.7)$$

Donde:

(t_1) y (t_2) = Representa la duración de los tiempos iniciales en segundos.

$a(t)$ = La aceleración medida en la cabeza en unidades de gravedad (g).

El organismo ISO (*International Standard Organization*), sugiere que el valor máximo sea tomado en los primeros 15 milisegundos después del impacto. La medida dada por *HIC* ha sido ampliamente usada por NHTSA para evaluar la seguridad de los automóviles. De acuerdo con el IIHS de Estados Unidos, el riesgo de *HIC* se evalúa fundamentalmente mediante el criterio de lesión encefálica. Por ejemplo, un valor $HIC = 700 \text{ g}^{2.5}\text{s}$ es el máximo permitido por el organismo regulador de los airbags (NHTSA), y se considera el máximo valor aceptable por la IHSS.

Igualmente, una medida de $HIC_5 = 700$ (considerando intervalos $\Delta = 15 \text{ ms}$) se estima que representa una probabilidad del 5% de daños graves, una lesión "grave" es una con clasificación de 4+ en la Escala de Daño Simplificada (*Abbreviated Injury Scale, AIS*)

La Euro NCAP, valora en una escala de color y compara el resultado obtenido del HIC con el AIS Code, la Tabla II-3 muestra dicha relación, así como los posibles daños que se pueden provocar. El cual se derivan del valor obtenido por HIC [33].

Tabla II-3. Relación de valores para HIC.

HIC	AIS	Niveles de daño cerebral	Niveles de daño en el cráneo	Valoración Euro NCAP
<150	0/1	Sin conmoción	Sin fractura	
150-500	1	Conmoción suave	Sin fractura	
500-1800	2,3,4,5	Conmoción severa	500-900 Pequeña fractura	<650
				650-757
				757-883
			900-1800 Gran fractura	883-1000
				>1000
>1800	6	Coma cerebral	Vida amenazada por la fractura	

II.9 Tecnologías para el sistema

El Asistente de Apoyo Postsiniestro para la Localización del Vehículo requiere del uso de diferentes tecnologías de localización y de comunicación inalámbrica para su correcto funcionamiento.

II.9.1 El Sistema de Posicionamiento Global: *GPS*

El GPS (*Global Positioning System*) es una tecnología propiedad del gobierno de los Estados Unidos de América (EUA), el cual es gratuito y otorga a los usuarios servicios de, posicionamiento, navegación y cronometría. La Fuerza Aérea de EE. UU. desarrolla, mantiene y opera los segmentos de espacio y control. Se compone de 3 segmentos [34]: espacial, de control o terrestre y de usuario.

II.8.1.1 Segmento Espacial

Toda la red de este segmento cuenta con 31 satélites distribuidos en forma de constelación, con lo cual EUA se compromete a tener al menos 24 satélites en óptima operación el 95% del tiempo. Los satélites GPS vuelan en órbita terrestre media (MEO) a una altitud de aproximadamente 20.200 km (12.550 millas). Cada satélite rodea la Tierra dos veces al día. En la Figura 40 se ejemplifica el segmento espacial del GPS.

II.8.1.2 Segmento de control terrestre

Este segmento está formado por diversas estaciones ubicadas en diferentes partes del mundo. El segmento de control operativo (OCS) actual incluye una estación de control maestra, una estación de control maestra alternativa, 11 antenas de comando y control y 16 sitios de monitoreo

II.8.1.3 Segmento de usuario

Aquí es donde se encuentran los millones de receptores quienes reciben las señales de los satélites y los procesa para así generar una ubicación y hora en donde se encuentra determinado receptor (GPS, 2019). Estos receptores son muy variados y tienen diferentes aplicaciones, pero principalmente es seguridad.

II.8.1 El Paquete General de Radio Servicio: *GPRS*

El GPRS (*General Packet Radio Service*) es el estándar de comunicación para teléfonos móviles que transmite la información por grupos significativos o paquetes. Puede transmitir a una velocidad de 114 kbit/s y permite la conexión a Internet: este servicio lo brinda la empresa telefónica a través de la red celular. Es una extensión de la red GSM, pero sin demasiadas interferencias como su antecesora, ya que permite mandar mensajes de texto, multimedia y acceso a internet. Además, proporciona una cobertura inalámbrica completa y velocidades de transferencia de entre 56 a 114 kbps (kilobits por segundo). Por ejemplo, permite enviar 30 SMS por minuto, mientras que con GSM podemos mandar entre 6 y 10 [35].

La evolución de las redes móviles ha permitido al GPRS funcionar como lo hace hoy en día. A continuación, se hace una breve explicación de dicha evolución [36].

Posterior al GSM surgió la EGPRS la cual es una mejora a la GPRS. Permite alcanzar velocidades de hasta 384 kbps y recibir datos móviles pesados, como grandes archivos adjuntos de correo electrónico o navegar por páginas web complejas a gran velocidad. La tecnología EDGE actúa como puente entre las redes 2G y 3G y puede funcionar en cualquier red con GPRS y que haya sido actualizada a través de la activación de un software opcional.

Mientras que la tecnología 3G alcanza velocidades hasta de 2 mbps, la tecnología más reciente es la 4G pero existe un intermedio entre ambos, la HSDPA o High Speed Downlink Packet Access (acceso ascendente de paquetes a alta velocidad), que bien podríamos llamar red 3.5G la cual alcanza hasta 14 mbps en condiciones óptimas. La red 4G es hasta el día de hoy la más completa, sin embargo, solo está disponible en pocos lugares del mundo, contrario a la mayoría de las redes anteriores no puede ser soportada por cualquier chip de telefonía. Y es capaz de alcanzar hasta 1 Gbps en reposo y 100 mbps en movimiento, con lo que iguala a una red de internet casera.

No obstante, en México, América Móvil presentó su red 4.5 que pone los cimientos para la llegada del 5G. La red 4.5G, también denominada LTE Advanced, es un estándar en telecomunicaciones que representa la evolución de la red 4G. Esta red permite una mayor velocidad en la transmisión de datos con una mayor eficiencia, por ejemplo, mientras que el 4G ofrece descargas a hasta 300 Megabits por segundo (Mbps), el 4.5 G alcanza hasta 1 Gigabit por segundo (Gbps) bajo las condiciones ideales, explica Marco Galván, Strategic Engagement Senior Director de la GSMA, la organización que reúne a los principales operadores móviles en el mundo.

II.9.3 El Bluetooth

La tecnología inalámbrica Bluetooth® es una tecnología inalámbrica de corto alcance que permite la comunicación inalámbrica de datos entre dispositivos digitales, como un ordenador o una cámara digital. La tecnología inalámbrica Bluetooth funciona en un rango

de aproximadamente 10 metros. Lo habitual es establecer una conexión entre 2 dispositivos, pero algunos dispositivos pueden conectarse simultáneamente a varios dispositivos. No necesita utilizar ningún cable para realizar la conexión ni es necesario orientar los dispositivos frente a frente como ocurre con la tecnología de infrarrojos [37].

Existen 3 principales redes de comunicación Bluetooth [38]:

- Comunicación punto a punto: Se lleva a cabo solo con dos dispositivos que comparten información entre ellos, regularmente entre un maestro y un esclavo los cuales pueden cambiar de rol durante la comunicación.
- Comunicación broadcast: En esta existe solo un maestro y varios esclavos quienes reciben las órdenes del maestro.
- Comunicación en malla: Es la más compleja de las tres, ya que permite la comunicación de varios dispositivos, con varios dispositivos dentro de la misma red de comunicación.

II.10 Sumario

En este capítulo se presentó todo lo referente en cuanto a materia de seguridad vial, esto abarca a los organismos que regulan la seguridad pasiva y activa en la industria automotriz a nivel internacional y local, los antecedentes y la situación actual de la prevención de los accidentes viales, los tipos de colisión más comunes en los hechos de tránsito terrestre y sus efectos en los ocupantes de los vehículos involucrados. También se mencionó parte de la mecánica que hay detrás de los impactos y colisiones, así como algunos sensores de impacto de uso automotriz que existen en la actualidad. Por último, se presentó el valor HIC, sus criterios y su comparación con los valores de la AIS y le Euro NCAP.

II.11 Referencias

- [1] M. Arias-Paz, «Estudio General del Automóvil,» de *Manual de Automóviles*, Madrid, Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000 S.L., 2004, pp. 27-33.
- [2] Global NCAP, *DEMOCRATISING CAR SAFETY*, Activities Global NCAP, 2011.

- [3] Euro NCAP, *Pedestrian Protection*, The Ratings Explained, 2014.
- [4] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), *Test Procedures*, 2012: Vehicle Safety, Vehicle Safety.
- [5] Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), *Crash Testing and Crashworthiness; A Good Structure, Safety Belts and Airbags can Reduce Crash Injuries*, Highway Safety Research & Communications, 2000.
- [6] Australasian New Car Assessment Program (ANCAP), *Test & Assessment Protocols, Crash Testing Explained*, 2011.
- [7] Secretaria latín NCAP, *Impacto Frontal*, Explicación de los Ensayos, 2011.
- [8] Ó. Barrera Doblado y J. A. Ros Marín, «Sistemas de seguridad en el vehículo,» de *Sistemas de Seguridad y Confortabilidad*, Madrid, Ediciones Paraninfo, SA, 2012, pp. 2-3.
- [9] J. J. Flink, de *The Automobile Age*, MIT Press, 1990, pp. 58-65.
- [10] Organización Mundial de la Salud , «Los Accidentes del Tráfico; Epidemiología y Prevención,» OMS, 1963, pp. 62-67.
- [11] B. O'Neill, «Contingencias,» de *Accidents highway safety and William Haddon Jr*, 2002, pp. 30-32.
- [12] B. J. Ludwig, « Rating Accident Models and Investigation Methodologies,» *Journal of Safety research*, vol. 16, pp. 105-126, 1985.
- [13] K. Panagiota, «Towards an Evaluation of Accident Investigation Methods in Terms of their Alignment with Accident Causation Models,» *ELSEVIER Safety Science*, n° 47, pp. 1007-1010, 2009.
- [14] W. H. L. A. M. S. J. J. E. y. B. G. H. Wallén, Deliverable 5.8; Manual for DREAM 3.0 (Driving Reliability and Error Analysis Method), SafetyNet, 2008.
- [15] G. Figueroa Flores, «Diseño e implementación de un impactador de miembro inferior aplicado a la seguridad pasiva,» Tesis de grado, 2017, pp. 44-45.
- [16] ANFAC, *Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones*, Portal de Transparencia, 2005.
- [17] A. Martí Parera, «Seguridad Activa,» de *Sistemas de Seguridad y Confort en Vehículos Automóviles*, Barcelona, marcambo Boixareu Editores, 2000, pp. 15-16.
- [18] M. Ó. Aguilar Ruiz, J. Navas Pérez y R. Olivares Alcalá, Investigación Criminalística En Hechos De Tránsito Terrestre, Inacipe (Instituto Nacional De Ciencias Penales), 2009.
- [19] V. M. Cantor Mexquititla , Simulación numérica del impacto de butacas de un autobús urbano, Tesis de grado, 2015.
- [20] O. Cortes, «Simulación numérica del atropello de peatones con un vehículo tipo sedán en la Ciudad de México,» Tesis de grado, 2015, pp. 2-3.
- [21] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, de *Gestión de Velocidad*, ECMT, 2006, pp. 23- 48.
- [22] Organización Mundial de la Salud, «Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito,» OMS Ginebra, 2004.

- [23] R. C. P. y. A. A. Elvik, *Speed and road accidents: an evaluation of the Power Mod, Toi*, 2004.
- [24] M. Rodríguez Jouvencel, de *Latigazo cervical y colisiones a baja velocidad*, Diaz de Santos, 2003, pp. 61-75.
- [25] P. A.-M. D. y. V. C. Luque-Rodriguez, *Ingeniería del Automóvil: Sistemas y Compartimiento Dinámico*, Thomson, 2007, pp. 229-305.
- [26] D. R. H. y. D. B. Rhule, «The process of evaluation and documentation of crash test dummies for Part 572 of the Code of Federal Regulations,» de *In 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, Washington DC, USA, Paper Number 050284, 2005.
- [27] E. S. H. y. H. H. Mayrhofer, «Enhanced coach and bus occupant safety,» de *Paper Number 05-035*, 2005.
- [28] J. A. Velázquez Costa, *Los sensores en la producción*, 2002.
- [29] Hella , «Estructura y Funcionamiento Del Airbag,» Hella Tech World, [En línea]. Available: <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Electricidad-y-electronica-del-automovil/Sistema-airbag-3083/>. [Último acceso: 13 Abril 2020].
- [30] R. H. C. W. Y.P. Wang, *Design and Simulation of a MEMS High G*, Atlanta, GA, 2008.
- [31] P. A. W. S. H. L. Hans Spies, *Magnetic Impact Sensor*, Alemania, 1996.
- [32] OMEGA, «¿Qué es un acelerómetro?,» 2010. [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/acelerometro.html>. [Último acceso: Abril 2020].
- [33] D. D. v. D. O. M. y. S. O. Cichos, *Crash Analysis Criteri Description*, workgroup data processing vehicle safety, 2006.
- [34] GPS.gov, «Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics,» 6 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.gps.gov/systems/gps/>. [Último acceso: Abril 2020].
- [35] Samsung, «¿Qué es GPRS?,» 12 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.samsung.com/latin/support/mobile-devices/what-is-gprs/>. [Último acceso: Abril 2020].
- [36] A. Del Valle Díaz, *Diseño, Integración y Optimización de Estaciones Base de Segunda Generación*, Tesis de grado, 2008.
- [37] Sony Corporation, «¿Qué es la tecnología inalámbrica BLUETOOTH?,» 2012. [En línea]. Available: <http://download.sony-europe.com/pub/manuals/html/Z002678111/ES/contents/02/01/01/01.html>. [Último acceso: Abril 2020].
- [38] Bluetooth Technology Website, «Topology Options,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/topology-options/>. [Último acceso: Abril 2020].

Capítulo III



III. Desarrollo Experimental

En este capítulo se describe como se desarrolló el prototipo implementado, se hace hincapié en cada componente y subsistema que lo integra y le da un correcto funcionamiento integral al prototipo. También se describe el uso de las fuerzas g que se ven implicadas cuando ocurre un siniestro y son medidas por el sensor implementado. Finalmente, se presenta el diagrama de flujo operacional del sistema y se mencionan los costos del prototipo y del sistema.



