



**Prototipo de un emulador de conducción vehicular a escala mediante la
implementación de tecnología inmersiva y telepresencia orientada al conductor**

Almeida Zurita, Dayana Estefanía y Vinueza Bustamante, Bryan Steven

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones

Dr. Lara Cueva, Román Alcides

29 de noviembre del 2020



Document Information

Analyzed document	Tesis_Almeida_Vinueza.pdf (D94666043)
Submitted	2/5/2021 12:29:00 AM
Submitted by	
Submitter email	dayana_alm@hotmail.com
Similarity	0%
Analysis address	ralara.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://docplayer.es/2321554-liv-semana-nacional-de-ingenieria-electronica.html Fetched: 5/11/2020 10:02:55 PM	 1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Trabajo_Titulacion_Aguirre_Marco.pdf Document Trabajo_Titulacion_Aguirre_Marco.pdf (D44011024) Submitted by: meaguirre3@espe.edu.ec Receiver: ralara.espe@analysis.arkund.com	 2



Firmado electrónicamente por:
ROMAN
ALCIDES LARA



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Prototipo de un emulador de conducción vehicular a escala mediante la implementación de tecnología inmersiva y telepresencia orientada al conductor.”** fue realizado por los señores **Almeida Zurita, Dayana Estefanía; Vinueza Bustamante, Bryan Steven**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 8 de febrero del 2021

Firma:



Dr. Lara Cueva, Román Alcides

C.C. 1713988218



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Almeida Zurita, Dayana Estefanía y Vinueza Bustamante, Bryan Steven**, con cédulas de ciudadanía n° 0604014076 y 1725509119 , declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Prototipo de un emulador de conducción vehicular a escala mediante la implementación de tecnología inmersiva y telepresencia orientada al conductor.”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 8 de febrero del 2021

Firma:

Almeida Zurita, Dayana Estefanía
C.C.: 0604014076

Vinueza Bustamante, Bryan Steven
C.C.: 1725509119



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Almeida Zurita, Dayana Estefanía y Vinueza Bustamante, Bryan Steven**, con cédulas de ciudadanía n° 0604014076 y 1725509119, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Prototipo de un emulador de conducción vehicular a escala mediante la implementación de tecnología inmersiva y telepresencia orientada al conductor.”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 8 de febrero del 2021

Firma:

Almeida Zurita, Dayana Estefanía
C.C.: 0604014076

Vinueza Bustamante, Bryan Steven
C.C.: 1725509119

Dedicatoria

A mis padres Luis y Paulina, por todo su amor y apoyo incondicional en cada paso y decisión que he dado, por ayudarme en los momentos más difíciles, sin su apoyo nada de esto sería posible. Espero que se sientan orgullosos de mí, los quiero mucho.

Y a mi hermana Monserrath mi mayor orgullo, todo lo que soy es gracias a ti, me has dado el mejor ejemplo que he podido tener, gracias por tu paciencia y amor, te quiero mucho y te extraño.

Dayana Estefanía Almeida Zurita

Este trabajo se lo dedico a mis padres Marcos y Gloria, los cuales se esforzaron día tras día para que pueda culminar mis estudios, son mi modelo a seguir que, por medio de sus enseñanzas, y cariño me enseñan que rendirme nunca es una opción y siempre perseguir mis sueños e ideas.

A mis hermanos Karen y Marco, que siempre confiaron en mi para alcanzar esta meta y fueron mi fuente de motivación e inspiración.

A mis amigos y compañeros que llegue a conocer durante esta etapa, los que llevare en cada uno de mis recuerdos por medio de inmemorables experiencias.

Bryan Steven Vinueza Bustamante

Agradecimientos

Agradezco primero a Dios y a María Auxiliadora por permitirme terminar mi carrera con buena salud y con toda mi familia unida.

Agradezco a mis padres, por todo lo que me han dado, por cada consejo, por cada palabra de apoyo, por darme todas las comodidades y oportunidades para yo poder estudiar en otra ciudad, y sobre todo por ser unos padres amorosos con sus hijas. Somos una super familia.

Gracias a mi hermana por su paciencia y por los buenos momentos que hemos tenido siempre, te quiero mucho y estoy muy orgullosa de todos tus logros, vas a ser la mejor neuróloga del país.

Agradezco a mis mejores amigas Daya y Hela, por su hermosa amistad, por las locuras que hemos compartido juntos y por apoyarme y oírme cada vez que las necesito, no puedo estar más agradecida de tenerles como amigas.

Gracias a mi tutor de tesis el Ing. Román Lara y a mi compañero de tesis Monito, por toda su ayuda y experiencia que hemos vivido, lo logramos ingeniero. Gracias a todos, los quiero mucho.

Dayana Estefanía Almeida Zurita

Primeramente, agradezco a mis padres, que por medio de su sacrificio y esfuerzo me permitieron cumplir uno de mis más grandes sueños, poder realizar mis estudios en esta bella y prestigiosa carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones.

Agradezco también a mi tutor de Tesis el Ing. Román Lara, que me permitió desarrollar este trabajo a partir de una idea que tuvimos con mi compañera Dayana Almeida, y que por medio de su asesoría y recomendaciones pudimos llevarlo a cabo.

Mi agradecimiento también va dirigido a mi querida prima Andrea, ya que siempre ha confiado en mí y me ha brindado su total apoyo para poder abrirme paso poco a poco en el ámbito profesional con sus consejos y experiencias.

Para finalizar, también agradezco a mis compañeros y amigos de clase que, durante este trayecto en la universidad, con su amistad, conocimientos y vivencias hicieron de cada uno de los días sean más a menos.

Gracias a todos.

Bryan Steven Vinueza Bustamante

Índice de Contenidos

Contenido	
Urkund.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Índice de Contenidos.....	9
Índice de Tablas	13
Índice de Figuras.....	14
Resumen.....	20
Palabras Clave	20
Abstract.....	21
Key Words.....	21
Capítulo I.....	22
Introducción.....	22
Introducción del Proyecto de Investigación	22
Antecedentes.....	24
Motivación e Importancia	28
Alcance.....	30

	10
Objetivos.....	32
Objetivo General	32
Objetivos Específicos	32
Trabajos relacionados.....	33
Respuesta a Velocidad.....	33
Respuesta a Impactos.....	35
Respuesta a Ambientes	36
Capítulo II.....	37
Materiales y Métodos	37
Materiales	37
Microcontrolador Esp8266.....	37
Controlador PWM (Pulse Width Modulation)	40
Puente H	41
Módulo de Control Servo.....	42
Giroscopio.....	43
Encoder Infrarrojo.....	43
Router Inalámbrico o Access Point.....	44
Dispositivo Móvil.....	46
Actuadores Vibrotáctiles.....	47
Metodología.....	48
Estación de control.....	49

	11
Sistema de comunicación.....	51
Sistema vehicular	51
Capítulo III.....	53
Implementación	53
Sistema Vehicular	54
Distribución Mecánica	55
Distribución Electrónica	57
Implementación del Módulo Encoder en el Vehículo	59
Volante	61
Sistema de Comunicación	62
Configuración Router.....	62
Direccionamiento IP	65
Configuración WiFi en Esp8266	65
Protocolo UDP.....	67
Protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport)	68
Node-RED.....	70
Interfaz	79
Sistema de Control	88
Transmisor del Control Vehicular.....	88
Receptor del Control Vehicular	91
Sistema Sensorial	95

Diseño de Dispositivo Háptico	95
Construcción del dispositivo háptico	97
Generación de Patrones de Vibración	101
Capítulo IV	119
Pruebas y Resultados	119
Pruebas en ambiente externo con línea de vista	119
Pruebas de alcance en ambiente interno sin línea de vista	125
Pruebas de transmisión de video en banda de 5GHz	129
Análisis de resultados en ambiente externo con línea de vista	130
Análisis de resultados en ambiente interno sin línea de vista	132
Análisis de resultados de transmisión de video en 5GHz	134
Evaluación de percepción del dispositivo háptico	135
Análisis de costo	142
Capítulo V	146
Conclusiones y recomendaciones	146
Conclusiones	146
Recomendaciones	149
Trabajos futuros	149
Bibliografía	152
Anexos	156

Índice de Tablas

Tabla 1 Características principales del módulo ESP8266.	38
Tabla 2 Características del controlador PCA9685.	41
Tabla 3 Características del Puente H L298N.	42
Tabla 4 Características del router TP-LINK.	44
Tabla 5 Características de las diferentes versiones del estándar IEEE 802.11.	45
Tabla 6 Características Huawei Honor 8.	46
Tabla 7 Asignación de direcciones IP.	65
Tabla 8 Alcance del video en 5GHz.	129
Tabla 9 Resultados en ambientes con línea de vista.	131
Tabla 10 Margen de error en ambientes externos.	132
Tabla 11 Resultados obtenidos en ambientes sin línea de vista.	133
Tabla 12 Margen de error en ambientes internos.	134
Tabla 13 Costo materiales Dispositivo Háptico.	142
Tabla 14 Costo materiales Sistema vehicular.	143
Tabla 15 Costo materiales Sistema de comunicación.	144
Tabla 16 Costo materiales estación de control.	144
Tabla 17 Costo total del prototipo.	145

Índice de Figuras

Figura 1 Interacción de un robot operado a distancia con un paciente.....	26
Figura 2 Phantom Auto en operación.....	27
Figura 3 Distribución de actuadores en el hombro derecho.	34
Figura 4 Patrón de golpe vertical en el hombro izquierdo.	35
Figura 5 Motores activados para el patrón de lluvia.	36
Figura 6 Modulo ESP8266.....	38
Figura 7 Controlador PWM PCA9685.	40
Figura 8 Router TP-LINK Arche C60 AC1350.....	45
Figura 9 Motor de Vibración Excéntrica.	48
Figura 10 Diagrama de bloques general.....	48
Figura 11 Esquema estación de control.....	49
Figura 12 Esquema chaleco con sus componentes electrónicos.	50
Figura 13 Esquema interfaz.....	50
Figura 14 Esquema de red	51
Figura 15 Esquema general.....	53
Figura 16 Vehículo a escala Luctan S912.....	54
Figura 17 Mecanismo de resortes del vehículo a escala.....	55
Figura 18 Ubicación de los resortes en el vehículo a escala.....	56
Figura 19 Vehículo a escala con neumáticos instalados.....	57
Figura 20 Implementación de la distribución electrónica del vehículo.	58

Figura 21 Esquema distribución electrónica.....	59
Figura 22 Diseño en 3D del soporte del lector de encoder.....	60
Figura 23 Diseño en 3D del disco lector.	60
Figura 24 Volante y pedales a implementar.....	61
Figura 25 Panel de configuración de datos de red.....	63
Figura 26 Panel de enrutamiento de red.....	63
Figura 27 Establecimiento de rango de direcciones IP.	64
Figura 28 Panel de información del adaptador Ethernet.	64
Figura 29 Diagrama de flujo para la comunicación del microcontrolador.	66
Figura 30 Diagrama de flujo de la configuración de UDP.....	68
Figura 31 Diagrama de flujo de la configuración de MQTT.	69
Figura 32 Diagrama de flujo del subproceso Reconectar.....	70
Figura 33 Área de trabajo de Node-RED.	71
Figura 34 Herramientas añadidas en la interfaz.....	72
Figura 35 Nodos añadidos a Node-RED.....	73
Figura 36 Inserción del nodo UDP in.	74
Figura 37 Panel de configuración.	74
Figura 38 Panel de parámetros UDP out.	76
Figura 39 Configuración de parámetros MQTT in.	77
Figura 40 Configuración MQTT out.....	78
Figura 41 Configuración de parámetros de video.	80

Figura 42 Interfaz web.	81
Figura 43 Copiado de la dirección de la imagen de video.	81
Figura 44 Distribución de la interfaz en Node-RED.	82
Figura 45 Esquema velocímetro, inclinación en el eje X y en el eje Y.	83
Figura 46 Conexión entre nodos para el topic Velocidad.	83
Figura 47 Conexión del eje X y Y con su respectivo nodo.	84
Figura 48 Esquema tacómetro e inclinación del eje Z.	84
Figura 49 Conexión entre nodos para el tacómetro.	85
Figura 50 Conexión inclinación del eje Z.	85
Figura 51 Nodo utilizado para visualización de la interfaz.	86
Figura 52 Interfaz final realizada en Node-RED.	86
Figura 53 Parámetros template type.	87
Figura 54 Conexión transmisión de datos.	88
Figura 55 Diagrama de flujo de las acciones del volante.	88
Figura 56 Diagrama de flujo del subproceso Maniobras.	90
Figura 57 Continuación del diagrama de flujo del subproceso Maniobras.	91
Figura 58 Diagrama de flujo del receptor de control de vehículo.	92
Figura 59 Diagrama de flujo de las Acciones del Vehículo.	93
Figura 60 Continuación del diagrama de flujo de las Acciones del Vehículo.	94
Figura 61 Continuación del diagrama de flujo de las Acciones del Vehículo.	95
Figura 62 Distribución de motores parte delantera del chaleco.	96

Figura 63 Distribución de motores parte trasera del chaleco.	97
Figura 64 Circuito de control.....	98
Figura 65 Diseño de la placa de control.....	98
Figura 66 Cableado de actuadores.....	99
Figura 67 Ubicación de placas de control.	100
Figura 68 Ubicación alimentación del sistema electrónico.	100
Figura 69 Diagrama de flujo del algoritmo Chaleco.....	101
Figura 70 <i>Continuación del diagrama de flujo Chaleco.</i>	102
Figura 71 Diagrama de flujo del subproceso Acciones del chaleco.....	103
Figura 72 Continuación del subproceso Acciones del chaleco.....	104
Figura 73 Continuación del subproceso Acciones del chaleco.....	105
Figura 74 Continuación del subproceso Acciones del chaleco.....	106
Figura 75 Continuación del subproceso Acciones del chaleco.....	107
Figura 76 Secuencia de estados de la maniobra “adelante”.	108
Figura 77 Continuación de la secuencia de estados de la maniobra “adelante”.....	108
Figura 78 Secuencia de estados de la maniobra “atrás”.	109
Figura 79 Continuación de la secuencia de estados de la maniobra “atrás”.....	110
Figura 80 Secuencia de estados de la maniobra “izquierda”.....	111
Figura 81 Continuación de la secuencia de estados de la maniobra “izquierda”.....	112
Figura 82 Secuencia de estados de la maniobra “derecha”.	113
Figura 83 Continuación de la secuencia de estados de la maniobra “derecha”.....	114

Figura 84 Subdivisiones gráficas del dispositivo háptico.....	115
Figura 85 Actuadores activados cuando el vehículo ascienda.	116
Figura 86 Actuadores activados cuando el vehículo descienda.	117
Figura 87 Actuadores activados cuando el vehículo se inclina hacia los lados.	118
Figura 88 Ambiente externo y trayectoria del vehículo.....	120
Figura 89 Escaneo de redes en frecuencia de 2.4GHz y 5GHz.	121
Figura 90 Distancia máxima alcanzada con el estándar IEEE 802.11n.....	122
Figura 91 Distancia máxima alcanzada con el estándar IEEE 802.11 g/n.....	123
Figura 92 Distancia máxima alcanzada con el estándar IEEE 802.11 b/g/n.....	124
Figura 93 Pruebas en ambientes externos.	124
Figura 94 Planos del domicilio.	125
Figura 95 Ubicación de la estación de control del domicilio.	126
Figura 96 Escaneo de redes en frecuencia de 2.4GHz y 5GHz.	127
Figura 97 Pruebas en ambientes internos.	128
Figura 98 Resultado pregunta 1.....	136
Figura 99 Resultado pregunta 2.....	137
Figura 100 Resultado pregunta 3.....	137
Figura 101 Resultado pregunta 4.....	138
Figura 102 Resultado pregunta 5.....	139
Figura 103 Resultado pregunta 6.....	139
Figura 104 Resultado pregunta 7.....	140

Figura 105 Resultado pregunta 8.....141

Figura 106 Resultado pregunta 9.....141

Resumen

El actual uso de la telepresencia y la inmersión en el desarrollo de robots se ha vuelto común en los últimos años; tareas de rescate, desminado, manipulación de sustancias peligrosas, prevención de contagios son algunas de las aplicaciones que estas tecnologías han facilitado. El objetivo que tienen la mayoría de este tipo de robots es el de ayudar o sustituir a un humano en la realización de actividades, debido a que sus características son muy peligrosas o no son adecuadas para ser realizadas por personas. El proyecto “Prototipo de un emulador de conducción vehicular a escala mediante la implementación de tecnología inmersiva y telepresencia orientada al conductor” está basado en el dominio institucional “Seguridad, Defensa y Sociedad” de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que tiene como objetivo mantener a salvo la integridad de las personas, mediante el diseño e implementación de un sistema de conducción vehicular por medio de tecnología *WiFi*, donde se incorpora un conjunto de patrones que son percibidos por medio de un dispositivo háptico o chaleco permitiéndole al conductor sentir mediante vibraciones los cambios topográficos del suelo al momento de manejar el vehículo, además consta de una interfaz gráfica donde se recibe la información relevante para el control del vehículo como velocidad, inclinación y visualización. En las pruebas realizadas para determinar el alcance de todo el prototipo al utilizar tecnología *WiFi* en concordancia con los estándares IEEE 802.11 b/g/n, se logró que el prototipo opere sin retardos hasta 105 metros en ambientes externos y 20 metros en ambientes internos.