Asistente de Apoyo Postsiniestro para la Localización del Vehículo

III.1 Construcción del vehículo a escala

Se utilizó un vehículo a radiocontrol descompuesto, por lo que se decidió implementar una comunicación inalámbrica con tecnología Bluetooth para lograr manipular el movimiento y aceleración de este desde un *Smartphone* mediante una aplicación móvil. El vehículo a escala que se utilizó fue un Ford F-250 fabricada en el año 2007. En la Tabla III-1 se muestra una comparativa del vehículo real con el modelo a escala.

Tabla III-1. Comparación de características entre el vehículo a escala y el real [1] [2].

Característica	Ford F-250 2007	Modelo a escala
Peso del vehículo	3075 kg	2 kg
Longitud del vehículo	6250 mm	304.8 mm
Ancho del vehículo	2060 mm	127 mm
Altura del vehículo	2040 mm	152.4 mm
Distancia entre el vehículo y el suelo	180 mm	25 mm
Distancia entre ejes	3490 mm	635 mm

Considerando las especificaciones del fabricante del vehículo a escala [2], el modelo está a una escala de 1:14 de acuerdo con el vehículo original. En la Figura III-1 se compara el *Blueprint* del vehículo original y el modelo a escala seleccionado para el prototipo.

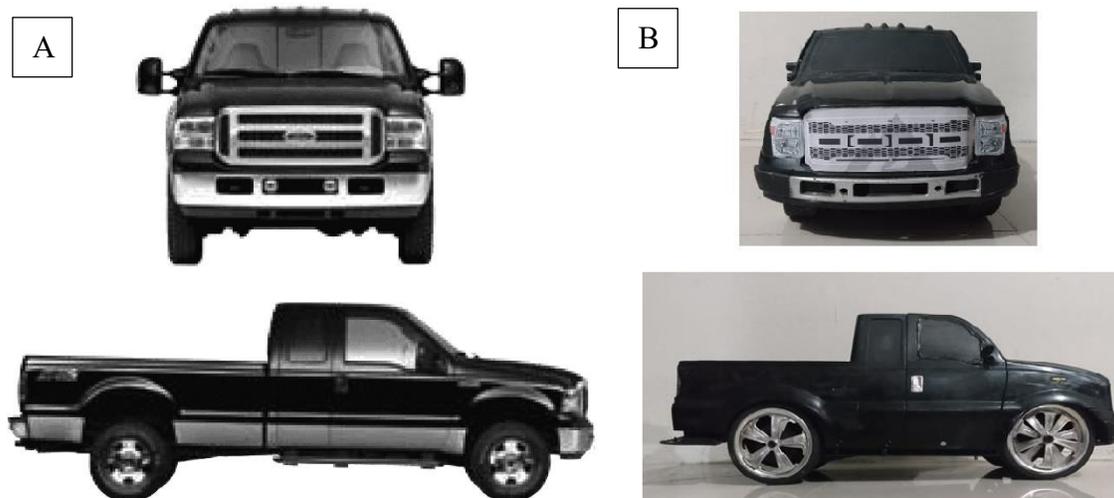


Figura III-1. Comparación del vehículo F-250 2007 real (A) y el modelo a escala (B).

En la construcción del prototipo se implementó una tarjeta de desarrollo Arduino Uno mostrado en Figura III-2, la cual contiene el código fuente y le da movimiento al prototipo.



Figura III-2. Tarjeta de desarrollo Arduino UNO [4].

Para lograr el cambio de sentido en la tracción se utilizó el puente h de potencia BTS7960. Este controlador usa los Chips Infineon BTS7960 como puente H para permitir el control de los motores, cuenta con un protector ante sobrecalentamiento y sobre corriente. Este módulo cuenta con un aislador que permite separa el circuito de control de la parte de potencia para mantener la integridad del dispositivo, puesto que este controlador puede llegar a generar una corriente de hasta 43A.

El BTS7960 (Figura III-3) contiene dos transistores MOSFET de tipo P y N con un controlador IC en un solo paquete, lo cual permite la conexión de interfaz a un dispositivo externo de control, como lo puede ser un microcontrolador, ya que este cuenta con entrada de tipo lógico, ajuste de velocidad, generación de tiempo muerto y protección contra exceso de temperatura, sobretensión, baja tensión, sobre corriente y corto circuito [4]. Y al ser un motor de 3A, el Puente H (L298N) con su respectivo modulo solo es capaz de controlar motores de máximo 2A, por esta razón se utilizó en la dirección al ocupar un motor más pequeño.

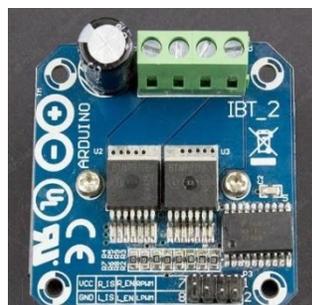


Figura III-3. Puente H BTS7960 en módulo [5].

Las especificaciones técnicas del BTS7960 se muestran en la Tabla III-2.

Tabla III-2. Especificaciones técnicas de BTS 7960 [5].

Característica	Descripción
Chip	BTS7960
Canales	1, capaz de controlar un motor de hasta 43A
Voltaje lógico	3.3 - 5 V
Voltaje de potencia (V motor)	6V – 27V DC
Capacidad de corriente	30A (picos de hasta 43A)

El controlador puente H L298N (Figura III-4) es el módulo más utilizado para manejar motores DC de hasta 2 A. El chip L298N internamente posee dos puentes H completos que permiten controlar 2 motores DC o un motor paso a paso bipolar/unipolar.

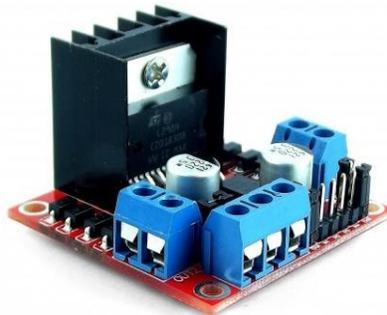


Figura III-4. Puente H L298 en módulo [6].

El módulo, permite controlar el sentido y velocidad de giro de motores mediante señales TTL que se pueden obtener de microcontroladores y tarjetas de desarrollo como Arduino, Raspberry Pi o Launchpads de Texas Instruments. El control del sentido de giro se realiza mediante dos pines para cada motor, la velocidad de giro se puede regular haciendo uso de modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés).

Tiene integrado un regulador de voltaje LM7805 de 5V; encargado de alimentar la parte lógica del L298N, el uso de este regulador se hace a través de un Jumper y se puede usar para alimentar la etapa de control. [6]

Las especificaciones técnicas del controlador L298 se muestran en la Tabla III-3.

Tabla III-3. Especificaciones técnicas del L298N [6].

Característica	Descripción
Chip	L298N
Canales	2 (soporta 2 motores DC o 1 motor PAP)
Voltaje lógico	5 V
Voltaje de potencia (V motor)	5V – 35V DC
Capacidad de corriente	2A (picos de hasta 3A)

Otro componente usado fue el HC-05, el cual es un módulo Bluetooth (Figura III-5). Se implementó por ser un dispositivo pequeño, útil y con rango de alcance de hasta 10 m.



Figura III-5. Módulo Bluetooth [7].

Las especificaciones técnicas del HC-05 V2.0 se muestran en la Tabla III-4.

Tabla III-4. Especificaciones Técnicas Bluetooth HC-05 [8].

Característica	Descripción
Rol	Maestro, esclavo, y esclavo con auto conexión
Chip de radio	CSR BC417143
Frecuencia	2.4 GHz, banda ISM
Modulación	GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
Potencia de emisión	≤ 4 dBm, Clase 2
Alcance	5 m a 10 m
Sensibilidad	≤ -84 dBm a 0.1% BER
Velocidad	Asincrónica: 2.1 Mbps (Max.) /160 kbps, sincrónica: 1 Mbps/1 Mbps

Seguridad	Autenticación y encriptación (Password por defecto: 1234)
Perfiles	Puerto serial Bluetooth
Montaje	Módulo montado en tarjeta con regulador de voltaje y 6 pines suministrando acceso a VCC, GND, TXD, RXD, KEY y status LED.
Consumo de corriente	50 mA
Voltaje de alimentación	3.6 V a 6 V
Temperatura de operación	-20 °C a +75 °C

El esquemático de conexión del control inalámbrico del vehículo a escala se muestra en la Figura III-6.

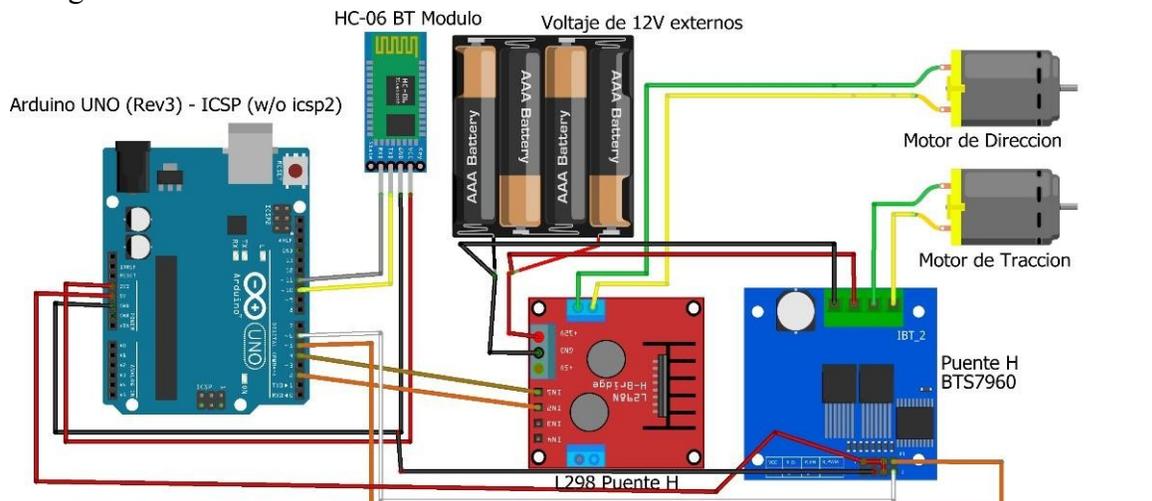


Figura III-6. Conexión del control inalámbrico.

En la Figura III-7 se muestran las imágenes del carro ya armado.



Figura III-7. Dirección y tracción del vehículo a escala.

En conjunto con la aplicación de la tienda de Android “Bluetooth RC Controller” se desarrolló interfaz (Figura III-8) con botones para cada dirección, así como una barra para tener diferente potencia en los motores por medio de un PWM.

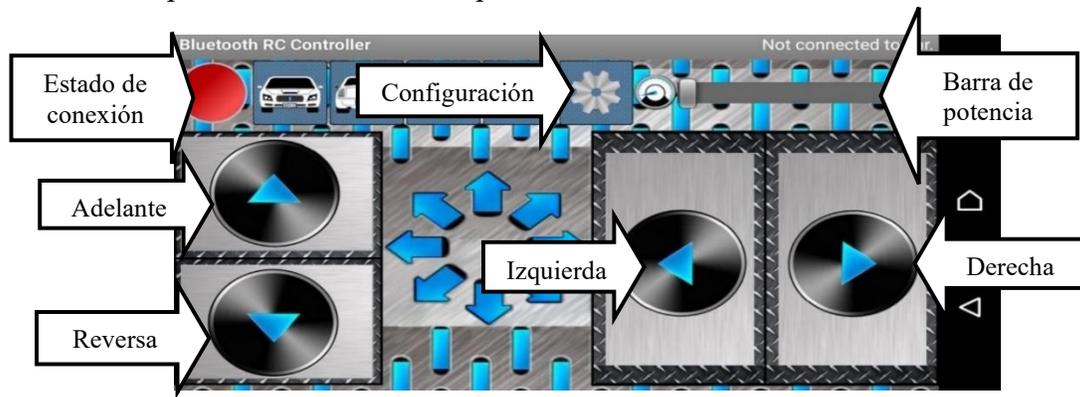


Figura III-8. Interfaz gráfica de la App.

III.2 Subsistema de sensado

Para sensar y magnificar los siniestros e impactos se decidió utilizar el acelerómetro ADXL345 de Analog Devices. Esta compañía es líder mundial en la fabricación de microacelerómetros para el sector automotriz [16]. Es un sensor micro mecanizado (MEMS) capacitivo que detecta la aceleración en los ejes X, Y y Z. También es posible determinar la orientación del sensor, gracias a la acción de la fuerza de la gravedad.

El ADXL345 mostrado en la Figura III-9 es un dispositivo de ultra bajo consumo, con $45 \mu\text{A}$ en modo de medición y $0.1 \mu\text{A}$ en standby. Además, dispone de un bloque de memoria FIFO que almacena hasta 32 conjuntos X, Y, Z. La comunicación puede realizarse tanto por bus SPI como por bus I2C, por lo que es sencillo obtener los datos medidos. Este a su vez se comunica vía bluetooth con el sistema de comunicación, en este caso el sensor ira con el BT maestro y el sistema de comunicación con el BT esclavo.

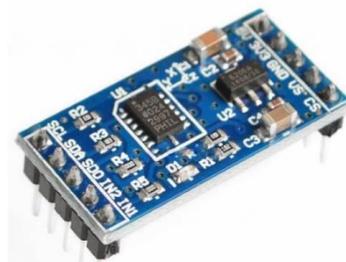


Figura III-9. Acelerómetro ADXL345 [9].

En la Tabla III-5 se muestran las especificaciones técnicas de este acelerómetro.

Tabla III-5. Especificaciones técnicas del ADXL345 [10].

Característica	Descripción
Interfaz	Digital I2C y SPI
Rango	+/- 2, 4, 8 y 16 g (seleccionable)
Módulo o tarjeta	Incluye circuito regulador de voltaje
Pines	configurables para generar interrupciones
Voltaje de operación	2.3 a 3.6 V
Detección	Picos de aceleración dobles y sencillos (como interfaz de usuario)

Como ya mencionó, el acelerómetro sensa las desaceleraciones que se sufren cuando se acontece un impacto y el Arduino recibe esta información la procesa y bajo la lógica de programación decide qué tipo de impacto fue (débil, moderado o fuerte). La decisión tomada por el Arduino es enviada vía Bluetooth a un Arduino esclavo, en la Figura III-10 se muestra el esquemático del sensor y Bluetooth maestro.

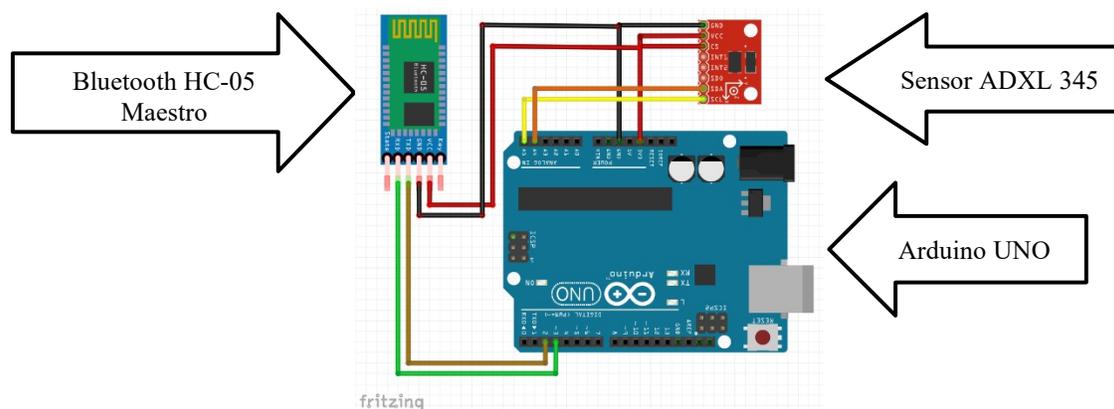


Figura III-10. Esquemático del sensor y el Bluetooth maestro.

El montaje del subsistema de sensado en el vehículo a escala sumado al control de movimiento de este se muestra en la Figura III-11.

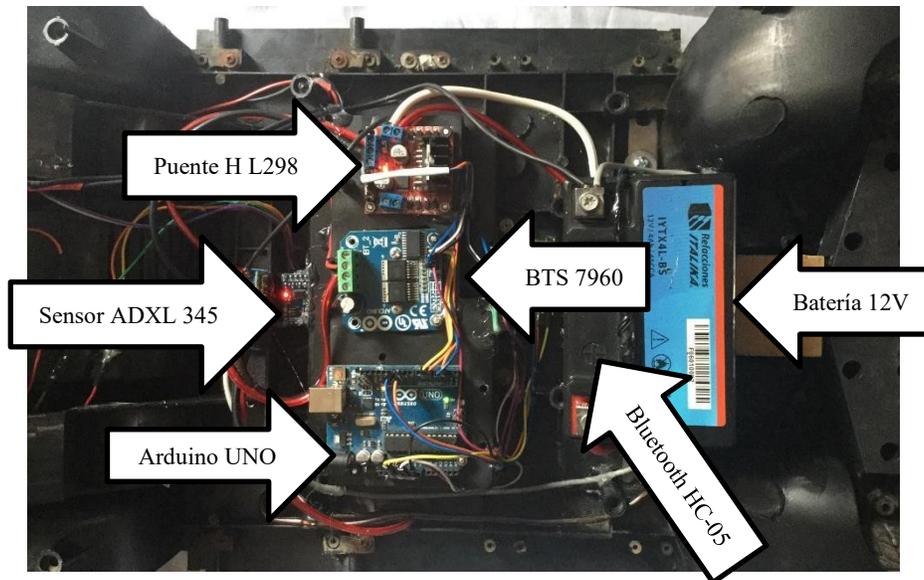


Figura III-11. Conexión del subsistema de sensado y el control de movimiento.

III.3 Subsistema de localización y comunicación inalámbrica a distancia

Para el sistema de localización se utilizó el módulo GPS NEO-6M mostrado en la Figura III-12 debido a su bajo precio respecto a la competencia además de contar con un buen margen de error que va de los 5 a 10 metros dentro de un hogar, lo cual mejora al estar al aire libre, cuenta con una memoria, una batería y un led indicador. La localización es enviada mediante mensaje de texto con un enlace en donde se muestran las coordenadas en latitud y longitud.



Figura III-12. Módulo GPS NEO6MV2 [11].

Las especificaciones técnicas del GPS NEO6MV2 se muestran en la Tabla III-6.

Tabla III-6. Especificaciones técnicas del GPS [11].

Característica	Descripción
Dimensiones antena	25 mm X 25 mm
Dimensiones módulo	36 mm X 25.9 mm
Voltaje de alimentación mínimo	3.3 V
Voltaje de alimentación máximo	5 V
Corriente de funcionamiento	45 mA
Comunicación	UART
Velocidad de comunicación	9600 bps
Memoria	EEPROM
Interfaz	TTL serial
Indicador de señal	LED

La conexión del subsistema de localización en donde se implementó el módulo GPS se muestra en la Figura III-13, mientras que el montaje en el vehículo a escala se observa en la Figura III-14.

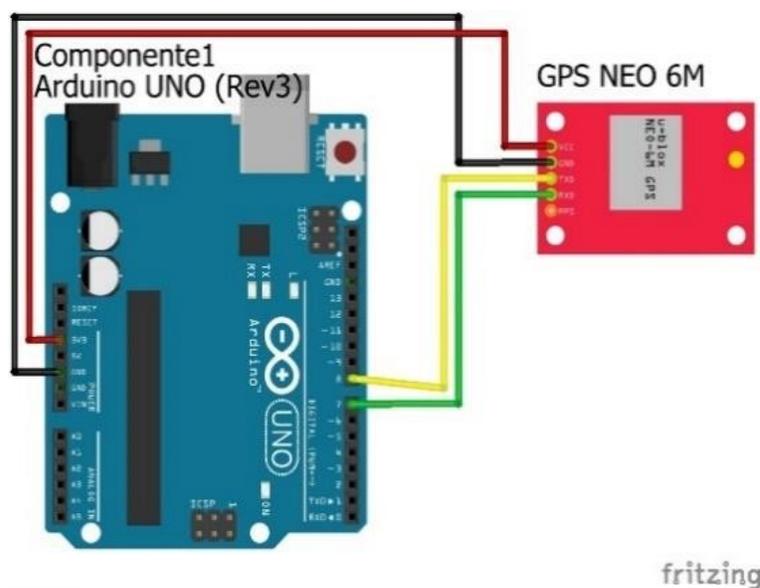


Figura III-13. Esquemático de conexión del GPS.

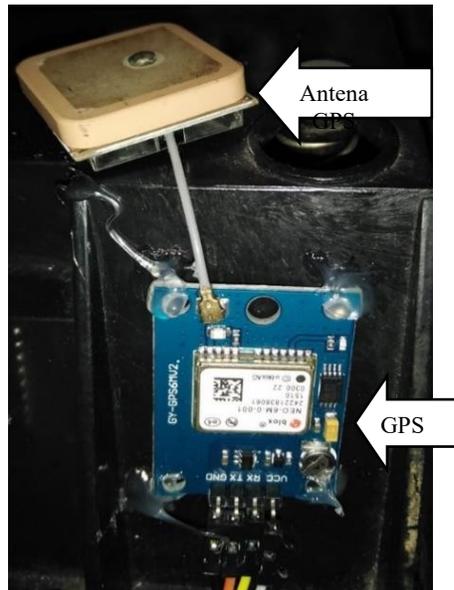


Figura III-14. GPS instalado en el vehículo a escala.

El subsistema de localización con el GPS y de comunicación inalámbrica con el GPRS están implementados en el Arduino Uno que tiene la función de esclavo; este recibe la información del subsistema de sensado gestionado por el Arduino Uno operando como maestro.

Para el sistema de comunicación se optó por utilizar el módulo GPRS Modulo IOTG A6 (Figura III-15) debido a su bajo costo, capacidad para soportar chips de 4G, buen rendimiento en temperaturas altas y bajas, tamaño reducido, quizá su mayor problema es no contar con tanta información ya que es de producción china, sin embargo, una vez que se ha configurado correctamente no dará más problemas.



Figura III-15. Módulo GPRS [12].

Se requiere una alimentación de 1.5 a 2A mínimo para tener un correcto funcionamiento de este, al ser un módulo que se atiene a las características de nuestro chip, tendrá señal y cobertura siempre y cuando nuestro sim la tenga, y así será posible enviar SMS al número que se haya asignado anteriormente para infirmar de la colisión que se pudiese llegar a presentar.

Para el correcto funcionamiento de este módulo fue necesario programar su microchip con una actualización de firmware que ofrece el fabricante, esta programación se realizó mediante un convertidor serial (USB-Serial). Y la validación de su funcionamiento con el nuevo firmware se hizo con un software descargado de la página oficial del fabricante que permite la comunicación serial con comandos AT.

Las especificaciones técnicas de este módulo GPRS utilizado en el subsistema de comunicación inalámbrica a distancia se muestra en la Tabla III-7

Tabla III-7. Especificaciones técnicas del GPRS IOT GA6 [12].

Característica	Descripción
Voltaje	5V
Corriente promedio standby	3 mA
Bandas	Todas las Bandas GSM/GPRS en MHz, 850,900,1800,1900
Clase	10
Sensibilidad	<-105
Características	Soporta llamadas de voz, mensajes de texto SMS, tráfico de datos GPRS, GSM07,07.05
Data rate	Download 85.6Kbps, upload 42.8Kbps
Temperatura de funcionamiento limitada	-30 °C – +80 °C

Máxima velocidad de transmisión	Download 85.6Kbps, upload 42.8Kbps
Comandos	AT y Ai Thinker,
Puertos Seriales	2 puertos seriales, un puerto serial para descarga y puerto para comandos AT
Comando AT	Admite la interfaz de comandos estándar AT y TCP / IP.
	Admite audio digital y audio analógico compatible con HR, FR, EFR, AMR codificación de voz

La conexión de este subsistema que permite una comunicación inalámbrica a larga distancia gracias al uso de las redes móviles se muestra en la Figura III-16 y la instalación de este en el vehículo a escala se observa en la Figura III-17.

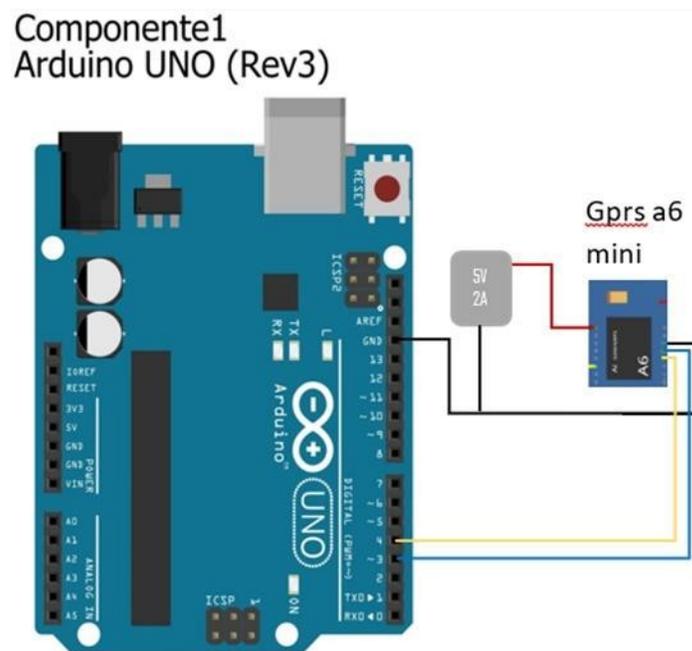


Figura III-16. Esquemático de conexión del GPRS.

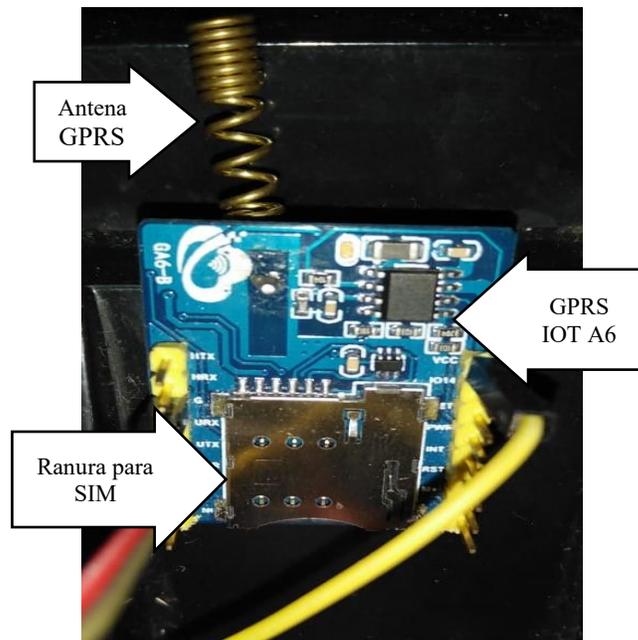


Figura III-17. GPRS instalado en el vehículo a escala.

III.4 Subsistema de interfaz gráfica

Para la implementación de este subsistema se utilizó una pantalla LCD 2004 que cuenta con 4 filas y 20 columnas mostrada en la Figura III-18, logrando así la posibilidad de utilizar hasta 80 caracteres, su función es informar al conductor mediante un mensaje que ha sufrido una colisión y se ha avisado a la central de operaciones para brindarle asistencia. La pantalla se encontrará siempre encendida mostrando la hora y la velocidad a la que circula la unidad, y el mensaje cambiará solo cuando se detecte una colisión. En caso de que la colisión sea demasiado fuerte, el sistema entrara en estado de error y tendrá que ser reiniciado mediante un botón, no sin antes haber cumplido con su función de mandar el mensaje a la central.

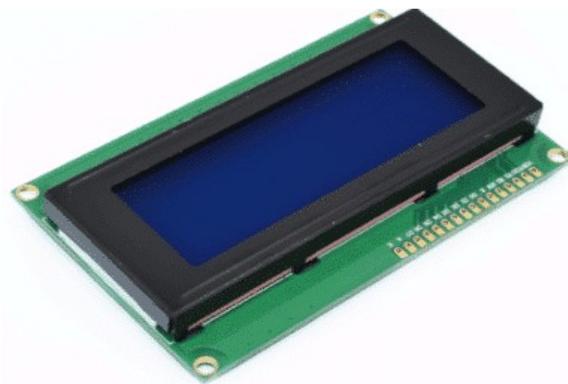


Figura III-18. LCD 2004 [13].