Palabras Clave

- **TELEOPERACIÓN E INMERSIÓN**
- **WIFI**
- **DISPOSITIVO HÁPTICO**

Abstract

The current use of telepresence and immersion in robot development has become common in recent years; rescue tasks, demining, handling of dangerous substances, prevention of contagions are some of the applications these technologies have facilitated. The objective of most of this type of robots is to help or replace a human in carrying out activities. These activities are very dangerous or are not suitable for human use. The project "Prototype of a vehicle driving emulator at scale through the implementation of immersive technology and telepresence oriented to the driver" is based on the institutional domain "Security, Defense and Society" of the University of the Armed Forces ESPE, which aims to keep the integrity of people, through the design and implementation of a vehicular driving system by using WiFi technology. This driving system incorporates a set of patterns, perceived by means of a haptic device (vest), allowing the driver to feel through vibrations the topographic changes of the ground while driving the vehicle. It also has a graphical interface where the relevant information for vehicle control such as speed, inclination and visualization are received. In the tests carried out to determine the scope of the entire prototype by using WiFi technology in accordance with the IEEE 802.11 b/g/n standards, it was achieved that the prototype operates without delays up to 105 meters in outdoor environments and 20 meters in indoor environments.

Key Words

- **TELEOPERATION AND IMMERSION**
- **WIFI**
- **HAPTIC DEVICE**

Capítulo I

Introducción

Introducción del Proyecto de Investigación

En los últimos años ha existido un auge significativo en la investigación de videojuegos, centrada en la definición y filosofía de los mismos como: diseño, posición del jugador, foco de atención, entre otras. Sin embargo, la esencia de un juego está basada en su naturaleza interactiva y su realismo, es decir, lo que un videojuego busca es crear una percepción en la que el jugador se olvide de los sucesos a su alrededor e incluso experimente alteraciones en la percepción del tiempo, cuando esto ocurre el jugador experimenta la sensación de encontrarse dentro del juego, a este fenómeno se lo conoce como inmersión.

El concepto de inmersión ha sido estudiado en muchos contextos, ya que no es una propiedad directa de los elementos de un juego, sino que es considerado como un proceso de interacción que existe entre el juego y el jugador. Mientras que el término telepresencia a menudo es utilizado como un sinónimo de inmersión, se puede decir que telepresencia es la situación o circunstancia que se da cuando un humano tiene la sensación de encontrarse físicamente en un lugar remoto (Nuño Ortega & Basañez Villaluenga, 2004). Al aplicar específicamente los criterios de telepresencia utilizados para el desarrollo de realidad virtual en videojuegos, se puede desarrollar un conjunto de criterios de diseño que permitan juzgar y analizar el grado de inmersión, compromiso y grado de presencia de un juego (Mcmahan, 2003).

Es evidente, que dicho grado de inmersión del usuario será más completo y realista cuantos más sentidos estén implicados en la interacción con la realidad virtual.

Es por ese motivo, y por la demanda de una mayor y mejor fidelidad, que la háptica se ha introducido en esta tecnología, ya que permite conseguir sensaciones más reales y además permite interacciones con el mundo artificial de forma similar a como se interacciona en la realidad.

Aunque la complejidad de los estímulos que se pueden transmitir al usuario es limitada, los dispositivos hápticos pueden mejorar la inmersión del usuario, debido a que representan una solución adecuada para reducir la necesidad de atención visual, además de tener como ventaja que estos dispositivos no saturan el entorno con información innecesaria, es decir, proporcionan solo la información necesaria a la persona o usuario adecuado en el momento adecuado (Mihelj & Podobnik, 2012).

Este tipo de dispositivos generalmente son diseñados para la interacción con la mano del usuario, sin embargo, existen varias opciones que son apropiadas para las propiedades sensoriales y motoras de otras partes del cuerpo (Mihelj & Podobnik, 2012), donde no sea solo capaz de transmitir sensaciones de contacto y propiedades de los objetos, sino que también permita la manipulación de los mismos.

Debido a las restricciones tecnológicas que existían hace unas décadas atrás, este tipo de tecnología era un punto débil en la mayoría de los videojuegos, sin embargo, crear estímulos que provoquen respuestas emocionales específicas en los seres humanos es un campo que se debe explotar, no solo en videojuegos sino también en otros campos como la comunicación entre robots teleoperados y seres humanos.

Por lo tanto, como ventajas principales de este tipo de manejo son la protección y seguridad hacia la persona o usuario que lo conduce, al momento de realizar trabajos en ambientes inseguros, inestables o con sustancias peligrosas, es por ello necesario que el desarrollar este tipo de tecnología en un sistema vehicular permita al conductor o usuario

experimentar una situación más real e interactiva sin sufrir ningún accidente o daño, o simplemente tener una sensación real de estar en un ambiente remoto.

Antecedentes

El inicio de la telemanipulación surgió en laboratorios de industria nuclear, debido a los riesgos que se presentan al estar en contacto con elementos radioactivos. En 1947 las primeras investigaciones se desarrollaron en el *Argonne National Laboratory* lideradas por Raymond Goertz, encaminadas al desarrollo de un manipulador de fácil manejo mediante el uso por parte del operador de otro manipulador equivalente. El primer manipulador teleoperado mecánico denominado M1, fue el primer resultado que se obtuvo en 1948, fue antecesor de la familia de sistemas maestro-esclavo de telemanipulación existentes actualmente.

A principios de los años cincuenta comenzaron los desarrollos para motorizar al mismo tiempo el manipulador maestro y el manipulador esclavo, debido a que los movimientos entre los dos se reproducen eje a eje, de tal manera que el extremo de los manipuladores describiese la misma trayectoria. Fue en 1954 cuando se presentó el E1, el primer manipulador maestro-esclavo con accionamiento eléctrico y servocontrol.

Entre los años sesenta y setenta, la teleoperación alcanzó su mayor auge al extender las investigaciones en varias aplicaciones como las submarinas, donde se vio la necesidad de la inclusión de cámaras y otros dispositivos para aumentar la telepresencia del operador; en el ámbito espacial, aparecieron nuevos retos y problemas, como la existencia de retrasos entre la comunicación de la zona local y la remota (Nuño Ortega & Basañez Villaluenga, 2004).

Mientras que la evolución de las técnicas de la teleoperación avanzaba, surgió una evolución tecnológica motivada por el desarrollo del control, la informática y la robótica. Este tipo de desarrollo ha permitido incrementar las capacidades de los sistemas remotos, específicamente en lo referente a la autonomía, al mejorar principalmente la interacción entre el hombre, una máquina y una interfaz.

La teleoperación remota de un robot manipulado a través de un humano constantemente es indispensable en entornos dinámicos no estructurados cuando la presencia humana en el lugar del robot no es necesaria. Un nuevo método de ésta manipulación humano-robot consistió en el desarrollo de un robot basado en la visión, sin contacto, el cual permite a un operador humano realizar tareas simultáneas de movimiento de seis grados de libertad a un manipulador de robot que permite un movimiento tridimensional de mano-brazo humano. Para comunicar el movimiento humano al robot y para la realimentación del movimiento y el entorno del robot se utilizó una interfaz humano-robot; el control intercambiado y compartido semiautónomo al utilizar una guía de visión del robot, ayudó a lograr un posicionamiento y orientación más precisos al momento del agarre de objetos (Kofman, Wu, Luu, & Verma, 2005).

Existen varios trabajos sobre teleoperación bilateral, que generan una respuesta háptica sobre la piel del operador. Uno de los objetos de la teleoperación bilateral es la fuerza operativa que permite que el operador sienta una fuerza ambiental real, es decir, se puede transferir la sensación táctil del objeto remoto hacia el operador. El chaleco *KOR-FX* es capaz de registrar el sonido de los videojuegos y traducirlos en vibraciones en diferentes puntos del mismo, al simular sensaciones como disparos, explosiones, choques, entre otros.

También se tiene a *TactaVest* que fue desarrollada como una prenda para la parte superior del cuerpo que dispone de 16 actuadores que permiten simular sensaciones de deslizamiento e impacto, lo que permite una mayor inmersión del usuario en películas, videojuegos y plataformas de entretenimiento. Por otro lado, *Gloveone* son guantes que permiten al usuario identificar la forma y peso de cualquier objeto virtual, al momento de tocarlo o sentirlo (Carrión, 2017).

Debido a la situación actual por la propagación a gran escala del SARS-CoV-2, toda la tecnología que involucra a la teleoperación ha dado un rol más relevante a los robots en la sociedad, haciéndolos imprescindibles en algunos centros de atención médica. La Figura 1 muestra la interacción de un robot operado a distancia con un paciente enfermo de SARS-CoV-2.

Figura 1

Interacción de un robot operado a distancia con un paciente.



Nota. Tomado de *El papel de los robots en la pandemia del COVID-19*, diario online MARCA Claro.

En hospitales, médicos, enfermeras y familiares han utilizado robots para interactuar con pacientes desde una distancia segura en tiempo real, además se han

implementado otro tipo de robots capaces de tomar muestras de sangre de forma remota, desinfectar habitaciones y entregar comida o medicamentos (Marca, 2020). En espacios públicos de algunas ciudades asiáticas se utilizan robots teleoperados para desinfectar aceras y parques, recolección de residuos potencialmente infectados, así como para transmitir mensajes de servicio público sobre el virus y el distanciamiento social (Cornejo, Vargas, & Cornejo Aguilar, 2020). Finalmente, *Phantom Auto* una empresa que ofrece una plataforma de teleoperación de largo alcance para cualquier vehículo, se ha enfocado en vehículos autónomos que tengan un control humano remoto con el fin de entregar paquetes puerta a puerta para reducir el riesgo que conlleva que las personas se movilicen con alimentos, comestibles u otros artículos (Velázquez, 2020). La Figura 2 muestra el vehículo mencionado anteriormente en operación.

Figura 2

Phantom Auto en operación.



Nota. Tomado de *Vehículos autónomos, esenciales ante el coronavirus*, por Velázquez F., 2020, El Universo.

Motivación e Importancia

El rápido crecimiento de la industria y el alcance de la tecnología han resultado de gran ayuda para la reducción de los esfuerzos humanos en situaciones o actividades donde no es conveniente emplear personas para la realización de ciertas labores debido al riesgo al que se exponen, razón por la cual se han desarrollado dispositivos como robots, que puedan reemplazar al ser humano en la realización de operaciones a distancia.

Una de las actuales tecnologías utilizadas para el desarrollo de los robots es la inmersión, la cual representa una característica básica de la realidad virtual que permite estimular uno o más de los sentidos del usuario en respuesta a la posición, orientación y acciones, es decir, se crea información visual, auditiva y táctil para adaptar los cambios en el escenario de acuerdo con el movimiento y necesidad que el usuario requiera. Un factor importante que afecta el propósito de la inmersión es el retardo o *delay* que se genera entre las acciones del usuario y la respuesta del sistema o dispositivo de realidad virtual, a partir de esto, se han desarrollado dispositivos con la capacidad de unir los beneficios de la inmersión con la telepresencia y la teleoperación.

En efecto, la telepresencia en varios aspectos representa un sistema de realidad virtual que permite mover al usuario o conductor a otra ubicación de una manera virtual, es decir, simboliza la interacción de un entorno virtual con uno remoto desde la perspectiva de un ser humano. Por otro lado, la teleoperación hace referencia al conjunto de tecnologías que comprenden la operación a distancia de un dispositivo por una persona (Mihelj & Podobnik, 2012). Es por esto que, a partir de la unión de estas dos tecnologías, surge el desarrollo de los robots teleoperados han logrado un auge

significativo en este tipo de área, debido a sus múltiples aplicaciones que en la actualidad pueden ir desde la diversión y el entretenimiento hasta el rescate de personas en peligro.

Para la implementación y desarrollo de estos robots teleoperados es necesaria la manipulación de distinta información en tiempo real, que proviene de diferentes sensores o actuadores, los cuales se encargan de detectar magnitudes físicas como posición, proximidad, inclinación, entre otras. En consecuencia, la persona que controla y manipula el robot obtiene la información del ambiente en el que este se encuentra mediante los sensores que envían dicha información, por lo tanto, existe una interacción entre la persona y el medio ambiente al dar la sensación de estar físicamente en otro lugar.

Por otro lado, con el paso de los años la inmersión, la telepresencia y la teleoperación han ganado espacio en varios campos o sectores debido a las aplicaciones que estas brindan. En el campo de la medicina la importancia de la teleoperación se ha fortalecido en los últimos años, desde desarrollo de prótesis, asistencia a personas con discapacidad hasta la telecirugía o telediagnóstico. La construcción, minería, mantenimiento de líneas de tensión, instalaciones, intervención de desastres naturales, entre otras, son de las múltiples aplicaciones enfocadas en los beneficios que brinda este tipo de tecnología (Marca, 2020).