Las especificaciones técnicas de esta LCD se muestran en la Tabla III-8.

Tabla III-8. Especificaciones Técnicas de la LCD 2004 [13].

Característica	Descripción
Voltaje de entrada	5 V
Corriente de entrada	75 mA
Potencia	375 mW
Dispositivo base	HD44780
Dimensiones	9.8 * 6 * 1.3 cm

El esquemático de conexión de esta interfaz gráfica se muestra en la Figura III-19, mientras que la instalación de ésta en el vehículo a escala se observa en la Figura III-20.

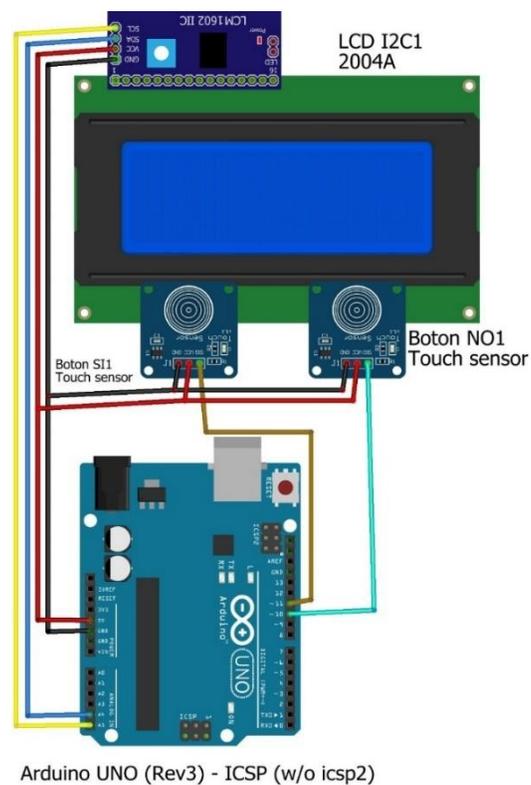


Figura III-19. Esquemático de la interfaz gráfica.

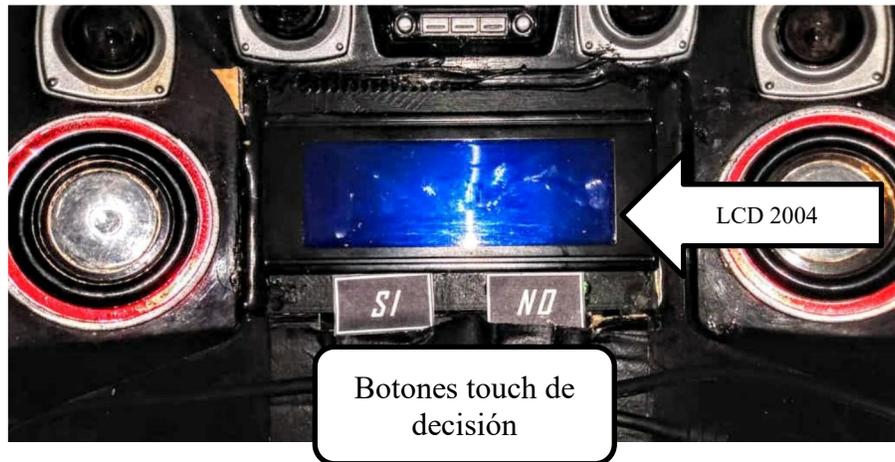


Figura III-20. Instalación de la pantalla en el vehículo a escala.

III.5 Integración de los subsistemas

Una vez que cada subsistema funcionó correctamente de manera independiente, se procedió a integrarlos en un solo sistema. En la Figura III-21 se muestra el esquemático de la integración del subsistema de comunicación y localización, el subsistema de sensado y el subsistema de interfaz gráfica.

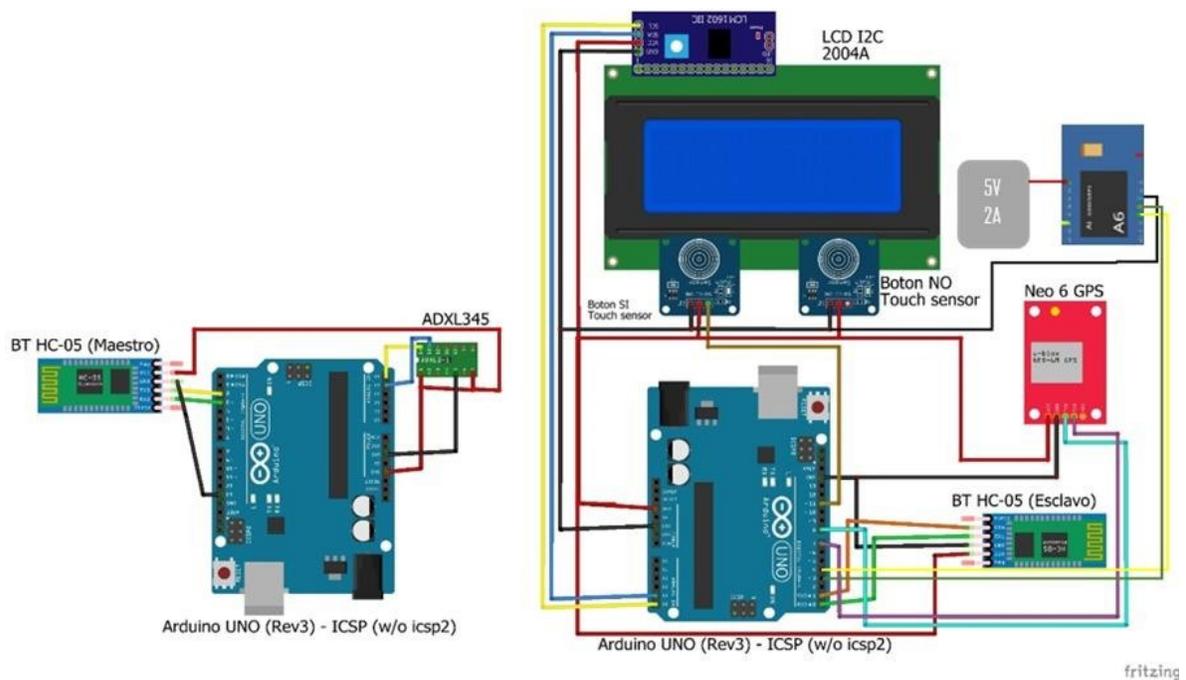


Figura III-21. Subsistema de comunicación y localización integrado.

En Figura III-22 se muestra el prototipo del sistema completo: Arduino maestro con Bluetooth, sensor ADXL345, Arduino esclavo con Bluetooth, GPS, GPRS, y la sección de control de movimiento del vehículo a escala.

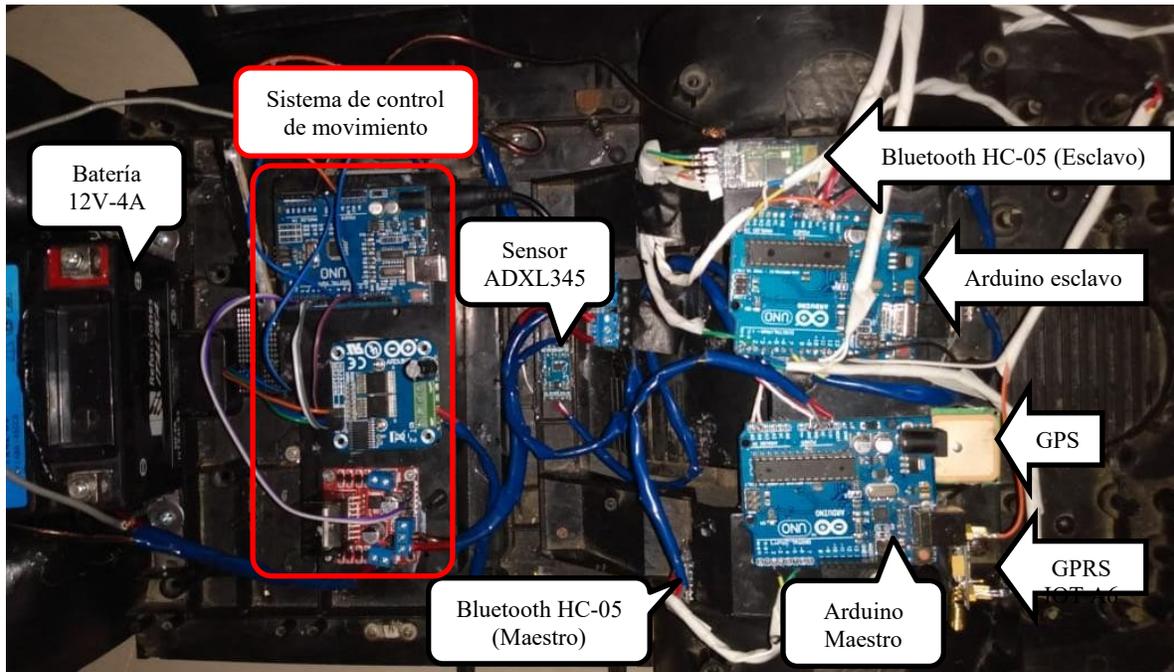


Figura III-22. Instalación del sistema integrado en el prototipo a escala.

Es importante mencionar que el sistema integral se decidió dividir en tres secciones:

- Sección de control de movimiento: incluye la tarjeta Arduino Uno, un puente H de potencia (para tracción) y un puente H de baja potencia (para dirección).
- Sección Maestro: en esta se dispone del sensor tipo acelerómetro ADXL345, una tarjeta Arduino Uno y un Bluetooth HC-05 con el rol de maestro.
- Sección Esclavo: está sección se compone por el sistema de localización y comunicación inalámbrica, la cual incluye una tarjeta Arduino Uno, GPS Neo 6m, GPRS A6 mini, interfaz gráfica y un Bluetooth HC-05 con el rol de esclavo.

La razón de dividir el sistema integral en tres secciones es por que el sistema está diseñado para poder ser instalado en cualquier vehículo, por lo que una comunicación inalámbrica entre estos se encontró como mejor opción en cuanto a costo-beneficio.

La sección Maestro sensa el impacto, magnifica el impacto entre débil, moderado y fuerte para después enviar la información vía Bluetooth a la sección Esclavo, que, respecto a los valores que recibió le informa al usuario que tipo de impacto se registró y a su vez, le cuestiona si requiere o no que se solicite apoyo. Independiente al tipo de colisión (débil o moderado), el sistema enviará una notificación vía sms, incluyendo la localización en tiempo real; sólo en caso de que el usuario lo decida, se enviará el mensaje de texto solicitando apoyo. En una colisión fuerte, el sistema enviará la notificación y la solicitud de apoyo.

III.6 Lectura del sensor ADXL345 para el sensado del sistema

Para seleccionar los valores de fuerza g que serán considerados para decidir si el impacto es débil, moderado o fuerte, se optó por tomar en cuenta el valor de fuerza g máximo que el prototipo alcanzará en un impacto; y de este valor registrado, hacer la división de los tres tipos de impactos propuestos en este proyecto. Para ello, fue necesario diseñar y desarrollar un sistema auxiliar que permita registrar y guardar los valores sensados por el acelerómetro ADXL345. Este sistema auxiliar incluye una tarjeta Arduino Uno, un Módulo lector de microSD y una tarjeta microSD, con estos elementos fue posible realizar las pruebas de impacto con el prototipo a escala y registrar los valores sensados. Se obtuvo un total de 1847 valores de fuerza g, la Figura III-23 muestra una interpretación de estos valores registrados en una gráfica.



Figura III-23. Gráfica de mediciones registradas por el ADXL345 contra Fuerza g.

En la Figura III-24 se muestra una gráfica en fuerza g contra décimas de segundo, en donde se ejemplifican los valores de fuerza g considerados para los tipos de impacto propuestos: débil, moderado y fuerte.

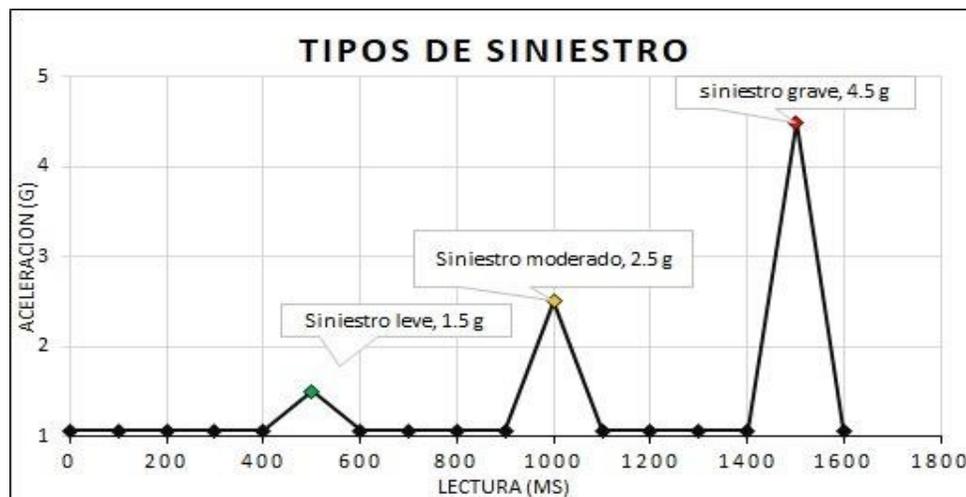


Figura III-24. Gráfica con los valores fuerza g vs ms considerados para los impactos.

De la Figura III-24 se puede analizar lo siguiente:

- El siniestro leve considera una desaceleración mayor de 1.5 g hasta 2.4 g en un tiempo de 200 ms
- El siniestro moderado es considerado con una fuerza de entre 2.5 g y 4.4 g en un lapso de 200 ms.
- El siniestro fuerte se considera con una desaceleración de 4.5 g o mayor en un tiempo de 200 ms.
- El sensor está programado para que haga las mediciones cada 100 ms.

Cabe destacar que, si se desea instalar el sistema en otro vehículo, sólo es necesario ajustar y reprogramar los valores de fuerza g. Esto se puede realizar con base en los estudios y análisis ya desarrollados por los organismos de control de seguridad mencionados en la sección II.2, además, también pueden ser considerados los valores del HIC (Criterio de Daño en la Cabeza) mencionado en la sección II.8 del Capítulo II del presente documento.

III.7 Diagrama de flujo operacional

El sistema del asistente de apoyo postsiniestro está programado bajo la lógica operacional que muestra el diagrama de flujo de la Figura III-25.

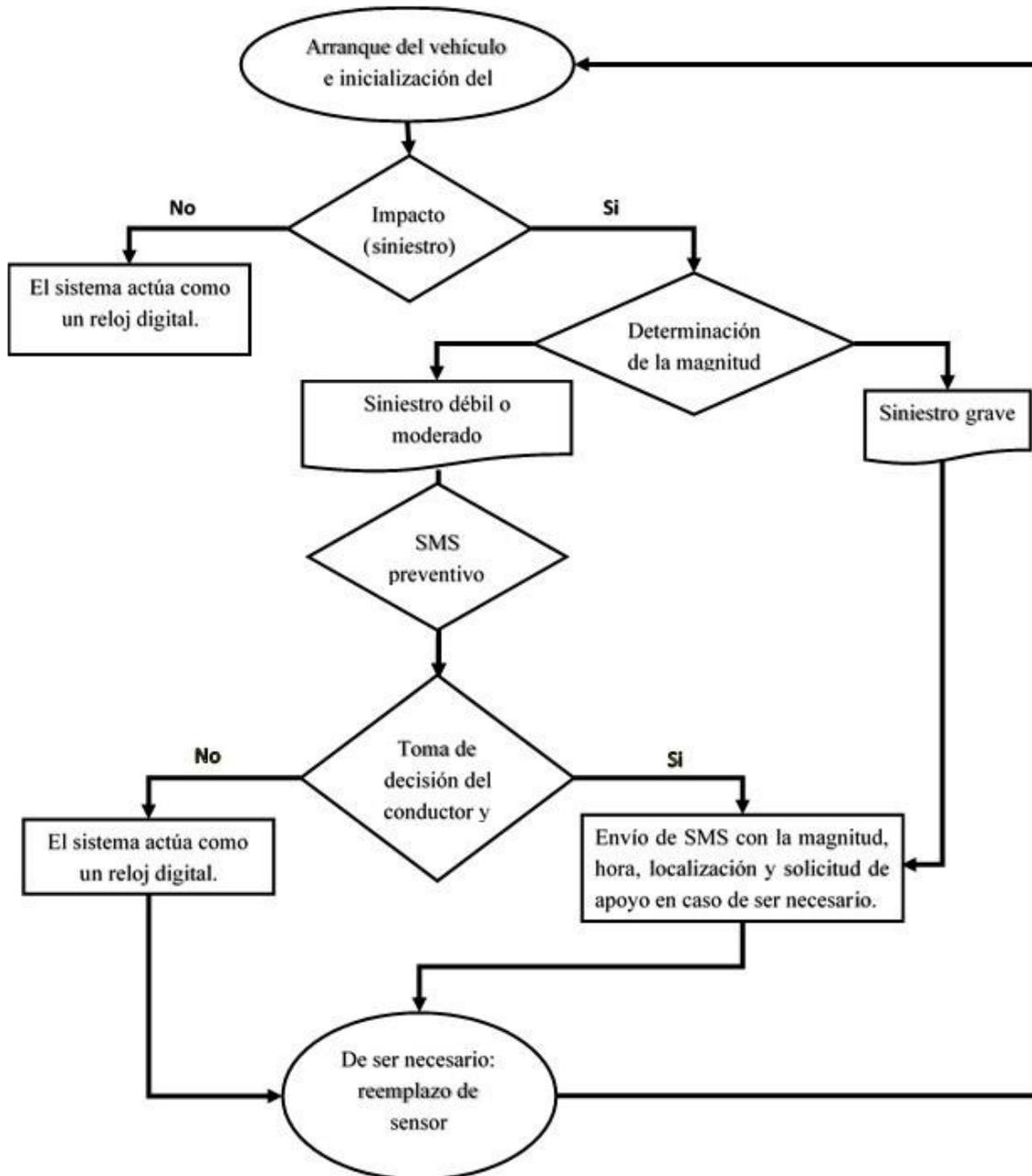


Figura III-25. Diagrama de flujo operacional del sistema.

III.8 Materiales y costos

En la Tabla III-9 se muestran los materiales utilizados para la construcción del prototipo a escala que es utilizado para realizar las pruebas de impactos.

Tabla III-9. Costos y materiales utilizados para la construcción del prototipo a escala.

Material	Imagen	Costo unitario	Número de unidades	Total
Carrito a RC		\$500	1	\$500
Batería de 12V		\$250	1	\$250
Cables Dupont		\$20	1	\$20
L298		\$50	1	\$50
BTS7960		\$400	1	\$400
Arduino UNO		\$180	1	\$180
Bluetooth HC-05		\$96	1	\$96
TOTAL				\$1 496

La Tabla III-10 muestra los materiales con sus costos utilizados para implementar el sistema del *asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo*.

Tabla III-10. Materiales y costos del sistema.

Material	Imagen	Costo unitario	Número de unidades	Total
Cables Dupont		\$20	3	\$60
Módulo GPS		\$185	1	\$185
Módulo GPRS		\$145	1	\$145
Acelerómetro ADXL345		\$180	1	\$50
LCD 20x4 2004		\$86	1	\$86
Arduino UNO		\$180	2	\$360
Adaptador I ² C		\$29	1	\$29
Bluetooth HC-05		\$96	2	\$192
Botón touch Ttp223b		\$25	2	\$50
TOTAL				\$1 157

Por lo que se puede concluir que la construcción del sistema implementado en el prototipo a escala tiene un costo total de \$2 646 MXN.

III.9 Sumario

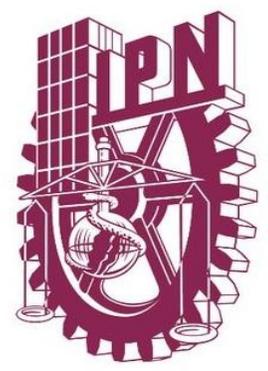
En este capítulo se presentó la adaptación física del prototipo a escala para colocar todos los componentes que conformaron el prototipo, así como, las conexiones correspondientes, el funcionamiento independiente y las especificaciones técnicas de estos. Estas últimas, fueron muy importantes ya que se logró un buen funcionamiento; hablando de consumo, rango, software y no menos importante el costo económico que representó. También se explicó la manera en la cual fueron integrados cada uno de los subsistemas, para lograr un correcto funcionamiento del sistema final. Del mismo modo se mostraron las lecturas del sensor, la importancia de éste y las fuerzas g que intervienen cuando ocurre un siniestro. Se adaptó un programa para la obtención de estas fuerzas, expresadas en forma de gráfica y finalmente, se presentan dos tablas en donde se describen los materiales y los costos del prototipo con el sistema creado.

III.10 Referencias

- [1] Administrador, «Tecno Autos,» Tecno Autos, 4 Abril 2011. [En línea]. Available: <https://tecnoautos.com/automoviles/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-del-ford-f-250-ensamblado-en-2007/>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [2] H. Toys, «Los 24 mejores camiones de juguete F250,» Heap Toys, 05 Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://www.heaptoys.com/24-top-f250-toy-trucks>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [3] Outlines, «All Ford Blueprints,» Outlines, 2007. [En línea]. Available: <https://getoutlines.com/blueprints/6218/2007-ford-super-duty-regular-cab-pickup-truck-blueprints>. [Último acceso: 18 04 2020].
- [4] Pololu Robotics & Electronics, «Pololu.com,» [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/2191>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [5] Vistronica, «Vistronica.com,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/robotica/motores/drivers-de-motores/modulo-puente-h-bts7960-de-43a-detail.html>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [6] Naylamp Mechatronics SAC, «naylampmechatronics.com,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html>. [Último acceso: 18 Abril 2020].

- [7] Naylamp Mechatronics SAC, «<https://naylampmechatronics.com>,» [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html?search_query=hc-05&results=67. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [8] Electronicos Caldas, «electronicoscaldas.com/,» [En línea]. Available: <https://www.electronicoscaldas.com/es/modulos-rf/452-modulo-bluetooth-hc-05.html>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [9] Geek Factory, «geekfactory.mx,» [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/adxl345-acelerometro-digital-3-ejes>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [10] Analog Devices, Inc., «Digital Accelerometer ADXL345,» 2008. [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/254714/AD/ADXL345.html>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [11] CDMX Electronica, «cdmxelectronica.com,» [En línea]. Available: <https://www.cdmxelectronica.com/producto/mdulo-gps-neo6mv2/>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [12] CDMX Electronica, «cdmxelectronica.com,» [En línea]. Available: <https://www.cdmxelectronica.com/producto/modulo-iot-g-a6-gsm-gprs-soporta-chip-4g/>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [13] CDMX Electronica, «cdmxelectronica.com,» [En línea]. Available: <https://www.cdmxelectronica.com/producto/display-lcd-20x4-lcd2004/>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [14] Infineon Technologies AG, «High Current PN Half Bridge,» Diciembre 2004. [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/152658/INFINEON/BTS7960B.html>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [15] STMicroelectronics, «L298 DUAL FULL-BRIDGE DRIVER,» 2000. [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [16] A. L. Herrera May, Á. R. Cortés Pérez, L. A. Aguilera Cortés y L. García González, «Microacelerómetros para la industria automotriz,» REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA, vol. XXII, n° 2, 2009.

Capítulo IV



IV. Análisis de resultados

En este capítulo se hace un análisis de los resultados obtenidos tras realizar las pruebas de siniestros simuladas en donde se miden variables como: velocidad, fuerza y energía de impacto (entre otras). Además, se presentan algunas pruebas realizadas para así poder validar el funcionamiento del sistema en los tipos de siniestros propuestos: leve, moderado y grave.



Asistente de Apoyo Postsiniestro para la Localización del Vehículo

Una vez que se validó que todos los subsistemas operan como un solo sistema integral que cumple satisfactoriamente con los objetivos descritos en este trabajo, se procedió a realizar las pruebas de impacto simulando siniestros. Estas pruebas se realizaron con el prototipo a escala que se implementó anteriormente impactándolo contra un muro de ladrillo con cubierta de cemento. En las pruebas de impacto fue necesario medir variables como la distancia y el tiempo, esto con el objetivo de poder desarrollar un análisis en donde se determinan más variables de interés como: velocidad, aceleración, fuerza y energía de impacto.

En la Tabla IV-1 se resumen las pruebas que se realizaron para obtener los resultados buscados que validan la función del sistema establecida en los objetivos.

Tabla IV-1. Resumen de pruebas de siniestros realizadas.

Tipo de siniestro		Potencia [%]	Distancia [m]	Tiempo [s]	Velocidad [m/s]	Aceleración [m/s ²]	Fuerza de impacto [N]	Energía de impacto [J]
Magnitud	Nombre							
Leve	Apoyo denegado	15	0.25	0.86	0.2907	0.1690	1.2000	0.3000
	Apoyo aceptado	15	0.25	0.84	0.2976	0.1772	1.2578	0.3144
Moderado	Apoyo denegado	30	0.50	0.66	0.7576	0.5739	4.0748	2.0374
	Apoyo aceptado	30	0.50	0.68	0.7353	0.5407	3.8387	1.9193
Grave	Siniestro grave	100	1.0	0.55	1.8182	1.6529	11.7355	11.7355

De la Tabla IV-1 se describe lo siguiente:

- Potencia [%]: la potencia se refiere al porcentaje de PWM que se les da a los motores eléctricos de la tracción del prototipo a escala, esta se regula a través de la aplicación móvil previamente configurada.
- Distancia [m]: la distancia fue medida a partir de una marca en donde el prototipo a escala arranca hasta la pared con la que este se impacta, varia de 50 cm hasta 100 cm según el tipo de siniestro provocado.

- Tiempo [s]: el tiempo fue medido por un cronómetro digital, este se midió a partir del arranque hasta el momento del siniestro. Cabe mencionar que el tiempo que aparece en las tablas es un tiempo promedio calculado después de por lo menos tres pruebas por cada tipo de siniestro.

IV.1 Velocidad de impacto

Para poder calcular la velocidad con la que el prototipo a escala se impactó para provocar el siniestro, se utilizó un modelo matemático relacionado con la cinemática (estudio de los movimientos). Debido a que los siniestros provocados se realizaron en línea recta, es necesario utilizar los modelos matemáticos descritos por el MRUA (Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado).

$$V = \frac{d}{t} \quad (IV.1)$$

En donde:

- V = velocidad del cuerpo en el instante analizado.
- d = distancia del desplazamiento del cuerpo.
- t = tiempo que duró el desplazamiento del cuerpo.

Realizando una demostración del cálculo de la velocidad del prototipo a escala en el momento del impacto y con los valores del *siniestro leve* mostrados en la Tabla IV-1 se tiene:

$$V = \frac{d}{t} \quad \rightarrow \quad V = \frac{0.25 (m)}{0.86 (s)} \quad \therefore \quad V = 0.2907 \frac{m}{s} \quad (IV.2)$$

Para los demás tipos de siniestros provocados para la validación del sistema se utiliza el mismo procedimiento de determinación de velocidad en el momento del impacto.

Debido a que la velocidad que se determinó considera la distancia total del trayecto del siniestro simulado, esta velocidad es la velocidad final que alcanza el prototipo a escala, por lo que se puede decir que es la velocidad de impacto.

IV.2 Aceleración del cuerpo

La física señala que, si un cuerpo varía su velocidad respecto al tiempo, este se está acelerando. Respetando este principio y considerando otro modelo matemático del MRUA, es posible calcular la aceleración que sufre el prototipo a escala durante el desplazamiento de las pruebas provocadas.

$$vf^2 = vo^2 + 2ad \quad (IV.3)$$

En donde:

- vf = Velocidad final.
- vo = Velocidad inicial.
- a = Aceleración.
- d = Distancia recorrida.