En el espacio las aplicaciones de la teleoperación son de gran importancia, ya que proporciona seguridad a los astronautas que experimentan situaciones de riesgo en operaciones especiales, además del costo, que es mucho más alto en comparación a un equipo necesario para humanos, por otro lado, existen varios sectores que utilizan la teleoperación como técnica de manipulación remota, en la industria nuclear la teleoperación es utilizada para la manipulación y tratamiento de sustancias radiactivas, así como para la movilización a través de entornos contaminados, la mayoría de

tecnologías de teleoperación móvil fueron desarrolladas para aplicaciones militares debido a la necesidad de monitorización remota y el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV, del inglés Unmanned Aerial Vehicle) (Nuño Ortega & Basañez Villaluenga, 2004).

En conclusión, la teleoperación y la inmersión son tecnologías con muchas aplicaciones y utilidades que tienen como uno de sus objetivos salvaguardar la vida de las personas al realizar actividades en ambientes peligrosos e inseguros, así como evitar contagios y prevenir enfermedades, ya que en el contexto actual tanto el distanciamiento como el teletrabajo son factores importantes para salvar vidas. Es por ello que, se vio la necesidad de la creación de un proyecto que tenga como finalidad el desarrollo de un sistema de conducción vehicular al utilizar la tecnología *WiFi*, capaz de transferir sus características topográficas mediante estímulos sensoriales al conductor, que permite cumplir algunas de las características de la teleoperación y la inmersión.

Sin embargo, sólo es posible conseguir inmersión en el usuario si es capaz de tocar, sentir y manipular un entorno artificial o virtual, es por esto, que la implementación de un chaleco háptico hace posible que el usuario consiga percepciones similares al mundo real, un dispositivo háptico capaz de ofrecer la posibilidad de recibir sensaciones, al producir fuerzas sobre el usuario que consigue una inmersión más realista en el entorno en el que se trabaja.

Alcance

Con la evolución de las comunicaciones inalámbricas, se han realizado varios trabajos orientados a mejorar procesos encaminados a la teleoperación, con el fin de realizar actividades de manera remota y precautelar la seguridad de los usuarios en actividades de riesgos en múltiples campos como son la industria, la investigación, medicina, la milicia, entre otras.

Se han desarrollado anteriormente diferentes prototipos de vehículos que han implementado diferentes tecnologías de comunicación como son Radio Frecuencia, Bluetooth, Zigbee, *WiFi* que presentan sus ventajas y desventajas al depender tanto de la aplicación como el campo de acción a la que están orientadas. Otra área que en la actualidad ha tenido un crecimiento significativo es la experiencia del usuario a diferentes entornos virtuales y reales mediante tecnologías de inmersión que implementan una gran variedad de sensores.

El presente proyecto de investigación que se presenta en este documento reúne las disciplinas de teleoperación e inmersión mediante el desarrollo de un prototipo de conducción vehicular terrestre a escala al utilizar tecnología *WiFi*, el cual permite transferir características topológicas mediante estímulos sensoriales al conductor.

El prototipo está construido por los siguientes sistemas: sistema vehicular, sistema de comunicación, sistema de conducción y sistema sensorial. El sistema vehicular está comprendido por un vehículo a escala 1:12, el cual recibe datos de las instrucciones correspondientes a las maniobras de conducción y envía las características de la superficie en la que se encuentre ubicado. El sistema de comunicación está conformado por un router con tecnología *WiFi* en concordancia con el estándar IEEE 802.11, que permite integrar mediante una red inalámbrica a los sistemas vehicular y de conducción. El sistema de conducción consta de un volante con sus respectivos pedales y palanca de cambio que originalmente fueron desarrollados para consolas de videojuegos y que dadas sus especificaciones dotan al usuario de una experiencia más realista, además de transmitir video en tiempo real mediante un teléfono celular.

Por último, el sistema sensorial está formado por un chaleco con un conjunto de actuadores vibro táctiles que permiten tener una percepción mucho más real del

escenario visualizado, y una mayor interacción con el usuario. Todos los sistemas indicados anteriormente brindan al conductor o usuario características propias de telepresencia inmersiva, que permite un desarrollo más cercano a la realidad de sus acciones y su comportamiento frente a las mismas. Es decir, este es el camino para que se desarrollen sistemas más complejos que permitan tener una percepción cada vez más real de la interacción con un entorno remoto y aplicable a múltiples disciplinas.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un prototipo de un emulador de conducción vehicular a escala mediante el uso de tecnología inmersiva y telepresencia orientada al conductor.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de trabajos previamente realizados sobre vehículos a escala controlados remotamente con tecnología *WiFi*, además de proyectos relacionados con la transferencia de parámetros de sensores en el manejo de la tecnología *WiFi* o similares.
- Diseñar el sistema de conducción remoto con tecnología *WiFi* que permita la interacción del conductor y el vehículo mediante el uso de gadgets.
- Implementar el prototipo diseñado con características de la tecnología inmersiva y telepresencia.
- Evaluar el desempeño del prototipo, mediante el análisis de los datos adquiridos del sistema.

Trabajos relacionados

Un trabajo previo referente a vehículos a escala controlados con tecnología *WiFi* fue realizado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el proyecto se enfocó en la emulación de un sistema de conducción vehicular mediante la transferencia de su dinámica, en donde parámetros como velocidad, ángulos de inclinación, vibración y fuerza de señal *WiFi* recibida pueden ser observados por el usuario mediante una interfaz amigable (Aguirre, 2018).

Dentro de los proyectos relacionados con transferencia de parámetros sensoriales al conductor, existen muchos estudios que concuerdan que la mejor zona de estimulación en el cuerpo humano es el torso. Por este motivo, se han desarrollado chalecos inmersivos que han sido los protagonistas en varios de estos proyectos de investigación. Por ejemplo, en (Bodenhamer, 2012) con fines militares un grupo de estudiantes desarrollaron un chaleco denominado "*Missouri S&T Training Vest plataform*" que genera al usuario sensaciones como los efectos de un campo de batalla y la experiencia con el entorno.

Por otro lado, (Castromonte & Sanchez, 2016) desarrolló un chaleco háptico capaz de estimular mediante vibración el torso del usuario para recrear interacciones táctiles con un ambiente artificial. Por medio de distintos patrones programados se generan vibraciones donde el usuario percibe estímulos vibrotáctiles como velocidad, impacto o lluvia. A continuación, se explican cada uno de los patrones generados.

Respuesta a Velocidad

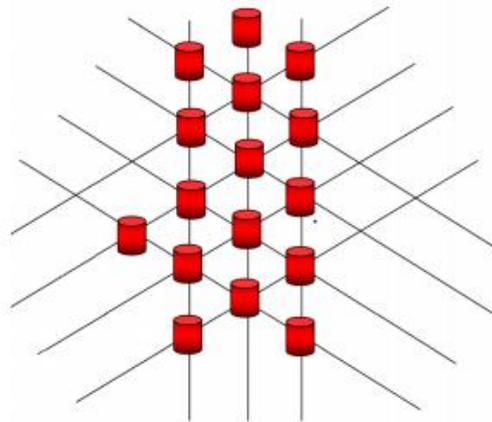
La respuesta a movimiento surge de la idea de recrear un recorrido por la piel, el objetivo consiste en que el usuario tenga una sensación de una mano que recorre por su

torso o sensaciones de movimientos parecidos, es decir, generar una sensación de movimiento.

En una de las pruebas realizadas se colocó motores en el hombro derecho, la programación realizada consistía en generar una vibración descendente desde la parte superior del hombro hasta la parte más baja, mediante programación se crea una primera vibración en dos de los motores colocados en la línea del recorrido con la máxima frecuencia. A una frecuencia intermedia se hace vibrar un tercer motor que ocupa la parte posterior del conjunto de motores, esta vibración consigue dejar una sensación de presión remanente que desaparece gradualmente. La Figura 3 muestra la vibración generada que comienza en lo alto del hombro y baja progresivamente hacia los lumbares (Castromonte & Sanchez, 2016).

Figura 3

Distribución de actuadores en el hombro derecho.



Nota. Tomado de *Desarrollo de una interfaz háptica con patrones de estímulos vibrotáctiles*, Castromonte P. & Sanchez A., 2016, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

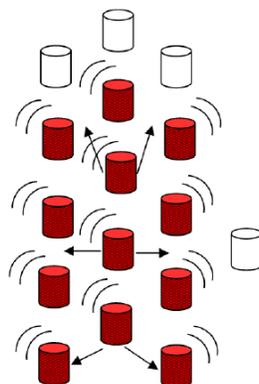
Respuesta a Impactos

Esta respuesta tiene como objeto el estudio para determinar si el usuario es capaz de notar un impacto mediante una vibración. Para lograr este tipo de respuesta se hace vibrar un conjunto de motores a máxima frecuencia, y al mismo tiempo hace vibrar más motores alrededor con menor frecuencia.

El patrón consiste en simular el choque con un objeto alargado, se inicia al generar una vibración a 3 motores en línea a frecuencia máxima, acto seguido se produce vibraciones a una menor frecuencia para simular que el impacto se expande ligeramente. El tiempo de duración del impacto es corto para que la piel no entre en fase con la vibración, con esto la vibración inicial crea una presión puntual esporádica y las siguientes vibraciones menores crean una presión remanente (Castromonte & Sanchez, 2016). La Figura 4 muestra un patrón de golpe de modo vertical en el hombro izquierdo.

Figura 4

Patrón de golpe vertical en el hombro izquierdo.



Nota. Tomado de *Desarrollo de una interfaz háptica con patrones de estímulos vibrotáctiles*, Castromonte P. & Sanchez A., 2016, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

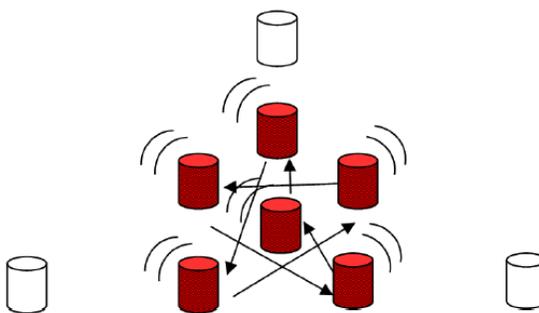
Respuesta a Ambientes

El objetivo consiste en hacer creer que el usuario cuando llueve en el ambiente virtual, sienta que la lluvia toca su cuerpo; salpicadura de tierra, explosión cerca o cualquier tipo de impacto aleatorio son algunas de las sensaciones que se quiere aplicar.

La idea plantea una vibración rápida a frecuencia máxima que de la sensación de golpeo de una gota. El mayor reto para este tipo de respuesta es distanciar las vibraciones para que estas no se unifiquen en un mismo punto y el usuario pueda percibir dos o más gotas y no un punto de vibración. Las vibraciones son generadas tanto en el hombro derecho como en el izquierdo para evitar que las gotas de agua caigan en paralelo, es decir, cuando vibre un motor en la zona del hombro derecho, no habrá vibración en ningún motor del hombro izquierdo (Castromonte & Sanchez, 2016). La Figura 5 denota motores en la espalda implicados en el patrón de lluvia.

Figura 5

Motores activados para el patrón de lluvia.



Nota. Tomado de *Desarrollo de una interfaz háptica con patrones de estímulos vibrotáctiles*, Castromonte P. & Sanchez A., 2016, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Capítulo II

Materiales y Métodos

En este capítulo se detallan los materiales que son empleados para la realización del prototipo. Adicionalmente, los métodos empleados para llevar a cabo el diseño del sistema vehicular, sistema de comunicación y estación de control que forman parte de este proyecto.

Materiales

Para llevar a cabo el prototipo de emulación vehicular se requiere de dispositivos y componentes electrónicos cuyas especificaciones se presentan a continuación.

Microcontrolador Esp8266

Microcontrolador diseñado por la compañía china llamada *Espressif System*, la cual anunció en el año 2014 que este chip sería una excelente solución autónoma para redes *WiFi* (Ceja, Renteria, Ruelas, & Ochoa, 2017).

El módulo ESP8266 es un chip integrado compatible con el protocolo *TCP/IP* y el estándar IEEE 802.11 b/g/n, creado para la implementación de cualquier microcontrolador como servidor de Internet. Tiene la capacidad de procesamiento y almacenamiento capaz de integrarse con otros sensores y dispositivos específicos a través de sus pines que se pueden usar como entradas o salidas (GPIO, del inglés *General Purpose Input/Output*). El módulo ESP8266 es compatible con APSD (del inglés *Automatic Power Save Delivery*) para aplicaciones de voz *IP* e interfaces de coexistencia Bluetooth, tiene la capacidad de trabajar en todas las condiciones de funcionamiento y no requiere ningún hardware adicional (Játiva & Morales, 2018). La Figura 6 muestra el módulo ESP8266 encontrado en el mercado.

Figura 6

Modulo ESP8266.



Nota. Tomado de *Encendido y apagado de un Foco con atenuación desde cayenne y un módulo ESP 8266*, por Játiva J. & Morales J., 2018, Universidad Politécnica Salesiana.

Este dispositivo funciona como adaptador de red en sistemas basados en microcontroladores que se comunican con él a través de una interfaz UART (del inglés *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) debido a que posee diferentes características las cuales se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1

Características principales del módulo ESP8266.

Especificaciones	ESP8266
Voltaje de operación	3.3 V
Consumo de corriente	10 μ A - 170 μ A
Procesador	Tensilica L106 32 bit
Velocidad procesador	80 – 160 MHz
Estándar	IEEE 802.11 b/g/n
Potencia de transmisión	IEEE 802.11 b: +20 dBm
	IEEE 802.11 g: +17 dBm
	IEEE 802.11 n: +14 dBm
Sensibilidad	IEEE 802.11 b: -91 dbm
	IEEE 802.11 g: -75 dbm
	IEEE 802.11 n: -72 dbm

Soporte de autenticación	WEP Y WAP/WAP2
Potencia de salida	+19.5 dBm en modo 802.11b
Memoria Flash	16 MB
Temperatura de operación	-40 °C – 125 °C

Nota. Tomado de *Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas*, Ceja J., Renteria R., Ruelas R. & Ochoa G., 2017, Ecofran.

Debido al protocolo *TCP/IP* que está integrado en el ESP8266, lo cual permite acceso a redes a través de un router *WiFi*, por lo que el módulo permite 3 modos de operación:

Access Point. El módulo ESP8266 es capaz de actuar como un punto de acceso (AP, del inglés *Access Point*), es decir, genera su propia red *WiFi*. Cuando el módulo arranca en modo *SoftAP* se convierte en un acceso habilitado por software, que proporciona una nueva interfaz inalámbrica que permite conectar dispositivos móviles como portátiles o teléfonos celulares (LANTRONIX, 2017).

La conexión se crea al utilizar la radio *WiFi* para establecer un nombre de red o SSID y una contraseña mediante la función “*WiFi.softAP(ssid,password)*”, que devuelve *true* si la red se ha creado correctamente y *false* si no.

Station Computer. La conexión a una red *WiFi* es proporcionada por un AP, el cual actúa como un centro de conexión para uno o más dispositivos. Cada dispositivo que se conecta a la red actúa en modo estación (STA, del inglés *Station*). Para que el módulo ESP8266 actúe como STA se utiliza la librería *ESP8266WiFi* y para que se conecte a la red se utiliza el método “*Wifi.begin(ssid,password)*”.