Considerando que el cuerpo parte del reposo, la velocidad inicial es igual a cero, por lo que despejando la aceleración se obtiene el siguiente modelo matemático.

$$a = \frac{vf^2}{2d} \quad (IV.4)$$

Realizando una demostración del cálculo de la aceleración del prototipo a escala en el momento del impacto y con los valores del *siniestro leve* mostrados en la Tabla IV-1 se tiene:

$$a = \frac{vf^2}{2d} \rightarrow a = \frac{(0.2906 \text{ m/s})^2}{2(0.25\text{m})} \quad \therefore \quad a = 0.1690 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (IV.5)$$

Debido a que se utiliza la velocidad final que es considerada como la velocidad de impacto, la aceleración calculada es la que alcanza el prototipo a escala hasta el momento del siniestro. El mismo procedimiento se realiza para los demás tipos de siniestros simulados.

IV.3 Fuerza de impacto

Retomando la información citada en la sección II.6.1 del Capítulo II del presente documento, la fuerza que impacta un vehículo en una colisión o siniestro está estrechamente relacionada con la masa y la aceleración de este. A su vez, estas variables están relacionadas con la segunda ley de Newton, por lo que para determinar la fuerza de impacto se recurre a utilizar este modelo matemático propuesto por Newton.

$$F = m \cdot a \quad (IV.6)$$

Donde:

(F) = Fuerza.

(m) = Masa.

(a) = Aceleración.

Para los cálculos de la fuerza de impacto del siniestro simulado se toma en cuenta la masa total de prototipo a escala construido, esta medida se obtuvo con una báscula mecánica y es de 7.1 Kg.

Realizando una demostración del cálculo de la fuerza de impacto del prototipo a escala en el momento del siniestro y con los valores del *siniestro leve* mostrados en la Tabla IV-1 se tiene:

$$F = m \cdot a \rightarrow F = (7.1kg) (0.1688 \frac{m}{s^2}) \quad \therefore \quad F = 1.2000 N \quad (IV.7)$$

Tomando en cuenta que la aceleración que se considera para el cálculo de la fuerza es la que se genera hasta el momento de impacto, se concluye que la fuerza determinada con esta expresión es la fuerza de impacto que se desarrolla en el siniestro. Para los demás tipos de siniestros provocados para la validación del sistema se utiliza el mismo procedimiento de determinación de la fuerza que se desarrolla en el momento del impacto.

IV.4 Energía de impacto

Retomando lo descrito en la sección II.6 del Capítulo II del presente documento, la energía liberada en un siniestro, la determina la velocidad, junto al peso del o los vehículos involucrados. Por lo que se hace uso del modelo matemático comúnmente utilizado para determinar la energía cinética del cuerpo.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{IV.8})$$

Donde:

(E_c) = Energía cinética del cuerpo.

(m) = La masa del cuerpo.

(v^2) = El cuadrado de la velocidad.

Efectuando una demostración del cálculo de la energía de impacto del prototipo a escala en el momento del siniestro, con los valores del *siniestro leve* mostrados en la Tabla IV-1 y considerando la masa total del prototipo con un valor de 7.1 kg. se tiene:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow E_c = \frac{1}{2}(7.1kg)(0.2906)^2 \quad \therefore \quad E_c = 0.3000 J \quad (\text{IV.9})$$

Debido a que se utiliza la velocidad considerada para el cálculo de energía de impacto, es la que alcanza el prototipo a escala hasta el momento del siniestro, se considera que la energía determinada en los cálculos es la energía liberada en el momento del impacto. El mismo procedimiento se realiza para los demás tipos de siniestros simulados.

Cabe mencionar que se hizo uso de la expresión matemática de la energía cinética debido a que, por motivos económicos y de acceso a equipos especiales para realizar las mediciones necesarias, no se hace uso del modelo matemático descrito en la sección II.6.2 del Capítulo II del presente documento. Ya que, en esta expresión matemática se requiere de la energía consumida en el aplastamiento, la cual es difícil determinar debido al uso del prototipo a escala que no presentó deformaciones visibles para el ojo humano.

IV.5 Validación del sistema

Para validar y comprobar que es funcional el sistema del *asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo* que fue desarrollado e implementado en el prototipo a escala, se realizaron una serie de pruebas que se enfocan en provocar los siniestros en el prototipo a escala, pero para poder obtener las diferentes magnitudes de impactos que ejemplifican los tres tipos de siniestros (leve, moderado y graves) propuestos en el proyecto, fue necesario estar modificando variables como la distancia de la prueba de impacto y la potencia de los motores de tracción del prototipo a escala.

Las pruebas realizadas para validar el funcionamiento en siniestros leves y moderados se resumen en dos tipos básicos: apoyo denegado y apoyo aceptado.

- Apoyo denegado, se basa en provocar el siniestro, al asistente envía un SMS preventivo notificando que se sufrió un siniestro, le avisa al conductor que se envió y unos segundos después le cuestiona si requiere o no solicitar apoyo, al decidir que no necesita apoyo, el asistente ya no envía ningún mensaje de texto y segundos después vuelve a comportarse como un reloj digital.
- Apoyo aceptado, al igual que el apoyo denegado, se provoca el siniestro, al asistente envía un SMS preventivo y notifica al conductor, segundos después le cuestiona si requiere o no solicitar apoyo, al decidir que, si necesita apoyo, el asistente envía un mensaje de texto con el tipo de siniestro que sucedió, la fecha, la hora, la localización en tiempo real y una solicitud apoyo; segundos después vuelve a comportarse como un reloj digital.

Sin embargo, al sensarse un siniestro grave, inmediatamente el sistema del asistente envía un SMS con el tipo de siniestro que sucedió, la fecha, la hora, la localización en tiempo real y una solicitud apoyo urgente.

A continuación, se muestra una serie de fotografías de la operación del sistema desarrollado.

IV.5.1 Siniestro leve

Para comprobar que el sistema desarrollado desempeña un correcto funcionamiento para detectar siniestros leves se realizaron una serie de pruebas para provocar impactos en el prototipo a escala. Recordando que el sistema está programado para activarse en siniestros leves a una desaceleración con un valor de 1.5 g. Aproximadamente 90 segundos posteriores al encendido del sistema el GPS y GPRS han adquirido señal y la interfaz gráfica comenzará a comportarse como reloj digital mostrando la fecha y la hora.

IV.5.1.1 Apoyo denegado

Como ya se mencionó, al encenderse el auto, el sistema igual se enciende y se comporta como un reloj digital mostrando la hora y la fecha (Figura IV-1).

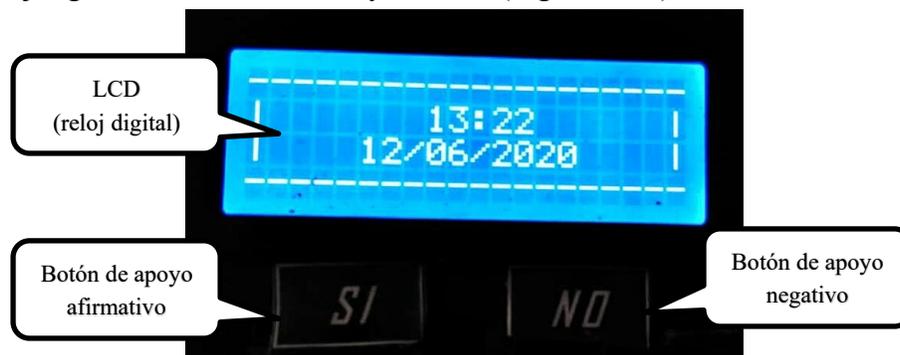


Figura IV-1. Interfaz gráfica mostrando la hora (13:22) y la fecha (12/06/2020).

Cuando se presenta un siniestro leve el asistente muestra en la LCD un mensaje informando que se ha suscitado el siniestro y se ha enviado un SMS preventivo. La Figura IV-2 muestra el mensaje que arroja la interfaz gráfica cuando se detecta un siniestro leve.

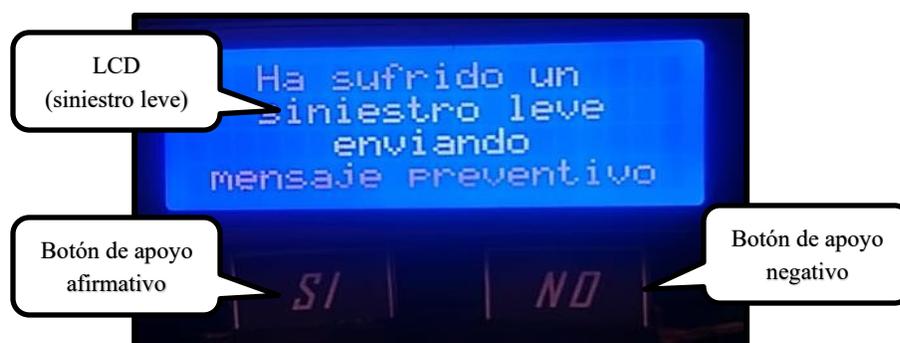


Figura IV-2. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro leve, enviando mensaje preventivo".

Pasados 5 segundos el asistente consulta al usuario si desea recibir apoyo o denegarlo, solicitando presione la opción que prefiera, la Figura IV-3 muestra la interfaz gráfica mostrado el mensaje. El sistema le otorga al usuario 10 segundos para decidir si requiere o no apoyo en el siniestro leve.



Figura IV-3. Interfaz gráfica con el mensaje "Solicitar asistencia. Mantenga presionado (Si / No).

Si la respuesta es negativa se mostrará un mensaje informando al usuario que se negó el apoyo y el SMS que el sistema envía igual lo negará. La Figura IV-4 muestra el mensaje de asistencia denegada arrojado por la interfaz gráfica.



Figura IV-4. Interfaz gráfica con mensaje "Asistencia denegada. Que tenga usted un Buen día".

Segundos después de que el sistema imprime este mensaje de negación en la interfaz gráfica, esta vuelve a operar como un reloj digital mostrando la hora y fecha. Por otro lado, la Figura IV-5 muestra una captura de pantalla del mensaje de texto SMS recibido después de provocar el siniestro leve y el SMS recibido cuando se denegó el apoyo.

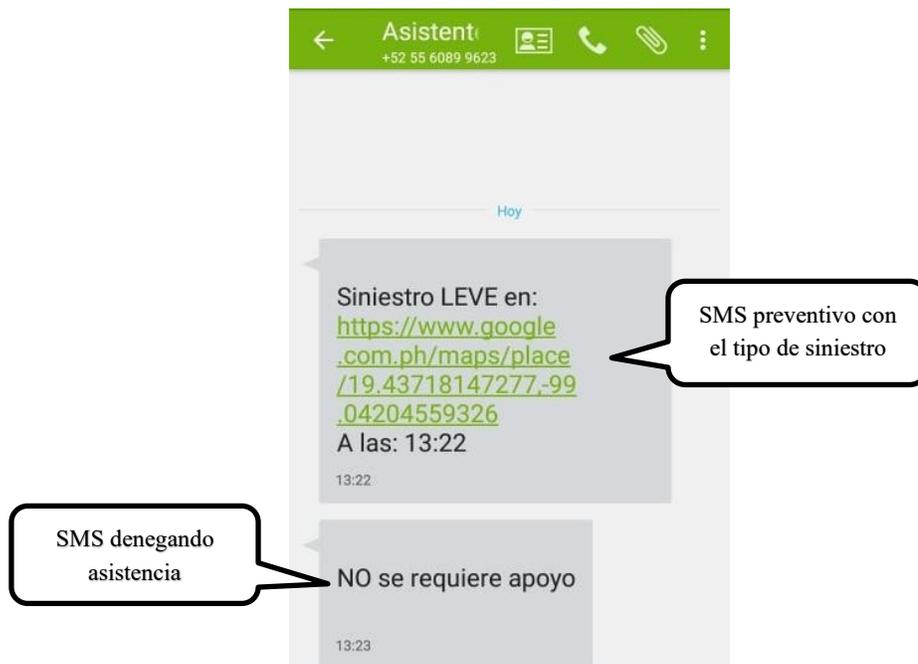


Figura IV-5. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la negación del apoyo.

Para esta segunda prueba de siniestro leve se deja que el sistema regrese a su estado natural (actuando como reloj digital) como se muestra en la Figura IV-6. Esto para poder simular que si se requiere apoyo.



Figura IV-6. Interfaz gráfica como reloj digital mostrando la hora (17:21) y la fecha (12/06/2020).

Cuando se presenta un siniestro leve el asistente muestra en la interfaz gráfica un mensaje informando que se ha suscitado el siniestro y se ha enviado un SMS preventivo.

La Figura IV-7 muestra el mensaje imprimido en la interfaz gráfica.

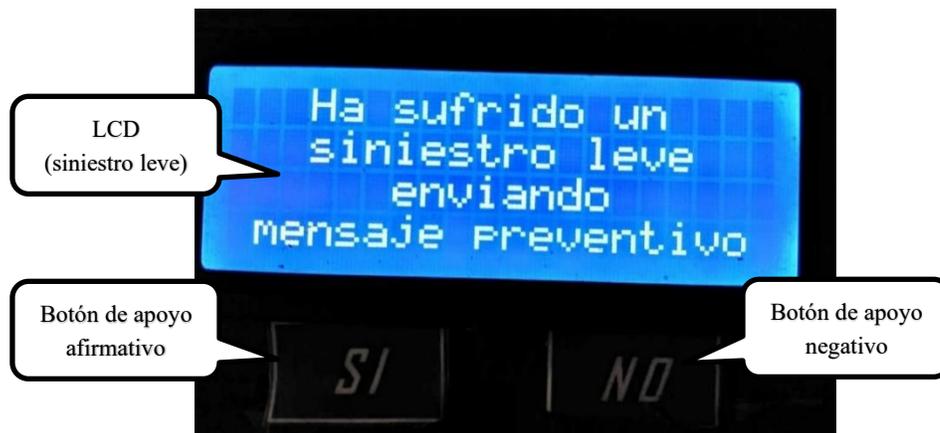


Figura IV-7. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro leve, enviando mensaje preventivo".

Pasados 5 segundos el asistente consulta al usuario si desea recibir apoyo o denegarlo, solicitando presione la opción que prefiera, la Figura IV-8 muestra la interfaz gráfica mostrado el mensaje. El sistema le otorga al usuario 10 segundos para decidir si requiere o no apoyo en el siniestro leve.



Figura IV-8. Interfaz gráfica con el mensaje "Solicitar asistencia. Mantenga presionado (Si / No)".

En caso de que la respuesta sea afirmativa, la interfaz gráfica mostrará un mensaje informando que se ha solicitado el apoyo y que el usuario mantenga la calma, mientras envía un SMS solicitando el apoyo, tal como se muestra en la Figura IV-9.



Figura IV-9. Interfaz gráfica con el mensaje "Apoyo solicitando, mantenga la calma".

Segundos después de que el sistema imprime este mensaje en la interfaz gráfica, esta vuelve a operar como un reloj digital mostrando la hora y fecha. Por otro lado, la Figura IV-10 muestra una captura de pantalla del mensaje de texto SMS recibido después de provocar el siniestro leve y el SMS recibido solicitando el apoyo.

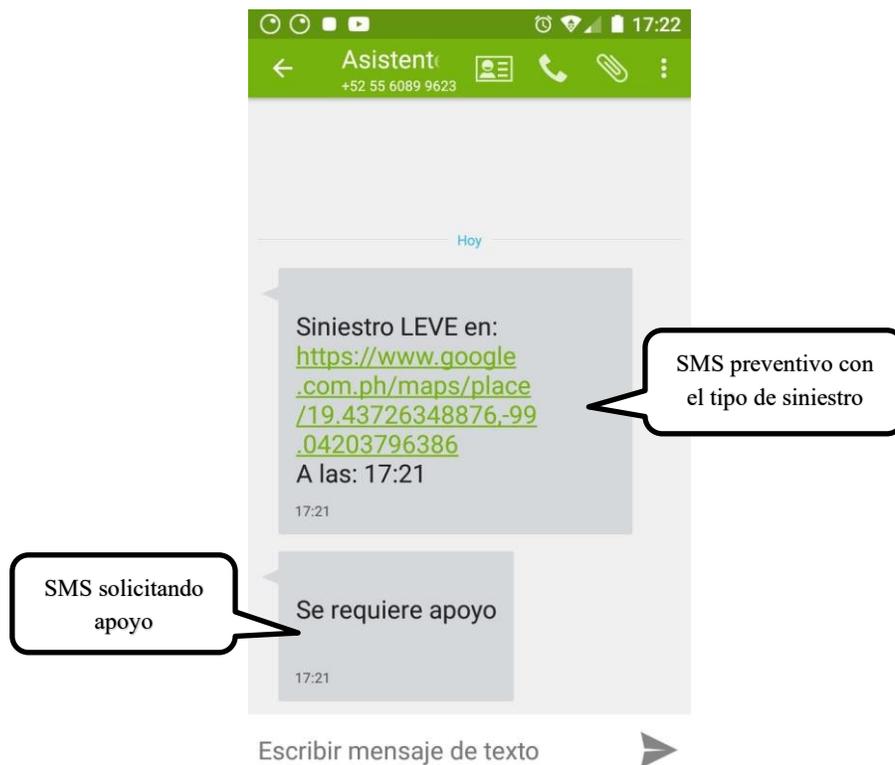


Figura IV-10. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la solicitud del apoyo.

IV.5.2 Siniestro moderado

Para comprobar que el sistema desempeña un correcto funcionamiento para detectar siniestros moderados se provocaron impactos en el prototipo a escala. Recordando que el sistema está programado para activarse en siniestros moderados a una desaceleración con un valor de 2.5 g. Aproximadamente 90 segundos posteriores al encendido del sistema el GPS y GPRS han adquirido señal y la interfaz gráfica comenzará a comportarse como reloj digital mostrando la fecha y la hora.

IV.5.2.1 Apoyo denegado

Como ya se mencionó, al encenderse el auto, el sistema igual se enciende y se comporta como un reloj digital mostrando la hora y la fecha (Figura IV-11).



Figura IV-11. Interfaz gráfica como reloj mostrando la hora (17:23) y la fecha (12/06/2020).

Cuando se presenta un siniestro moderado, el asistente muestra en la interfaz gráfica un mensaje informando que se ha suscitado el siniestro y se ha enviado un SMS preventivo. La Figura IV-12 muestra el mensaje cuando se detecta un siniestro moderado.

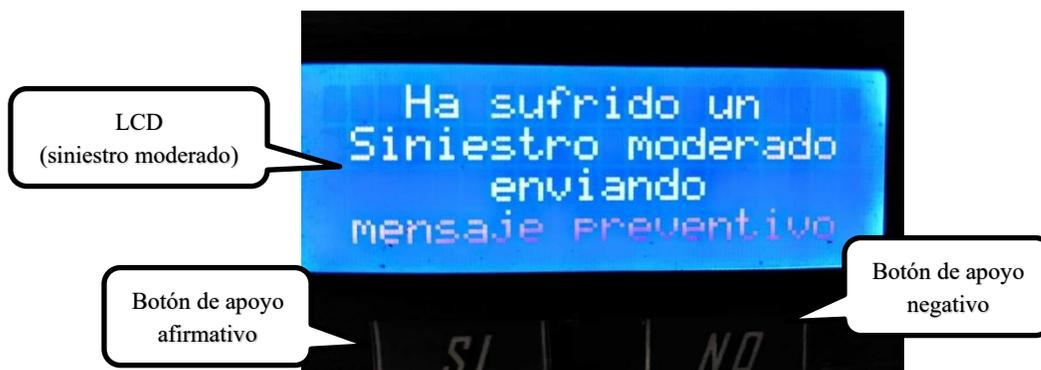


Figura IV-12. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro moderado, enviando mensaje preventivo".

Pasados 5 segundos el asistente consulta al usuario si desea recibir apoyo o denegarlo, solicitando presione la opción que prefiera, la Figura IV-13 muestra la interfaz gráfica mostrado el mensaje. El sistema le otorga al usuario 15 segundos para decidir si requiere o no apoyo en el siniestro moderado.



Figura IV-13. Interfaz gráfica con el mensaje "Solicitar asistencia. Mantenga presionado (Si / No).

Si la respuesta es negativa se mostrará un mensaje informando al usuario que se negó el apoyo y el SMS que el sistema envía igual lo negará. La Figura IV-14 muestra el mensaje de asistencia denegada arrojado por la interfaz gráfica.

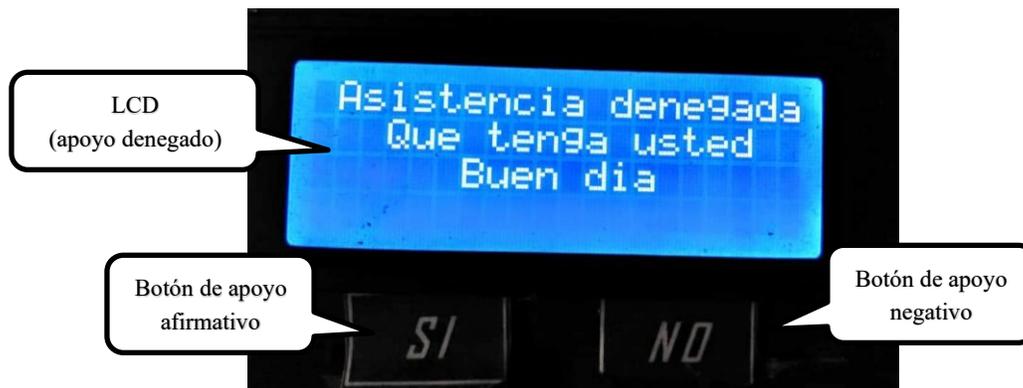


Figura IV-14. Interfaz gráfica con mensaje "Asistencia denegada. Que tenga usted un Buen día".

Segundos después de que el sistema imprime este mensaje de negación en la interfaz gráfica, esta vuelve a operar como un reloj digital mostrando la hora y fecha. Por otro lado, la Figura IV-15 muestra una captura de pantalla del mensaje de texto SMS recibido después de provocar el siniestro leve y el SMS recibido cuando se denegó el apoyo.

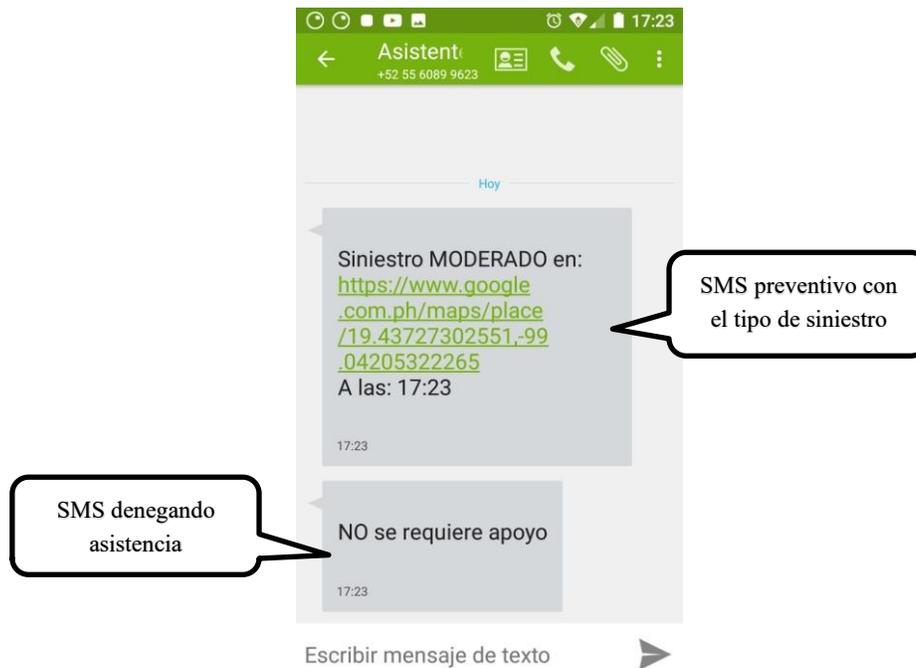


Figura IV-15. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la negación del apoyo

IV.5.2.2 Apoyo aceptado

Para esta segunda prueba de siniestro moderado se deja que el sistema regrese a su estado natural (actuando como reloj digital) como se muestra en la Figura IV-16. Esto para poder simular que si se requiere apoyo.

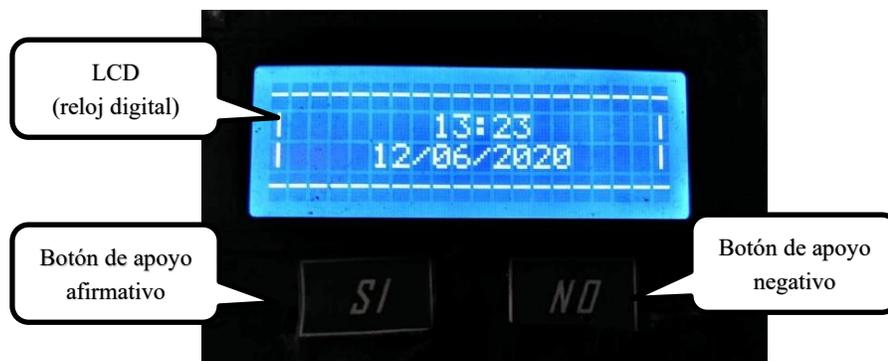


Figura IV-16. Interfaz gráfica como reloj digital mostrando hora (13:23) y fecha (12/06/2020).

Cuando se presenta un siniestro moderado el asistente muestra en la interfaz gráfica un mensaje informando que se ha suscitado el siniestro y se ha enviado un SMS preventivo. La Figura IV-17 muestra el mensaje imprimido en la interfaz gráfica.

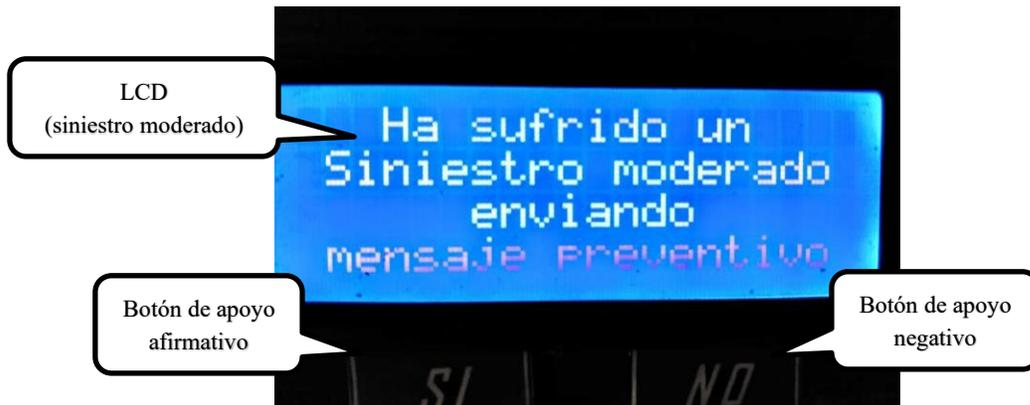


Figura IV-17. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro moderado, enviando mensaje preventivo".

Pasados 5 segundos el asistente consulta al usuario si desea recibir apoyo o denegarlo, solicitando presione la opción que prefiera, la Figura IV-18 muestra la interfaz gráfica mostrado el mensaje. El sistema le otorga al usuario 15 segundos para decidir si requiere o no apoyo en el siniestro leve.



Figura IV-18. Interfaz gráfica con el mensaje "Solicitar asistencia. Mantenga presionado (Si / No)."

En caso de que la respuesta sea afirmativa, la interfaz gráfica mostrará un mensaje informando que se ha solicitado el apoyo y que el usuario mantenga la calma, mientras envía un SMS solicitando el apoyo, tal como se muestra en la Figura IV-19.



Figura IV-19. Interfaz gráfica con el mensaje "Apoyo solicitando, mantenga la calma".

Segundos después de que se imprime este mensaje en la interfaz gráfica, esta regresa como reloj digital mostrando la hora y fecha. Por otro lado, la Figura IV-20 muestra una captura de pantalla del mensaje de texto SMS recibido después de provocar el siniestro leve y el SMS recibido solicitando el apoyo.