Access Point y Station Computer. En el tercer modo, el módulo *Wifi* ESP8266 es capaz de actuar tanto en modo STA como en modo AP, esto proporciona la posibilidad de construir redes *WiFi* malladas.

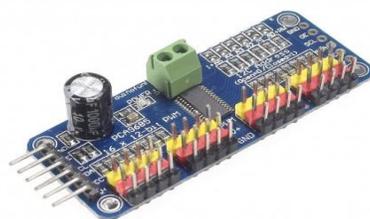
Controlador PWM (Pulse Width Modulation)

El control PWM permite fijar un periodo de tiempo en alto o en bajo un dato digital de n bits. El tiempo que la señal este en alto depende de la cantidad de pulsos de reloj que se aplican hasta que un controlador tenga un dato binario mayor o igual al de la entrada (Herrera Lozada, 2010). Actualmente la mayoría de las técnicas de conmutación PWM están basadas en esquemas de control implementados con microprocesadores (Rojas, 2006).

El controlador PCA9685 diseñado principalmente para control de LED, debido a que los servos emplean una señal PWM se utilizó como controlador de servos. La Figura 7 muestra al controlador que es capaz de generar hasta 16 señales PWM de 12 bits, además de emplear 2 pines con una frecuencia ajustable de 40Hz hasta de 1600Hz (Rojas, 2006).

Figura 7

Controlador PWM PCA9685.



Nota. Tomado de *Diseño y simulación de técnicas de modulación PWM natural para el control de motores trifásicos*, Rojas C., 2006, Universidad de Pamplona.

Contiene un preescalador programable para ajustar los anchos de pulso del PWM, un oscilador interno de 25MHz que presenta un pin de entrada de reloj externo que acepta un reloj suministrado por el usuario de máximo de 50MHz (NXP Semiconductors, 2009). Además, presenta otras características presentadas en la Tabla 2:

Tabla 2

Características del controlador PCA9685.

Especificaciones	PCA9685
Voltaje de alimentación	2.3V - 5.5V
Corriente de alimentación	Hasta 8A
Oscilador interno	25 MHz
Reloj externo	50 MHz máx
Entradas tolerantes	5.5V
Temperatura	-40°C - 85°C
Canales	16
Frecuencia operable	40Hz - 1000Hz

Nota. Tomado de PCA9685, NXP Semiconductors, 2009, NXP Semiconductors, (<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf>).

Puente H

El módulo L298n es el encargado de controlar la funcionalidad del motor de corriente continua, esto es posible mediante la variación del ancho de pulso de la señal PWM, la misma que será representada en el vehículo como variación de velocidad. Además, permite cambiar el sentido de giro del motor mediante 2 pines de entrada digital

que son administradas y enviadas por el microcontrolador, que serán interpretadas por el vehículo como adelante y reversa (Asuni, 2017).

En la Tabla 3 se detalla algunas especificaciones de operación del módulo.

Tabla 3

Características del Puente H L298N.

Características	L298
Fuente de alimentación del motor	+5V a +35V
Corriente media máxima	2 A
Pico de corriente	3 A
Nivel lógico de potencia	0 – 36mA
Disipación máxima de potencia	20W
Rango de entrada de la señal lógica	Bajo: $-0.3V \leq V_{in} \leq 1.5V$ Alto: $2.3V \leq V_{in} \leq 5V$
Peso	33g

Nota. Tomado de *Modulo Puente H Driver L298N Para Motores Paso A Paso*, Asuni N., 2017, Electronicapty, (<http://www.electronicapty.com/modulo-puente-h-driver-l298n-para-motores-paso-a-paso-detail?tmpl=component&format=pdf>).

Módulo de Control Servo.

El vehículo dispone de un módulo capaz de determinar el ángulo de giro del rotor del servo ubicado en la parte delantera del vehículo, para el funcionamiento de módulo se requiere que el microcontrolador envíe un valor entre 0° a 180°, siendo 0° el giro máximo de la direccional hacia la izquierda, 90 ° el centro y 180° el giro máximo a la

derecha, para dotar al vehículo de una mayor libertad al realizar diferentes tipos de maniobras.

Giroscopio.

El módulo MPU-6050 es una unidad de medición inercial (IMU, del inglés *Inertial Measurement Unit*) de seis grados de libertad (Llamas, 2016), compuesto por un giroscopio de tres ejes capaz de medir velocidad angular y un acelerómetro de tres ejes con el que se mide los componentes X, Y y Z de la aceleración.

Además, posee un procesador interno capaz de calcular valores precisos como aceleraciones lineales y angulares que miden sus sensores internos para informar los ángulos de inclinación con respecto a los 3 ejes principales.

Uno de los problemas que presenta este módulo es que a pesar de que el acelerómetro es capaz de medir cualquier ángulo, algunas de las lecturas que realiza son ruidosas y tiene un margen de error, para resolver este problema es necesario la utilización de un “Filtro Complementario” que consiste en la unión de dos filtros diferentes: un Pasa Alto para el giroscopio y un Pasa Bajo para el acelerómetro. Este filtro es ideal al momento de trabajar con Arduino, ya que es fácil de utilizar, tiene buena precisión y un bajo costo de procesamiento (García, 2018).

Encoder Infrarrojo.

El encoder FC-03 se encarga de convertir el movimiento lineal en pulsos eléctricos que serán interpretados por el controlador del sistema, es capaz de realizar una medición del movimiento con el haz de luz infrarrojo, que es interrumpido por las ranuras de un disco acoplado al eje del vehículo al generar cambios en la señal lógica digital de la salida (Mechatronics, 2018).

Router Inalámbrico o Access Point

El router inalámbrico TP-LINK Archer C60 AC1350 diseñado para actividades *online* de mayor tráfico, consigue que algunas aplicaciones funcionen al triple de velocidad que otros modelos de routers. Una de sus principales ventajas es su funcionamiento simultáneo en las bandas de: 2.4GHz a 450 Mbps y 5GHz a 967 Mbps.

Este modelo está compuesto por un sistema MIMO que cuenta con 5 antenas, 3 para la frecuencia 2.4GHz y 2 para la frecuencia 5GHz colocadas alternadamente entre ellas para optimizar el estándar IEEE 802.11ac de doble banda, crear una transmisión de cobertura máxima y minimizar interferencias (TP-LINK, 2016). En la Tabla 4 se detalla algunas especificaciones de router.

Tabla 4

Características del router TP-LINK.

Características	L298N
Frecuencia	2.4GHz y 5GHz
Tasa de la señal	867 Mbps (5GHz) 450Mbps (2.4GHz)
Potencia de transmisión	CE: <20dBm (2.4GHz), <23dBm (5GHz) FCC: <25dBm (2.4GHz), <27dBm (5GHz)
Sensibilidad	5GHz: IEEE 802.11a: -94dBm IEEE 802.11ac: -71dBm 2.4GHz: IEEE 802.11b: -91dBm IEEE 802.11g: -78dBm IEEE 802.11n: -72dBm

Nota. Tomado de AC1350 Wireless Dual Band Router, TP-LINK, (<https://images-eu.ssl-images-amazon.com/images/I/D182csmOAgS.pdf>).

En la Figura 8 se muestra el router utilizado.

Figura 8

Router TP-LINK Arche C60 AC1350.



Nota. Tomado de *Archer C60, User Guide*, TP-LINK, 2016, TP-LINK, ([https://static.tp-link.com/res/down/doc/Archer_C60\(EU\)_V1_UG.pdf](https://static.tp-link.com/res/down/doc/Archer_C60(EU)_V1_UG.pdf)).

Estándares WiFi. El router trabaja con diferentes estándares de redes inalámbricas que presentan características que hacen que la red se adapte a las condiciones requeridas por el usuario, y así otorgar la mejor calidad en cuanto a velocidad y capacidad de transmisión. La Tabla 5 muestra las características del estándar IEEE 802.11 y sus diferentes versiones.

Tabla 5

Características de las diferentes versiones del estándar IEEE 802.11.

Estándar IEEE	Frecuencia	Ancho de banda	Alcance	Velocidad de datos
802.11	2.4 GHz	22 MHz	330 m	2 Mbps

Estándar IEEE	Frecuencia	Ancho de banda	Alcance	Velocidad de datos
802.11a	5 GHz	20 MHz	390 m	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	22 MHz	460 m	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	20 MHz	460 m	54 Mbps
802.11n	2.4 y 5 GHz	20/40 MHz	820 m	150 - 600 Mbps

Dispositivo Móvil

Para la visualización del video se utilizó un teléfono celular de marca Huawei Honor 8. En la Tabla 6 se detallan las características principales del dispositivo.

Tabla 6

Características Huawei Honor 8

Características	Especificaciones	
General	Anunciado	2016, Julio
	Dimensiones	145.5*71*7.45 mm
Sistema	Procesador	Cortex-A72@2.3GHz x 4 Cortex-A53@1.8 GHz x 4
	WiFi	WiFi 802.11 a/b/g/n/ac WiFi Direct Banda dual
	Cámara principal	Doble cámara 3968x2976 píxeles Full HD (1920x1080) 60 fps
	Cámara secundaria	3264x2448 píxeles Full HD (1920x1080)

Actuadores Vibrotáctiles

Tener una sensación táctil de tocar objetos virtuales, juega un papel muy importante para diseñar y simular un sistema de inmersión; por lo tanto, es indispensable la utilización de dispositivos portátiles capaces de proveer retroalimentación háptica (Torres, Pérez, Camargo, & Padilla, 2018).

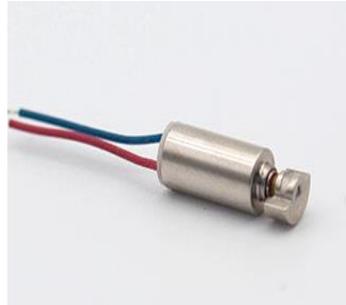
Los actuadores vibrotáctiles son dispositivos capaces de cambiar las propiedades viscoelásticas de la piel en respuesta a una perturbación mecánica dinámica (Hoffmann, Valgeirsdóttir, Jóhannesson, Unnthorsson, & Kristjánsson, 2018). Estos dispositivos tienen la principal característica de hacer creer al usuario que toca o siente objetos virtuales sólidos o deformables, mediante vibraciones, además de proporcionar diferentes texturas hápticas como rugosidad, ondulación, fricción, entre otras (Torres, Pérez, Camargo, & Padilla, 2018).

Motores de Vibración Excéntrica. Los motores de vibración excéntrica o ERM (Eccentric Rotating Mass) son uno de los tipos de motores más usuales de actuadores hápticos. Contienen una masa descentrada que al girar genera una fuerza centrípeta, mientras el motor produce unos varios giros por minuto la variación de la presión genera una vibración lateral perceptible (California, Estados Unidos Patente nº 8.791.799 B2, 2014).

Actúan como motores eléctricos de corriente continua, ya que gira el motor al transformar la corriente eléctrica en una presión mecánica. El voltaje nominal del motor es de 3V, y la velocidad alcanza más de 12000 rpm. En comparación con otros actuadores de resonancia lineal, este tipo de motores es más rentable. El 95% de los teléfonos móviles en el mercado usan motores ERM. A continuación, la Figura 9 denota un motor de vibración excéntrica encontrada en el mercado.

Figura 9

Motor de Vibración Excéntrica.



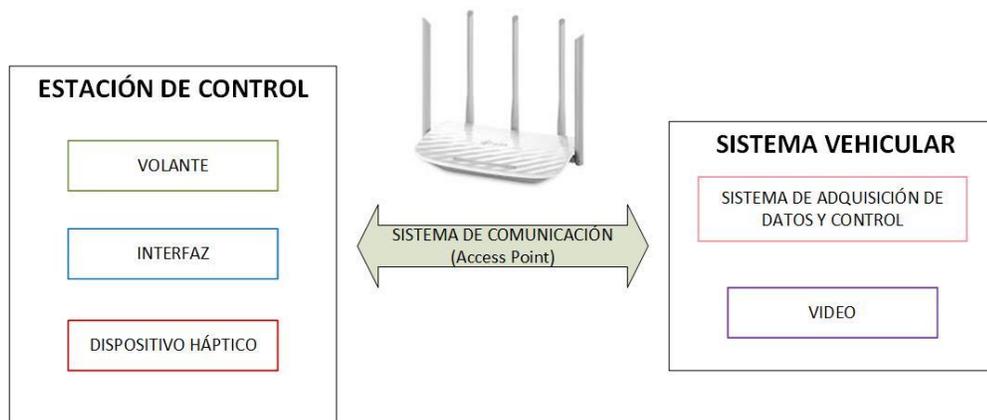
Nota. Tomado de *Eccentric rotating mass actuator optimization for haptic effects*, por Lacroix R., Greenish M. & Ramsay B., 2014, California, Estados Unidos.

Metodología

El prototipo de emulación de conducción vehicular está diseñado y estructurado por tres bloques: estación de control, sistema de comunicación y sistema vehicular. De los cuales se describe a continuación cada uno de ellos. En la Figura 11 se muestra el diagrama de bloques general.

Figura 10

Diagrama de bloques general

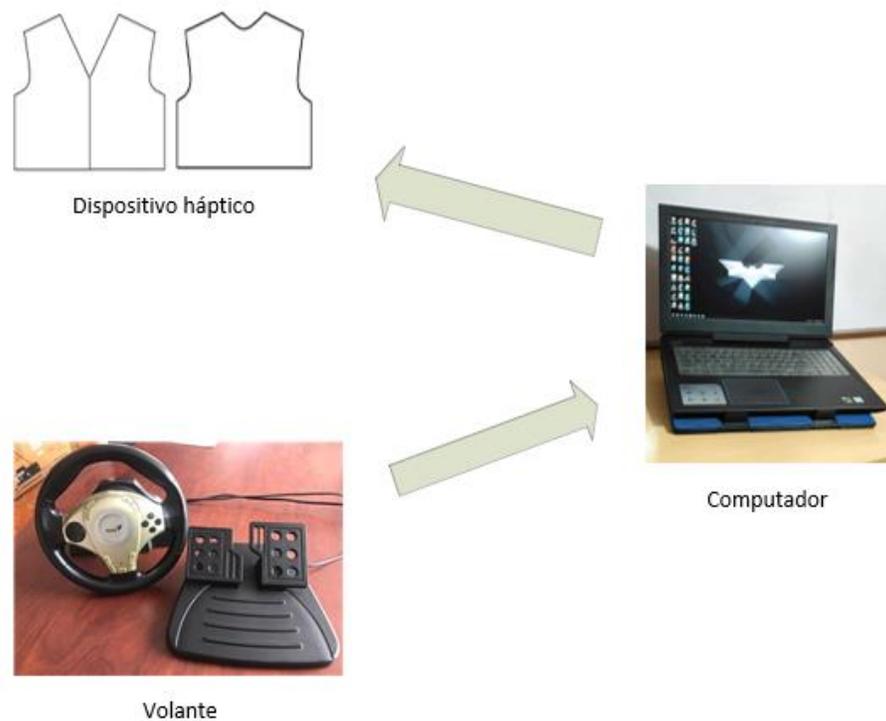


Estación de control

La estación de control dispone de un computador cuya función es poder visualizar el entorno al cual se encuentra el vehículo por medio de una interfaz que dispone de transmisión de video en vivo, un mando de tipo volante empleado originalmente para videojuegos de carreras y un dispositivo háptico para incrementar el realismo del conductor, el esquema de la estación se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Esquema estación de control.



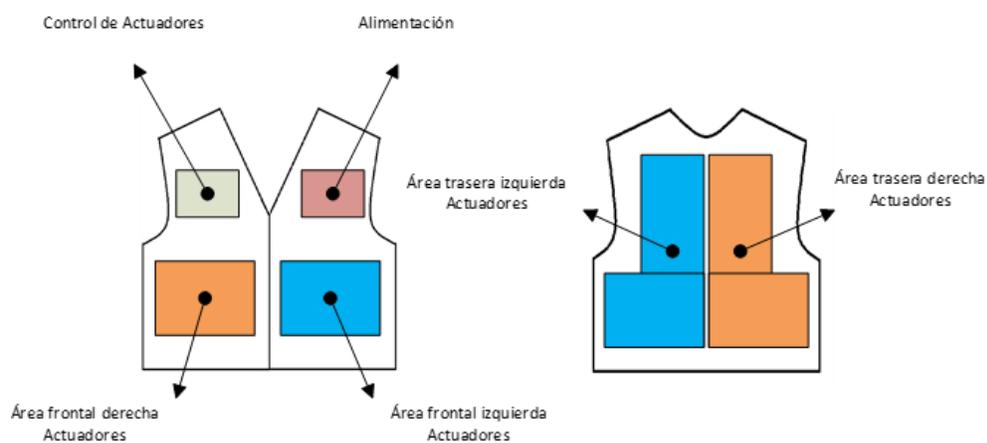
El dispositivo háptico está basado en un chaleco, él dispone de un arreglo de actuadores vibrotáctiles distribuidos a lo largo del chaleco y que generan respuestas

físicas a las maniobras que se realizan en el vehículo por medio de las instrucciones enviadas desde el microcontrolador ESP8266.

En la Figura 1 se muestra el esquema del chaleco y ubicación general de los componentes electrónicos.

Figura 12

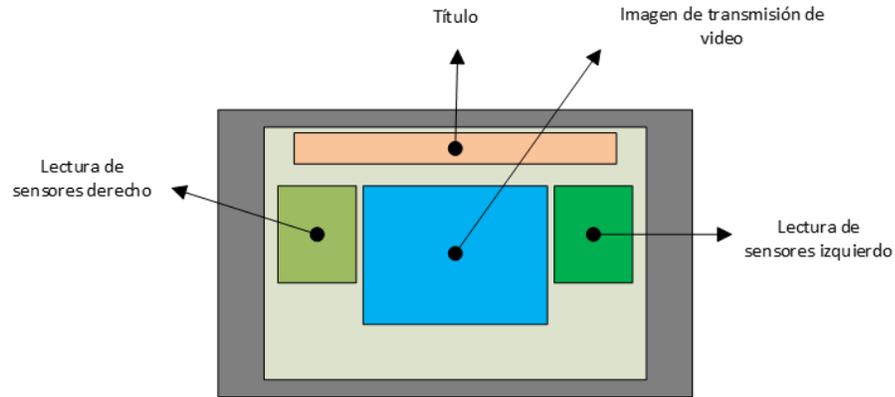
Esquema chaleco con sus componentes electrónicos.



La interfaz en el computador está dividida por dos zonas, la zona de visualización de la transmisión de video y los valores obtenidos de los sensores integrados al vehículo. En la Figura 13 se muestra la estructura que dispone la interfaz.

Figura 13

Esquema interfaz.

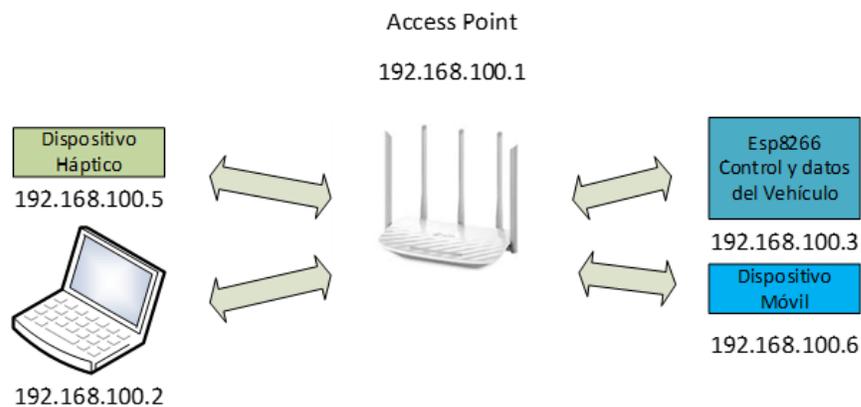


Sistema de comunicación

El sistema de comunicación permite la integración e interacción de cada uno de los dispositivos que conforman el prototipo por medio del esquema de red de la Figura 14. Donde se aprecia el número de elementos que conforman el prototipo y asignación de direcciones *IP* correspondiente.

Figura 14

Esquema de red



Sistema vehicular

El sistema vehicular dispone de un sistema de adquisición de datos que está constituido por un arreglo de sensores que contribuyen a obtener diferentes parámetros como la variación de velocidad y la inclinación del vehículo. Además de un sistema de control que ejecute las acciones enviadas por el conductor desde la estación de control y un sistema de transmisión de video por medio del dispositivo móvil.

Finalmente, el proyecto se enfoca en una metodología teórica/experimental, en la cual se busca realizar pruebas de desempeño y alcance del prototipo de emulación vehicular y el dispositivo háptico bajo los estándares IEEE 802.11 b/g/n en la banda de 2.4GHz y el estándar IEEE 802.11ac en la banda de 5GHz a los que se rige la comunicación *WiFi* y analizarlos en escenarios externos con línea de vista e internos sin línea de vista.

Capítulo III

Implementación

El prototipo de conducción está constituido por 3 bloques principales: estación de control, sistema de comunicación y sistema vehicular. La estación de control está conformada por el volante, interfaz y el dispositivo háptico o chaleco; el sistema vehicular está conformado por el sistema de adquisición de datos y control, y el video. Finalmente, el sistema de comunicación hace posible la interacción entre la estación de control y el sistema vehicular. La Figura 15 muestra el esquema general del prototipo con sus respectivos bloques.

Figura 15

Esquema general.

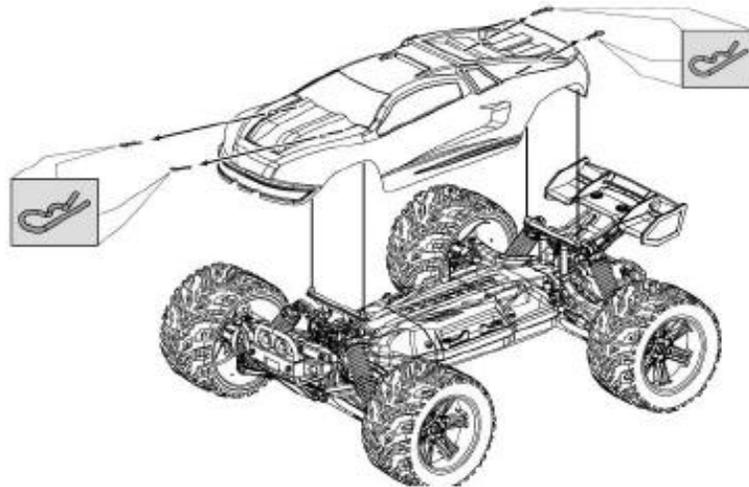


Sistema Vehicular

El sistema vehicular está conformado por un vehículo a escala 1:12 modelo *Luctan S912* que posee características físicas que modelan el comportamiento de un vehículo de tamaño real, junto a elementos que hacen posible su manejabilidad a diferentes distancias a través de la asistencia remota (GPTOYS, 2015). A continuación, la Figura 16 muestra al vehículo a escala *Luctan S912*.

Figura 16

Vehículo a escala Luctan S912.



Nota. Tomado de *Luctan S912*, GPTOYS, 2015, GPTOYS, (https://g-p.hk/maual/912/s912Manual_new-connector.pdf).

A continuación, se detalla la distribución de los componentes mecánicos y electrónicos que conforman el prototipo de conducción vehicular.

Distribución Mecánica

El vehículo está conformado por un sistema de resortes independiente para cada neumático que permite el acople ante diferentes superficies y una mejor respuesta a impactos. Los resortes pueden ser colocados de dos maneras diferentes para establecer el tamaño de su elongación.

En la Figura 17 se muestra el mecanismo de resortes conectado a cada neumático junto a las dos posibles combinaciones de colocación del resorte en el chasis.

Figura 17

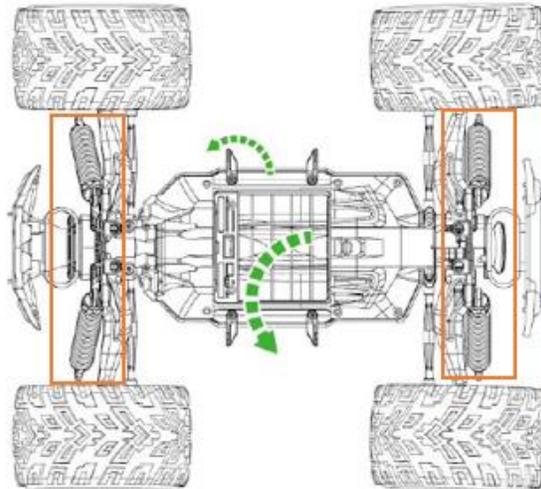
Mecanismo de resortes del vehículo a escala.



En la Figura 18 se muestra un esquema general de la ubicación del sistema de resortes para cada neumático del vehículo a escala, se denotan encerrados las partes por la parte inferior del mismo.

Figura 18

Ubicación de los resortes en el vehículo a escala



Nota. Tomado de *Luctan S912*, GPTOYS, 2015, GPTOYS, (https://g-p.hk/maual/912/s912Manual_new-connector.pdf).

El material de construcción en los neumáticos es caucho, lo que facilita su adherencia a las superficies lo que evita deslizamientos y una gran resistencia a golpes, posee un diámetro de 6.4cm lo cual permite que el vehículo tenga una elevación considerable con respecto al suelo.

Todos sus elementos están sujetos al chasis por medio de un sistema de un perno y una tuerca en cada neumático hacen que la extracción de los mismos sea sencilla. Estas características descritas anteriormente permiten tener un control estable en el vehículo ante diferentes tipos de superficies.

La Figura 19 muestra al vehículo a usar con sus respectivos neumáticos, se puede ver ya instalados sus neumáticos.

Figura 19

Vehículo a escala con neumáticos instalados.



Distribución Electrónica

El interior del vehículo está compuesto por un sistema electrónico conformado por dos partes, la primera cumple la función de control de las acciones del vehículo y la segunda se encarga de la recolección de datos de los distintos sensores que serán detallados más adelante.

En la Figura 20 se muestran los componentes electrónicos utilizados para el desarrollo del prototipo.

Figura 20

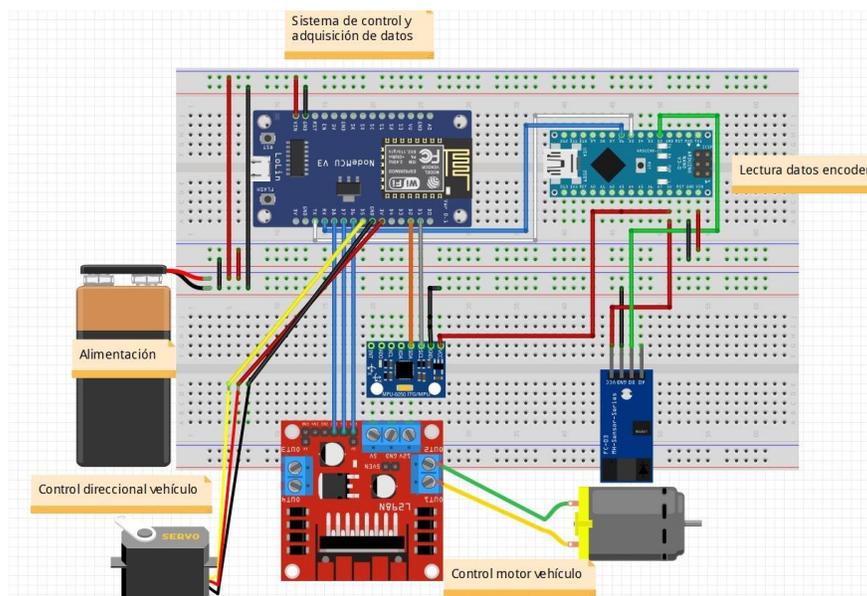
Implementación de la distribución electrónica del vehículo.



Sistema Electrónico para Control de Acciones. Este sistema tiene como propósito el manejo de los componentes mecánicos orientado al desplazamiento del vehículo, el cual ejecuta tareas tales como el control de la dirección y variación de velocidad.

Sistema de Recolección de Datos. Esta sección está conformada por un arreglo de sensores que facilitan la recolección de datos para el modelamiento de las características físicas que el vehículo desempeña. Las características físicas van desde determinar la irregularidad de la superficie, como la respuesta del vehículo ante diferentes factores.

En la Figura 21 se muestra el esquema de la distribución total electrónica del vehículo.

Figura 21*Esquema distribución electrónica***Implementación del Módulo Encoder en el Vehículo**

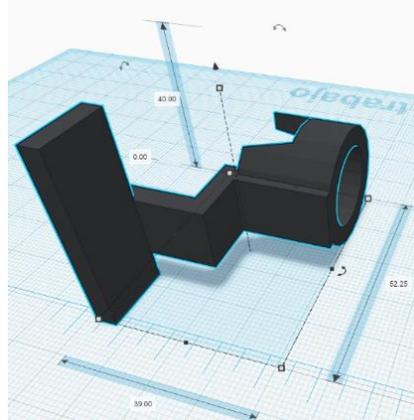
Para adaptar el módulo de tal manera que no interfiera con la estructura y funcionalidad del vehículo se llevó a cabo el diseño y renderización de dos piezas mecánicas, las cuales se enfocan en tomar la lectura de la llanta trasera derecha.

Se adaptó al chasis del carro una de las piezas destinada a ser el soporte del lector del módulo del encoder, esta pieza fue pensada para evitar conflictos en el funcionamiento del sistema de amortiguamiento y desplazamiento.

A continuación, en la Figura 22 se muestra el diseño en 3D de la pieza mecánica del lector del encoder adaptado al módulo, se puede ver la renderización de la pieza a imprimir.

Figura 22

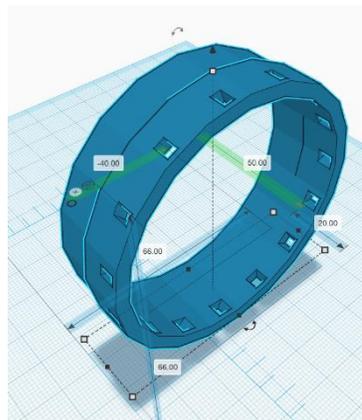
Diseño en 3D del soporte del lector de encoder.



La segunda pieza fue creada con el propósito de reemplazar a el disco convencional usado en la lectura de este tipo de sensores, para acoplar sin afectar la estructura del neumático, el mismo que consta de 16 ranuras simétricamente ubicadas para permitir el paso del haz de luz. En la Figura 23 se observa el diseño en 3D de la pieza.