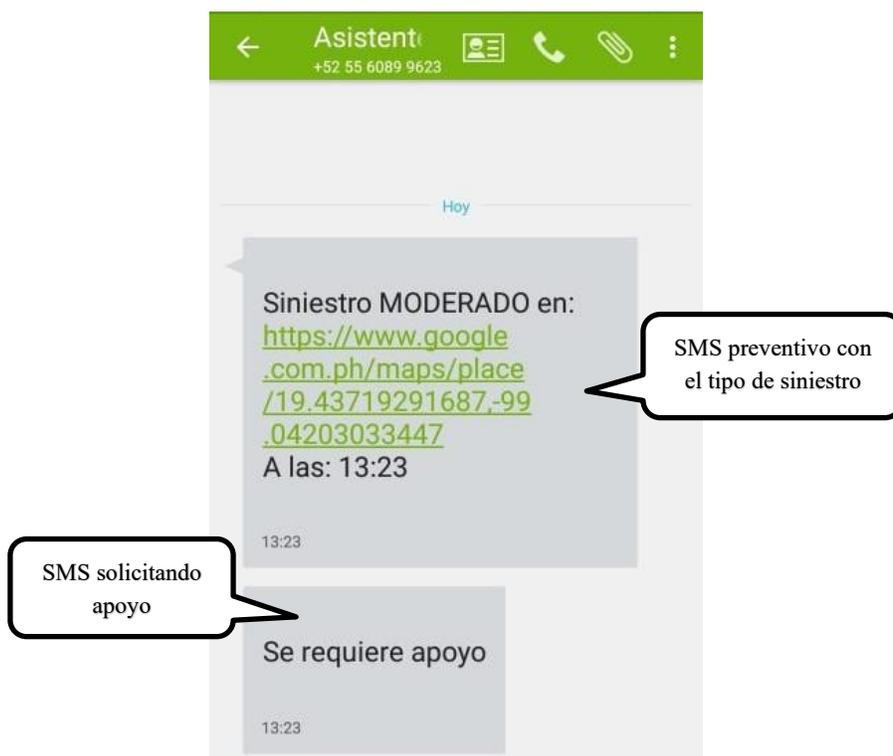


Figura IV-20. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la solicitud del apoyo.

IV.5.3 Siniestro grave

Finalmente, para comprobar que el sistema desempeña un correcto funcionamiento para detectar siniestros graves, se realizaron una serie de pruebas para provocar impactos que simulen siniestros graves. Recordando que el sistema está programado para activarse en siniestros graves a una desaceleración con un valor de 4.5 g. Aproximadamente 90 segundos posteriores al encendido del sistema el GPS y GPRS han adquirido señal y la interfaz gráfica comenzará a comportarse como reloj digital mostrando la fecha y la hora (Figura IV-21).

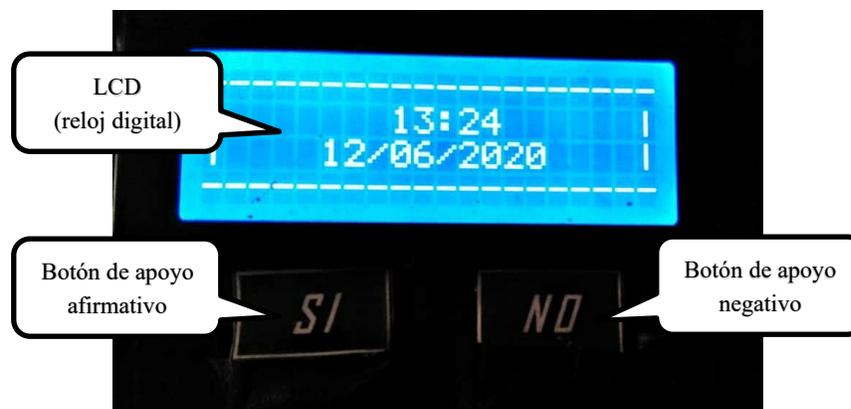


Figura IV-21. Interfaz gráfica como reloj digital mostrando hora (13:24) y fecha (12/06/2020).

En caso de que se presente un siniestro grave el cual ponga en peligro la vida del usuario o usuarios, el asistente automáticamente enviará el SMS solicitando apoyo al conductor y mostrará en la interfaz gráfica que se ha sufrido un siniestro grave (Figura IV-22).

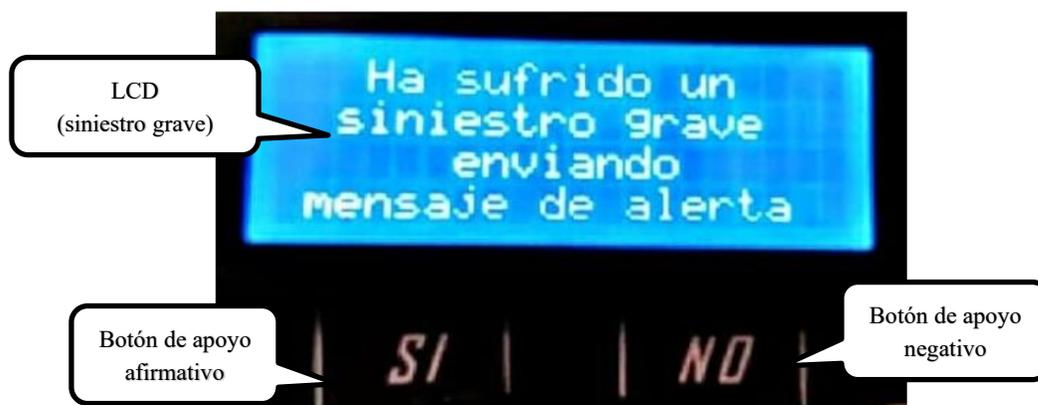


Figura IV-22. Interfaz gráfica con el mensaje "Ha sufrido un siniestro grave, enviando mensaje de alerta".

La Figura IV-23 muestra una captura de pantalla del mensaje de texto SMS recibido después de provocar el siniestro grave y el SMS recibido solicitando el apoyo inmediato.

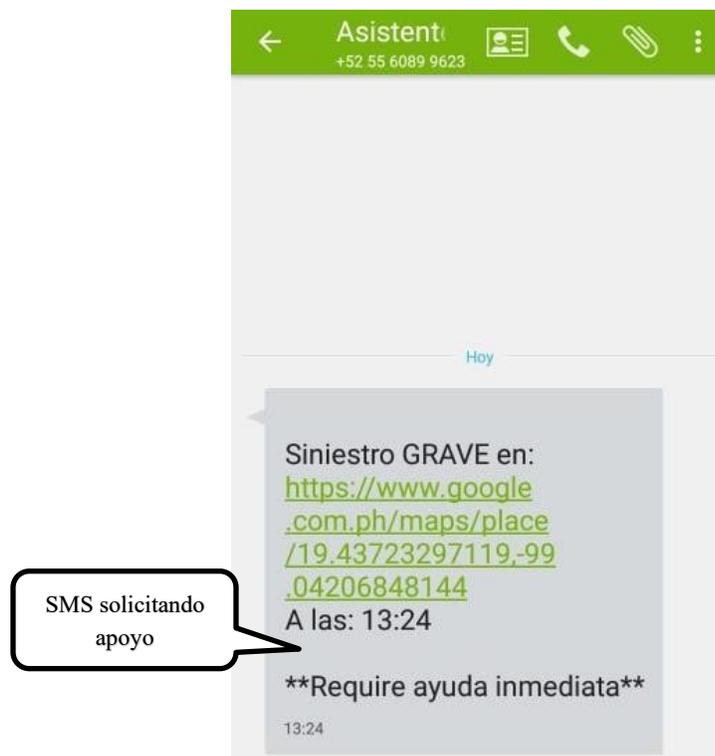


Figura IV-23. SMS recibidos con el tipo de siniestro, la localización, la hora y la solicitud del apoyo.

IV.5.4 Localización en tiempo real

En los 3 tipos de siniestros (leve, moderado y grave) propuestos en el proyecto, en cualquiera de los dos casos de los siniestros leves y moderados, el mensaje de texto preventivo que el sistema envía a través del GPRS incluye una liga electrónica que recibe el *smartphone* programado. Al posicionar el dedo sobre ella, se abre la aplicación móvil de *Google Maps* o alguna otra aplicación móvil de geolocalización y se direcciona a la ubicación en tiempo real como se muestra en la Figura IV-24.

Por otro lado, el asistente mostró un error de localización de entre cinco y diez metros, estando dentro de una casa, por lo que al tratarse de un vehículo que se traslada en campo abierto, las coordenadas serán más precisas.

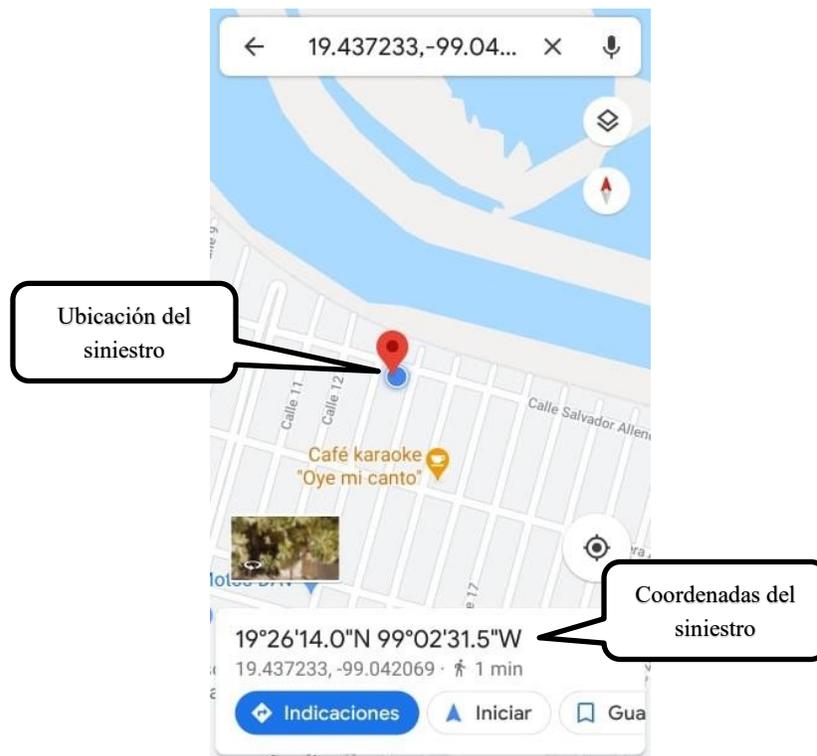


Figura IV-24. Localización en tiempo real del siniestro mostrada en Google Maps.

IV.6 Sumario

En este capítulo se presentó un análisis de los resultados obtenidos después de realizar las pruebas de siniestros simuladas en donde fue posible medir variables como: la distancia de la trayectoria de impacto, el tiempo que duró el vehículo en esta trayectoria hasta el momento del siniestro. Pero también fue posible calcular la velocidad en el instante del impacto, la aceleración que el prototipo desarrolló hasta el siniestro, la fuerza y la energía generada en el momento del impacto. Además, se incluye una recopilación de fotografías tomadas durante las pruebas de impacto simulando los tipos de siniestro propuestos: leve, moderado y grave; esto para poder comprobar y validar el adecuado funcionamiento del sistema del *Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo*. Finalmente, se mostró cómo es la localización en tiempo real que el sistema envía a través del mensaje de texto.

Conclusiones y trabajos a futuro

Al finalizar la implementación del sistema del *Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo* en el prototipo a escala y validar su adecuado funcionamiento con las pruebas de siniestros simuladas, se tienen las siguientes conclusiones:

Primera. – Es de suma importancia disponer con un sistema autónomo en el vehículo, ya que en caso de sufrir un siniestro se pueda solicitar apoyo con tan sólo presionar un botón para que se solicite apoyo en la ubicación del hecho.

Segunda. – El sistema logra reducir tiempos de respuesta en caso de siniestro. Esto comparándolo con las acciones comúnmente tomadas cuando se sufre un siniestro, ya que con el sistema desarrollado se solicita apoyo con tan sólo presionar un botón.

Tercera. – En la ciudad y sitios aledaños es posible que la señal de las redes telefónicas se pierda por unos instantes, por lo que el sistema desarrollado es funcional siempre y cuando exista señal de red telefónica.

Cuarta. – A futuro se pueden crear sensores y sistemas similares más precisos y eficientes para mejorar la determinación de los siniestros. En materia de seguridad pasiva se requiere de una buena infraestructura y presupuesto para realizar pruebas destructivas y así crear mejores sensores y sistemas. Sin embargo, el aporte de este sistema es funcional.

Quinta. – Es posible implementar el sistema en autos de gama media, baja e incluso alta al ser accesible, de bajo costo; pero, sobre todo, reprogramable y ajustable a las características del vehículo.

Sexta. – El sistema desarrollado implementa comunicación inalámbrica con tecnología Bluetooth, esto con el objetivo de aprovechar las nuevas tecnologías y reducir líneas de comunicación alámbricas. Además, se consigue una instalación más fácil y rápida.

A lo largo del desarrollo e implementación del sistema, se pensaron e idearon diferentes trabajos para realizar en un futuro, algunos de ellos aportan mejoras sustanciales y otros, variables que puede tomar el sistema del *Asistente de apoyo postsiniestro para la localización del vehículo*. A continuación, se presentan los trabajos a futuro ideados.

- En un futuro el sistema podrá contar no solo con conexión a la red telefónica con tecnología 2G, sino que el GPRS instalado soporta una red 4G en donde se puede hacer uso de Internet para envío de mensajes en medios electrónicos como páginas web, bases de datos en línea e incluso servicios de mensajería modernos como, por ejemplo: Messenger© o WhatsApp©.
- Se puede mejorar el sistema de sensado con el uso de un acelerómetro más sofisticado, preciso y con mayor rango de lectura. Así como, desarrollar un filtro que entregue mediciones más precisas, expeditas y rápidas.
- Uso de tarjetas de desarrollo o microcontroladores con mayor procesamiento de información para una lectura y escritura más rápida.
- Se puede implementar una interfaz gráfica táctil, con tecnología LED y gama de colores RGB para una interacción de mejor calidad y más intuitiva para el usuario.
- Sería ideal establecer un convenio con alguna aseguradora automotriz para disminuir aún más los tiempos de respuesta ante un siniestro y así se pueda solucionar el percance de la mejor manera posible.
- Posibilidad de interactuar con los servicios de emergencia y realizar llamadas al 911, esto para el caso de que se necesite un apoyo especial como: bomberos, ambulancias, abogados; se pueda solicitar su apoyo de manera directa y sea más rápida y eficiente la atención del percance.