Figura 23

Diseño en 3D del disco lector.



Volante

El volante empleado, originalmente pensado para consolas de videojuegos otorga un mayor realismo en juegos orientados a carrera de vehículos o simuladores de conducción, cuyas características son empleadas para el control de este prototipo en las labores de teleoperación.

El sistema está conformado por un volante, un par de pedales y dos palancas de cambios ubicadas en la parte posterior del volante, el cual está fuertemente influenciado por el mecanismo de conducción para vehículos automáticos.

En la Figura 24 se detalla de manera gráfica la constitución de este sistema a implementar.

Figura 24

Volante y pedales a implementar.



Sistema de Comunicación

Configuración Router.

La configuración y administración del router *TP-LINK* es sencilla y se la puede llevar a cabo en múltiples sistemas operativos como Windows, Macintosh, Linux o Android.

Para el proceso de configuración es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Resetear el router.
2. Conectar el router por medio de cable ethernet al ordenador.
3. Ingresar a la página de configuración mediante el uso de algún navegador con la ruta "http://tplinkwifi.net", otro proceso alternativo para acceder a esta página es obtener la *IP* de la puerta de enlace predeterminada y colocarla en el navegador como se lo haría con la ruta antes mencionada.
4. Colocar una contraseña para la administración, la cual queda grabada de manera permanente para futuras sesiones.
5. A continuación, en la Figura 25 se configura el nombre de la red o SSID y contraseña, tanto para la banda de 2.4GHz como para la de 5GHz y se activa la opción "ocultar SSID" para evitar asociaciones indeseadas.

Figura 25

Panel de configuración de datos de red.

Configuraciones Inalámbricas

Inalámbrico de 2.4GHz: [Habilitar la Radio Inalámbrica](#)

Nombre de la Red (SSID): [Ocultar SSID](#)

Contraseña:

Inalámbrico de 5GHz : [Habilitar la Radio Inalámbrica](#)

Nombre de la Red (SSID): [Ocultar SSID](#)

Contraseña:

TxBF,MU-MIMO: [Habilitar TxBF,MU-MIMO](#)

6. Para el enrutamiento de la red, en la opción RED se configura la dirección *IP* 192.168.100.1 y la máscara /29 ya que es suficiente para cubrir los 6 dispositivos que se van a conectar. A continuación, la Figura 26 muestra estas características.

Figura 26

Panel de enrutamiento de red.

tp-link Configuración Rápida Básico **Avanzado** Español(México) Finalizar la sesión Reiniciar

Estado

Red

- Internet
- LAN
- IPTV

Configuración de LAN

Dirección MAC: 0C-80-63-91-64-5E

Dirección IP:

Máscara de Subred:

7. El siguiente paso es visualizar el rango de las direcciones *IP* que se va a asignar a los dispositivos, en este caso las direcciones irán desde la 192.168.100.2 a la 192.168.100.6. Además, se debe deshabilitar el servidor de DHCP, para asignar una *IP* determinada para cada dispositivo. A continuación, en la Figura 27 se denota esta configuración.

Figura 27

Establecimiento de rango de direcciones IP.



8. Se guardan los cambios de cada proceso mostrado anteriormente y finalmente se verifica si la conexión se completó correctamente. La Figura 28 denota la información modificada en el panel CMD de la PC.

Figura 28

Panel de información del adaptador Ethernet.

```
Adaptador de Ethernet Ethernet:

Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Vínculo: dirección IPv6 local. . . . . : fe80::bc6b:cf95:c19a:7fd7%12
Dirección IPv4. . . . . : 192.168.100.2
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.248
Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.100.1
```

Direccionamiento IP

Después de obtener el rango de direcciones a usar, se le asigna una dirección en específico a todos los elementos del prototipo. A continuación, en la Tabla 7 se muestra la asignación de direcciones para cada uno de los dispositivos conectados a la red.

Tabla 7

Asignación de direcciones IP.

Dispositivo	Dirección IP	Banda de frecuencia	Máscara	Gateway
Computador	192.168.100.2	2.4 GHz		
ESP8266 vehículo	192.168.100.3	2.4 GHz	255.255.255.248	192.168.100.1
ESP8266 chaleco	192.168.100.5	2.4 GHz		
Dispositivo móvil	192.168.100.6	5 GHz		

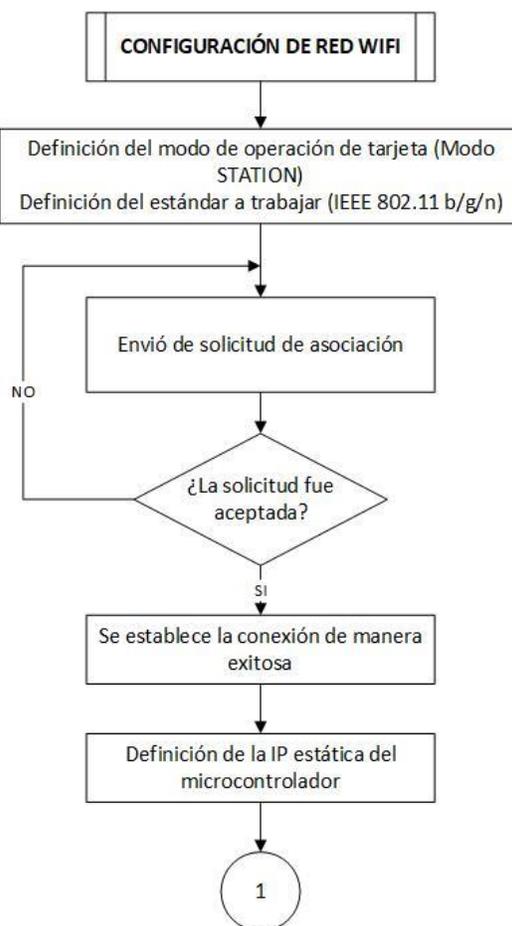
Configuración WiFi en Esp8266

El microcontrolador ESP8266 trabaja con la librería *ESP8266Wifi.h* que con el conjunto de instrucciones que presenta hace posible la asociación a una red inalámbrica *WiFi*. Para la comunicación del microcontrolador se realizó el proceso descrito en un diagrama de flujo.

A continuación, la Figura 29 denota el diagrama de flujo de la configuración de red *WiFi* utilizada.

Figura 29

Diagrama de flujo para la comunicación del microcontrolador.



El primer paso que se debe llevar a cabo es establecer el modo de operación que va a efectuar el dispositivo, el cual consta de tres modos, para este tipo de aplicación se lo definió en modo *STATION* debido a que solo se requiere la vinculación del microcontrolador al router.

A continuación, se definió el estándar con el que se va a trabajar que es un factor relevante para el análisis del desempeño del prototipo. El siguiente paso es llevar un

proceso de asociación y autenticación con la red con la que se requiere conectar mediante el nombre de la red y la contraseña, que una vez establecido exitosamente se asigna una *IP* estática.

Protocolo UDP

User Datagram Protocol o UDP, es uno de los protocolos en la capa de transporte que proporciona un servicio no orientado a conexión para procedimientos en los cuales la monitorización en tiempo real y la pérdida de una unidad de datos no genere problemas en la transmisión de datos.

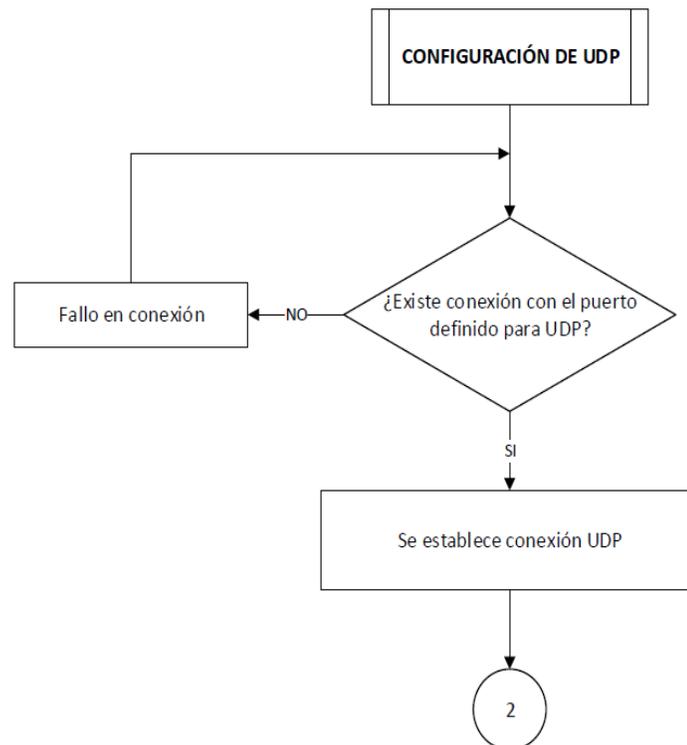
Ya que UDP trabaja sin conexión, las sesiones no se establecen antes de que se lleve a cabo la comunicación, es decir, cuando una aplicación tiene datos para enviar, simplemente los envía. Es por esto que este protocolo puede ser utilizado en aplicaciones en tiempo real, tales como voz y video, ya que para estas aplicaciones es más importante transmitir los datos con velocidad que garantizar su llegada (Stallings, 2008).

Configuración UDP en ESP8266. Para llevar a cabo la configuración UDP dentro del microcontrolador ESP8266 se emplea el uso de la librería *WiFiUDP.h*. Además, se requiere declarar un puerto local y un puerto remoto, el puerto local es empleado en el proceso de configuración inicial del protocolo, para lo cual se establece la conexión mediante el protocolo UDP siempre y cuando el puerto esté disponible, caso contrario existe un fallo de conexión y se repetirá el proceso.

El proceso mencionado es representado en la Figura 30 que denota el diagrama de flujo.

Figura 30

Diagrama de flujo de la configuración de UDP.



Protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

MQTT es un protocolo de tipo publicación/suscripción de nivel aplicación para redes no basadas en *TCP/IP*, enfocado al envío de datos en aplicaciones o dispositivos donde se requiere muy poco ancho de banda. Además, debido a las características que presenta han hecho que se convierta en un protocolo muy utilizado para la comunicación de sensores y consecuentemente, dentro del Internet de las Cosas (Atmoko, Riantini, & Hasin , 2017).

Para la utilización de este protocolo es necesario el programa Mosquitto Broker cuya guía de instalación se puede encontrar en la sección de Anexos, el Anexo A.

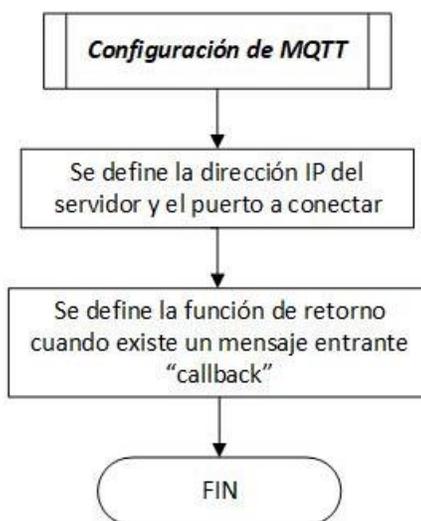
Configuración MQTT en ESP8266.

Para realizar la configuración MQTT en el módulo ESP8266 se requiere la inclusión de la librería *PubSubClient.h*, la misma que dispone de un conjunto de funciones necesarias para establecer la conexión con este protocolo. Para lo cual es necesario realizar algunos pasos previos como inicializar el cliente, definir la dirección *IP* y el puerto del servidor.

Finalmente, la última configuración a realizar para establecer la comunicación es definir una función de retorno cuando exista un mensaje entrante en el servidor. El diagrama de flujo de la Figura 31 muestra de manera secuencial la configuración que se debe realizar en el microcontrolador ESP8266 para emplear MQTT.

Figura 31

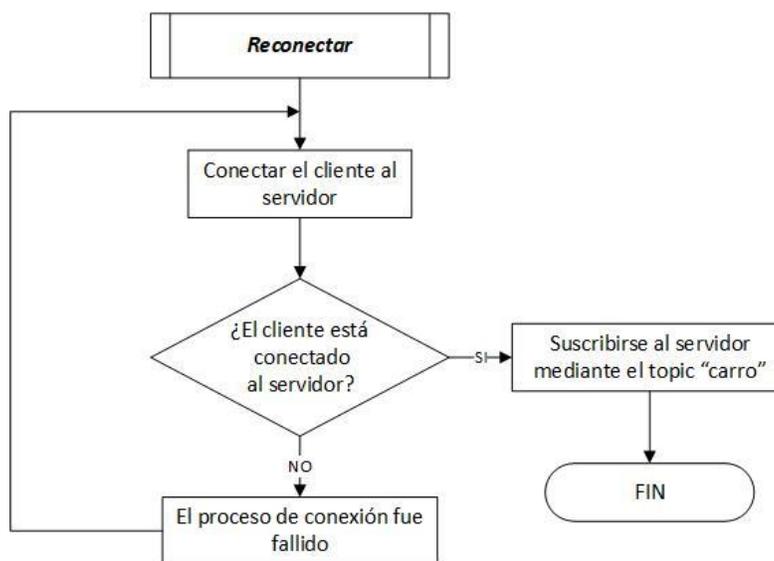
Diagrama de flujo de la configuración de MQTT.



Una vez inicializada la configuración de MQTT es necesario comprobar que exista la conexión entre el cliente y el servidor. En la Figura 32 se explica detalladamente esta comprobación mediante el subproceso Reconectar.

Figura 32

Diagrama de flujo del subproceso Reconectar.



Cuando se requiera realizar comunicación con el servidor, se debe tener en cuenta que el proceso de envío de datos bajo el protocolo MQTT se lo denomina publicación, mientras que el proceso de recepción se lo denomina como suscripción que están sujetos a una etiqueta llamada *topic* lo que permite clasificar los datos a utilizar. Este proceso se lo explica adicionalmente en la configuración de MQTT para Node-RED.

Node-RED

Node-RED es una herramienta de programación visual que tiene como principal objetivo conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea de formas alternativas. Una de las ventajas que presenta Node-RED es que al ser un editor de flujo

se puede añadir o eliminar nodos y conectarlos entre sí para que se comuniquen entre ellos (Sancho, 2020).

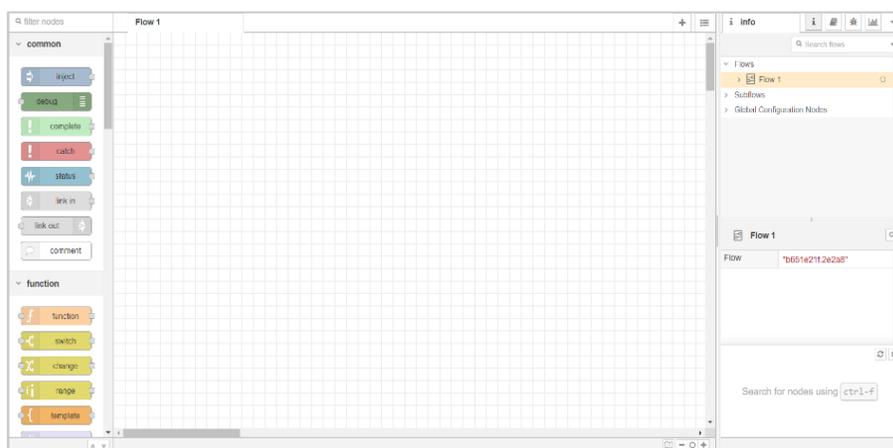
Es por esto que para el desarrollo de este proyecto se emplea el uso de esta herramienta debido a que permite la interacción entre los dispositivos que van a ser empleados, y permite tener un control y la monitorización sobre el flujo de datos que van a circular en la red y hacer posible su representación mediante una interfaz gráfica.

Es necesario explicar de una manera resumida el proceso de instalación de la herramienta Node-RED en el sistema operativo Windows y mostrar algunas de las herramientas que se utilizaron para este proyecto el cual está en la sección de Anexos, el Anexo B.

El área de trabajo de Node-RED que se despliega después de realizar la instalación del programa y sus complementos, así como su inicialización se muestra en la Figura 33 a continuación:

Figura 33

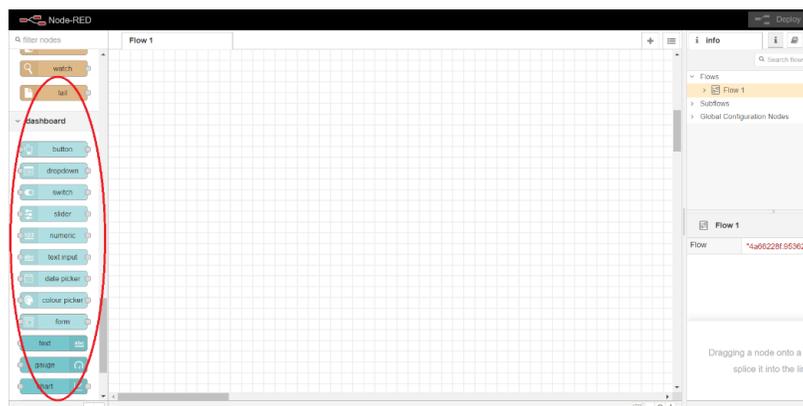
Área de trabajo de Node-RED.



Dashboard. Es un módulo que proporciona un conjunto de nodos para crear rápidamente un tablero de datos en vivo. Su instalación se muestra en la sección de Anexos, el Anexo C. Las herramientas añadidas en su instalación ya sea mediante el uso del *manage pallette* o mediante el *command prompt* son ubicadas en el menú derecho del área de trabajo. La Figura 34 muestra las herramientas añadidas.

Figura 34

Herramientas añadidas en la interfaz.



Nodos. Para el diseño de la interfaz gráfica, se utilizaron diferentes nodos necesarios para representar gráficamente datos relevantes como respuesta a las acciones del vehículo, para lo cual es necesario realizar una breve descripción de la función de algunos de los nodos que fueron empleados.

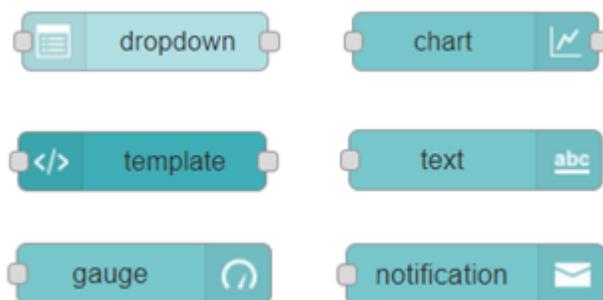
- *Dropdown:* se pueden especificar varios pares de etiquetas y valores. Si solo es texto, el valor es el mismo que el de la etiqueta; de lo contrario, se puede especificar el valor de salida.
- *Chart:* tiene modos de gráfico circular, de barras y de líneas. Las etiquetas del eje X se pueden configurar al utilizar una cadena de formato de fecha.

- *Template*: permite al usuario especificar y crear sus propios nodos mediante HTML y *JavaScript*.
- *Text*: es un nodo sólo de lectura
- *Gauge*: tiene 4 modos; estándar (indicador libre), rosquilla (360° completo), brújula y onda. Se puede especificar la gama de colores de los calibres estándar y de rosca.
- *Notification*: crea alertas para el usuario, puede ser una ventana emergente o un cuadro de alerta descartable (Node-RED, 2020).

A continuación, en la Figura 35 se muestran los nodos añadidos después de la instalación del complemento Dashboard.

Figura 35

Nodos añadidos a Node-RED.

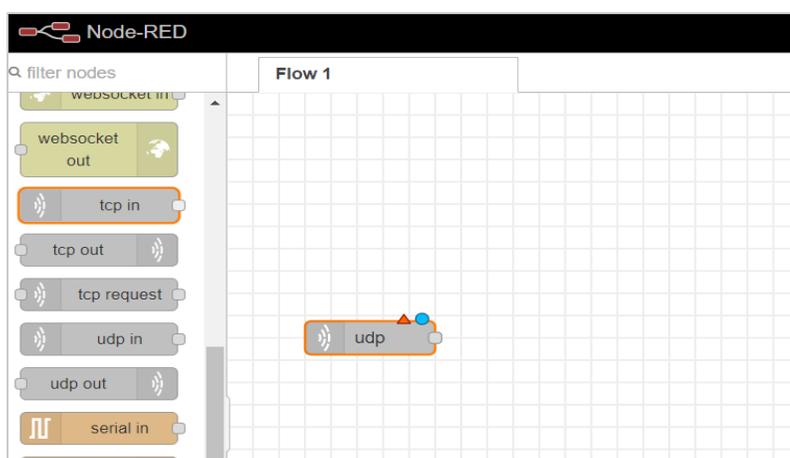


Configuración de UDP. En esta sección se detalla el proceso de configuración del protocolo UDP dentro de la herramienta Node-RED. La herramienta trabaja con los nodos *UDP in* y *UDP out* dedicados a este tipo de conexión para la transmisión y recepción de datos.

UDP In. Para la recepción de datos se selecciona el nodo *UDP in* en el menú ubicado en la parte izquierda del área de trabajo, el mismo que se muestra en la siguiente Figura 36.

Figura 36

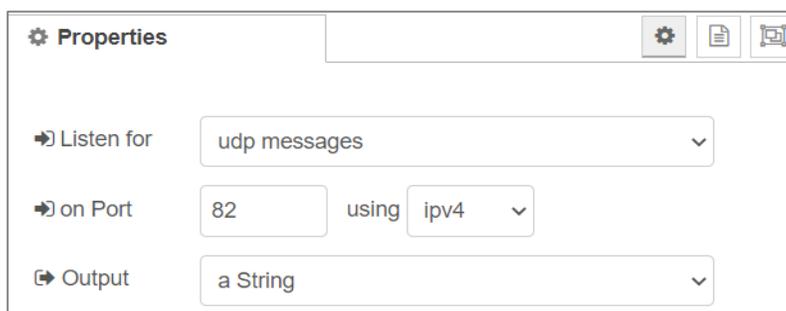
Inserción del nodo UDP in.



Una vez seleccionado y ubicado el nodo en el área de trabajo, se da click en el nodo para desplegar el conjunto de opciones que pueden ser configuradas. A continuación, se muestra en la Figura 37 el panel de configuración.

Figura 37

Panel de configuración.



Para el funcionamiento de la recepción se deben definir tres parámetros importantes los cuales son: *Listen for*, *on Port* y *Output*.

El parámetro *Listen for* permite definir el tipo de difusión del protocolo para lo cual se establecen 2 opciones: *udp messages* y *multicast messages*. La opción *udp messages* es empleada en este proyecto ya que permite establecer una conexión punto a punto entre el ordenador y el microcontrolador.

El segundo parámetro *on Port* se encarga de definir el puerto local que se haya definido en el microcontrolador, el mismo que está anclado a una dirección ipv4. Para finalizar, el parámetro *Output* es empleado para definir el tipo de dato que será receptado, para este tipo de aplicación se ha definido el tipo de dato *String* pero cabe recalcar que se puede llegar a utilizar además el tipo de dato *Buffer* y un *String* codificado a Base64.

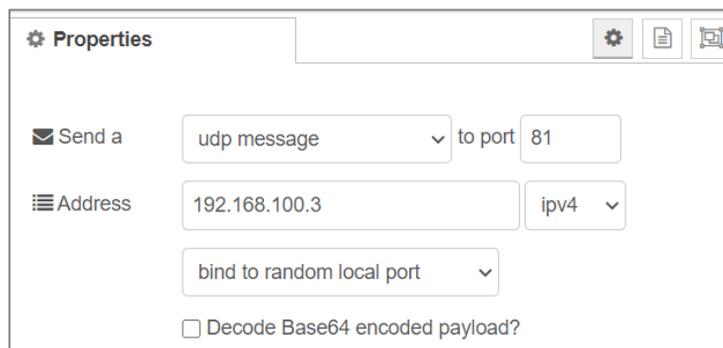
UDP Out. La difusión de datos por medio de este protocolo es desempeñada por el nodo *UDP out*, el mismo que puede ser seleccionado de manera similar a la del nodo *UDP in*. Al desplegar la configuración del nodo se establecen los siguientes parámetros: *Send a* y *Address*.

El parámetro *Send a* será definido con la opción "*udp message*" y el puerto remoto que se definió en el microcontrolador. El segundo parámetro consiste en la dirección *IP* a la cual es enviada la información, que en este caso corresponde al microcontrolador destinado al manejo del vehículo y al dispositivo háptico o chaleco.

Finalmente, se requiere seleccionar la opción "*bind to random local port*" y desmarcar la opción "*Decode Base64 encoded payload*" como se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Panel de parámetros UDP out.



The screenshot shows the 'Properties' panel for a 'Send a UDP message' node in Node-RED. The configuration is as follows:

- Send a:** A dropdown menu set to 'udp message' followed by 'to port' and a text input field containing '81'.
- Address:** A text input field containing '192.168.100.3' and a dropdown menu set to 'ipv4'.
- bind to random local port:** A dropdown menu set to 'bind to random local port'.
- Decode Base64 encoded payload?:** An unchecked checkbox.

Configuración de MQTT. En Node-RED existen dos nodos para la configuración de MQTT, suscripción (entrada) y la publicación (salida) cuya configuración es casi igual ya que se refiere a la conexión real del cliente.

Para comunicarse por medio de MQTT, es necesario conocer la dirección *IP* del servidor de Mosquitto Broker y su respectivo puerto, para este caso la dirección *IP* es la dirección asignada al ordenador 192.168.100.2 con el puerto 1883 que es predeterminado de Node-RED. Para que la comunicación se complete correctamente, es necesario configurar varios parámetros tales como:

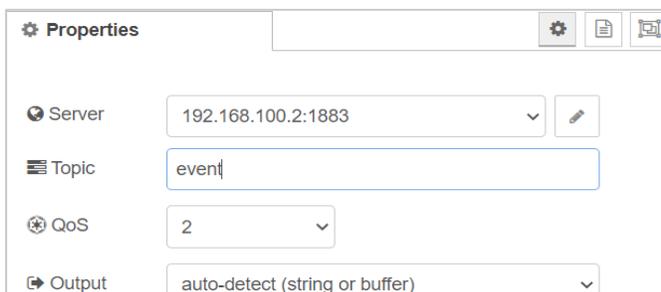
- **Bandera de sesión limpia:** una sesión limpia es aquella en la que el servidor no recuerda nada acerca del cliente cuando este se desconecta, generalmente es una forma predeterminada para los clientes de MQTT.
- **Time to live:** utilizado para determinar si una conexión todavía está presente el intervalo predeterminado es de 60 segundos.

- Calidad de servicio (QoS, del inglés *Quality of Service*): MQTT proporciona 3 niveles de QoS, utilizados para garantizar la entrega del mensaje, QoS 0 es el método más rápido, menos confiable y requiere solo de 1 mensaje, una vez que el cliente envió el mensaje automáticamente se elimina de la cola de mensajes salientes; QoS 1 garantiza que el mensaje se entregará al menos una vez. Finalmente, QoS 2 es el nivel más lento ya que requiere 4 mensajes, no obstante, garantiza que el mensaje será entregado solo una vez.

MQTT In. Los parámetros de configuración de *MQTT in* son: *Server*, *Topic*, *QoS* y *Output*. El parámetro *Server* está definido por la *IP* del servidor y el puerto 1883, mientras que el parámetro *Topic* está diseñado para establecer comunicación entre dos dispositivos que tengan definida la misma etiqueta o *topic*, en este caso está asignada la etiqueta “*event*”. El parámetro *QoS* permite definir la calidad de servicio para garantizar la entrega del mensaje, con un rango de 0 a 2, siendo 0 el valor con menos prestaciones para la entrega de datos y 2 el nivel más confiable. El último parámetro *Output* establece el tipo de dato a enviar, el cual puede ser “*String*” o “*Buffer*”. La configuración de estos parámetros se muestra en la Figura 39.

Figura 39

Configuración de parámetros MQTT in.



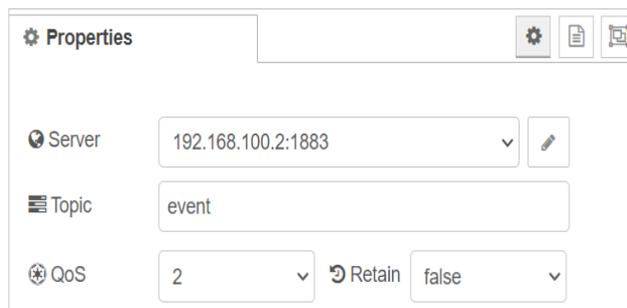
The image shows a configuration window titled "Properties" for MQTT in. It contains four settings:

Property	Value
Server	192.168.100.2:1883
Topic	event
QoS	2
Output	auto-detect (string or buffer)

MQTT Out. La configuración del nodo *MQTT out* es similar a la configuración de los parámetros de *MQTT in*, con la diferencia que no existe el establecimiento del tipo de dato que se transmite y se puede determinar si el dato va a ser conservado mediante la sección de las opciones true o false. La Figura 40 muestra la configuración del nodo *MQTT out*.

Figura 40

Configuración MQTT out.



Comunicación Serial. Está basada en el envío de bits de diferente información a través de una única línea de manera secuencial. Un transmisor/receptor asíncrono universal, es un dispositivo de hardware capaz de transmitir bits de datos individuales de forma secuencial.

La transmisión de los datos utiliza la librería "*SoftwareSerial.h*" la cual permite que la comunicación en serie con un pin digital sea posible a una velocidad de hasta 1152000bps, con un rango de 5 a 9 bits se inicia la transmisión con un bit *START* que es enviado con un nivel lógico bajo, seguido por un conjunto de bits que se transmiten uno por uno a la línea de salida, para finalizar la transmisión se envía un bit *STOP* con un nivel lógico alto, con este cambio de nivel se garantiza la comunicación correcta entre los dispositivos. Una de las ventajas que presenta es que la transmisión de una sola línea es

menos costosa en comparación a la transmisión en paralelo que necesita de múltiples líneas.

Para la recepción de los datos, el receptor comprueba el estado de la línea de entrada en cada pulso que el reloj de la UART tiene, cuya frecuencia es múltiplo de la velocidad de transmisión de los bits. Una vez que todos los bits han sido transmitidos, el contenido del registro de la UART está en disposición del sistema hasta que el bit *STOP* llegue a su destino (Borja Díaz, 2015).

Interfaz

Visualización de Video en IP

Webcam. Para la visualización de video se utilizó *IP Webcam* que es una aplicación que permite convertir un dispositivo Android en una cámara *IP* remota, a la cual se le puede acceder desde un computador conectada a la misma red *WiFi*.

Entre las características que presenta esta aplicación se encuentran: renderizadores web como: Flash, Javascript o integrado; grabación de video como: WebM, MOV, MKV o MPEG4 y transmisión de audio como Wav, Opus o AAC. El proceso para conseguir que un dispositivo Android se convertirá en una cámara *IP* es el siguiente:

1. Descargar la aplicación de la tienda oficial de Android "Playstore", la cual se puede conseguir de manera directa del siguiente enlace: "<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pas.webcam.pro>".
2. Ejecutar la aplicación el cual despliega un conjunto de opciones para modificar parámetros de la configuración de video como se muestra en la Figura 41.

Figura 41

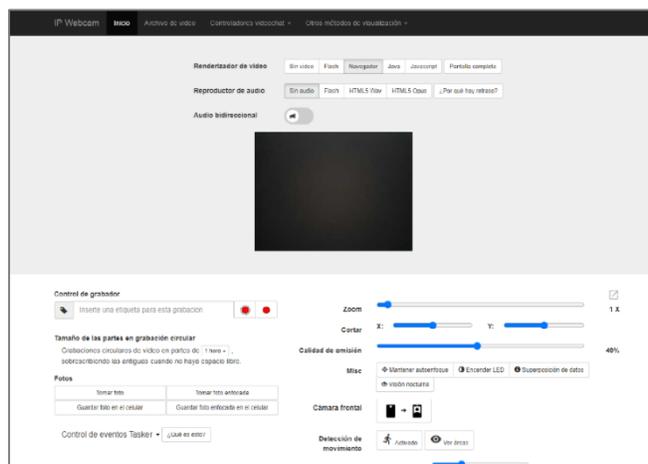
Configuración de parámetros de video.



3. Se selecciona la opción *Preferencias de video* la cual permite configurar parámetros tales como la resolución de video, las limitaciones de frames/s, entre otros.
4. Volver a la pantalla principal una vez se haya seleccionado las preferencias de video deseadas e iniciar el servidor para la transmisión de video.
5. El servidor se inicializa, y se despliega en pantalla una dirección constituida por la *IP* del dispositivo móvil con un puerto por defecto `http://192.168.100.6:8080`. Esta dirección puede ser ingresada dentro de cualquier ordenador conectado a la red, y así se despliega la interfaz web de la aplicación. A continuación, en la Figura 42 se observa la interfaz en el navegador.

Figura 42

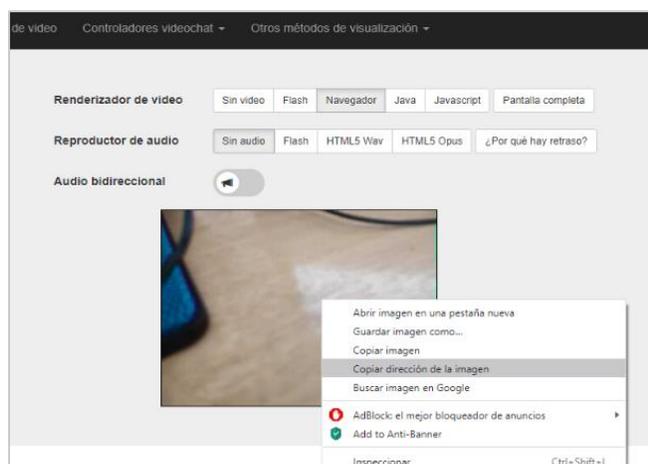
Interfaz web.



6. Al seleccionar en la interfaz web en el apartado de renderizado de video la opción *Navegador*, se puede obtener la dirección de la imagen “<http://192.168.100.6:8080/video>” como se detalla en la Figura 43.

Figura 43

Copiado de la dirección de la imagen de video.



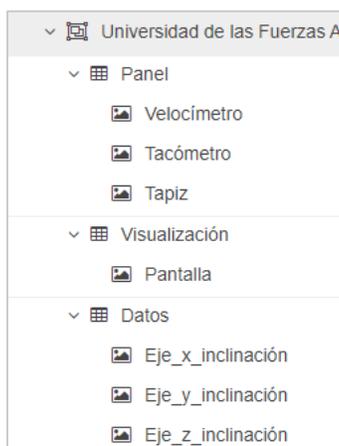
Diseño de la Interfaz en Node-RED.

La interfaz está dividida en 3 grupos: panel, visualización y datos. El grupo panel muestra la información correspondiente a la velocidad y las revoluciones por minuto (RPM, del inglés *Revolutions per Minute*) ejercidas en el vehículo, mientras el grupo de visualización está conformado por la transmisión de video recibida por el teléfono celular.

Finalmente, el grupo datos muestra la información de la inclinación del vehículo en los ejes X, Y y Z. En la Figura 44 se muestra los grupos que conforman la interfaz.

Figura 44

Distribución de la interfaz en Node-RED.



La información recibida de los sensores se conecta a diferentes nodos conocidos como *Dashboard*, que permiten tener una interacción con el usuario ya que varían de acuerdo al valor numérico recibido, tal es el caso del velocímetro y los ejes de inclinación que emplean un nodo conocido como *gauge*.

En la Figura 45 se muestra el esquema del velocímetro y las inclinaciones del eje X y Y respectivamente.

Figura 45

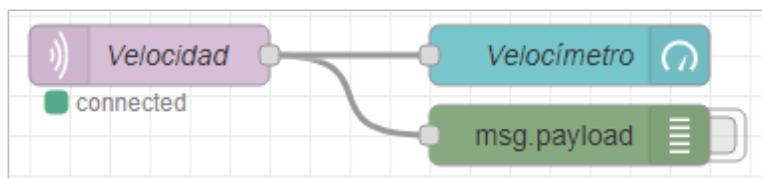
Esquema velocímetro, inclinación en el eje X y en el eje Y.



El velocímetro recibe los valores obtenidos de la lectura del encoder, los cuales son enviados mediante el protocolo MQTT bajo el topic Velocidad. En la Figura 46 se representa la conexión del valor recibido y el nodo Dashboard en la aplicación Node-RED.

Figura 46

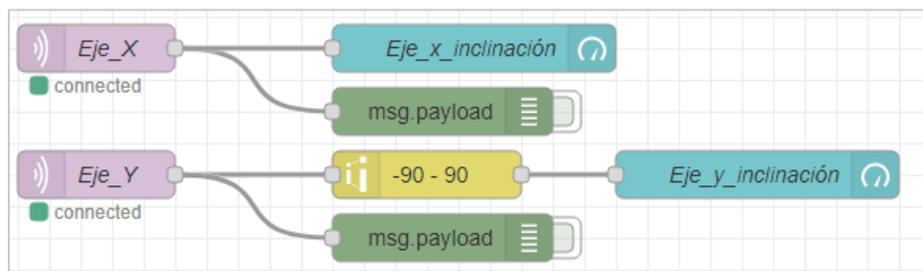
Conexión entre nodos para el topic Velocidad.



Los ejes X, Y de manera similar reciben los valores obtenidos del giroscopio que son enviados mediante el protocolo MQTT bajo el topic eje_x y eje_y respectivamente. En la Figura 47 se muestra las conexiones.

Figura 47

Conexión del eje X y Y con su respectivo nodo.



El tacómetro emplea un nodo *Dashboard* del tipo *level* y el eje Z emplea el tipo *compass*, ya que su interpretación requiere de otro tipo de visualización.

En la Figura 48 se muestra el esquema del tacómetro y la inclinación del eje Z.

Figura 48

Esquema tacómetro e inclinación del eje Z.

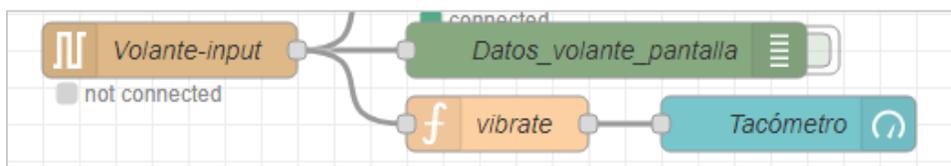


El tacómetro recibe los valores obtenidos del grado de presión que se ejerce en los pedales, siendo el valor mínimo 0 cuando no existe presión y 8 cuando la presión ejercida es la máxima. El valor es recibido por el puerto serial correspondiente del volante al computador.

En la Figura 49 se muestra la conexión entre los valores recibidos por el volante y los pedales y su respectivo nodo Dashboard.

Figura 49

Conexión entre nodos para el tacómetro.



Los valores del eje Z al igual que los valores de los ejes X y Y son obtenidos por el giroscopio y enviados por el protocolo MQTT bajo el topic eje_z. En la Figura 50 se indica la conexión.

Figura 50

Conexión inclinación del eje Z.



La integración del video que se transmite a través de la aplicación *IP Webcam* que es explicado más adelante, la interfaz en *Node-RED* fue realizada mediante el empleo del nodo *template* que permite introducir instrucciones en lenguaje HTML y facilitar la asociación entre las dos plataformas.

En la Figura 51 se muestra el nodo utilizado con el nombre Pantalla.

Figura 51

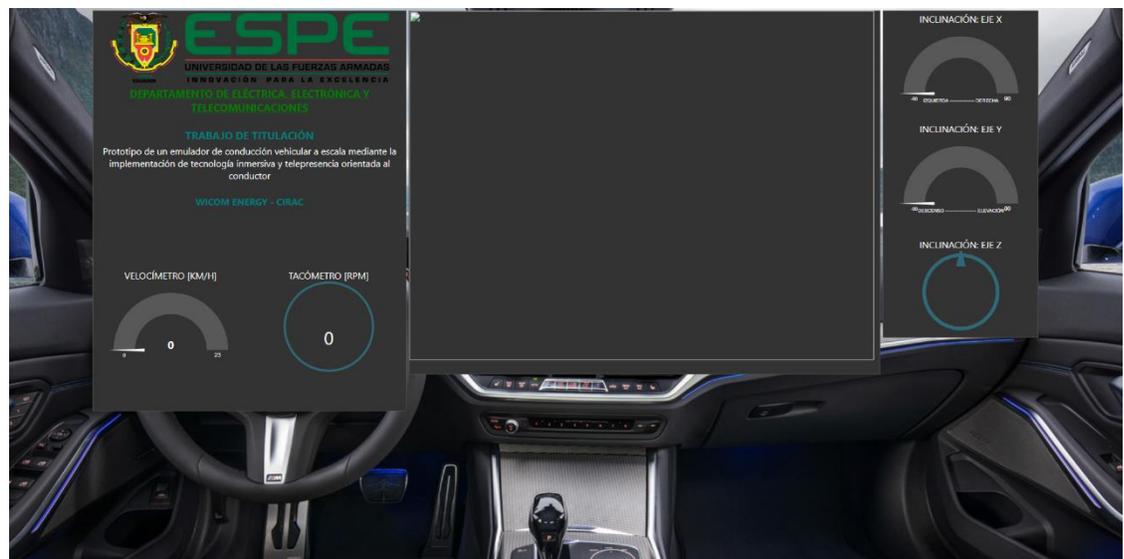
Nodo utilizado para visualización de la interfaz.



Finalmente, en la Figura 52 se muestra el esquema general de la interfaz.

Figura 52

Interfaz final realizada en Node-RED.



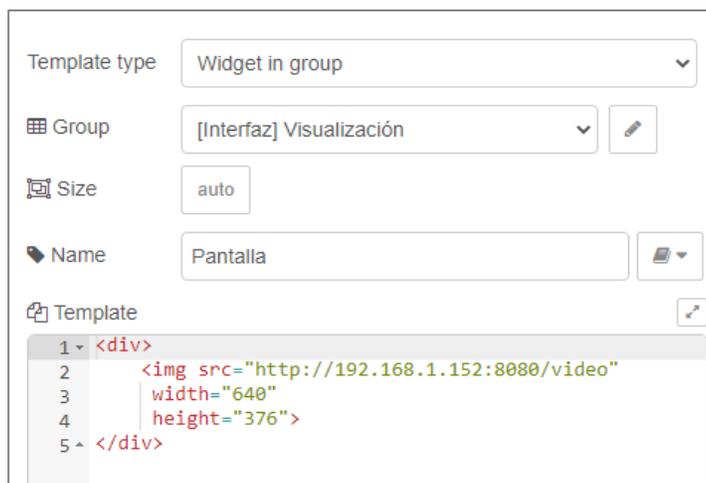
Visualización de Video. Para asociar la imagen transmitida por *IP Webcam* en la plataforma de Node-RED se selecciona el nodo *Template* de la categoría Dashboard, el cual está orientado para interpretar instrucciones de lenguaje HTML. Al dar click sobre el nodo se pueden configurar los parámetros *Template type*, *Group*, *Size*, *Name* y *Template*.

El parámetro *Template type* por defecto es seleccionado como *Widget in group*, a su vez el parámetro *Group* define el grupo al cual pertenece este elemento en el Dashboard, mientras el parámetro *Size* es configurado en auto por defecto y el parámetro *Name* es una etiqueta que tiene el nodo para diferenciarlo de los otros nodos.

Finalmente, el parámetro *Template* está constituido por el conjunto de instrucciones de HTML enfocadas en la dirección de la imagen de *IP Webcam* y la modificación de características como el ancho y el alto. A continuación, se muestra en la Figura 53 el parámetro y sus instrucciones en HTML.

Figura 53

Parámetros template type.



The image shows the configuration interface for the 'Template' node in Node-RED. It features several input fields and a code editor:

- Template type:** A dropdown menu set to 'Widget in group'.
- Group:** A dropdown menu set to '[Interfaz] Visualización' with an edit icon.
- Size:** A text input field set to 'auto'.
- Name:** A text input field set to 'Pantalla' with a save icon.
- Template:** A code editor containing the following HTML code:

```
1 <div>
2   
5 </div>
```

Sistema de Control

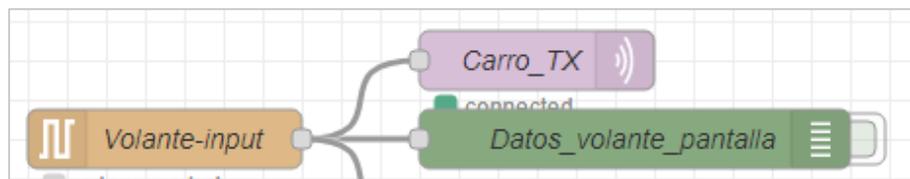
Transmisor del Control Vehicular

Las acciones ejecutadas en el volante son traducidas en datos que son enviadas al computador mediante comunicación serial, las mismas que son reenviadas al microcontrolador del vehículo, para lo cual se emplea un nodo *MQTT out* para la difusión de los datos bajo el *topic* carro a través del servidor.

En la Figura 54 se muestra la conexión realizada en la transmisión de los datos.

Figura 54

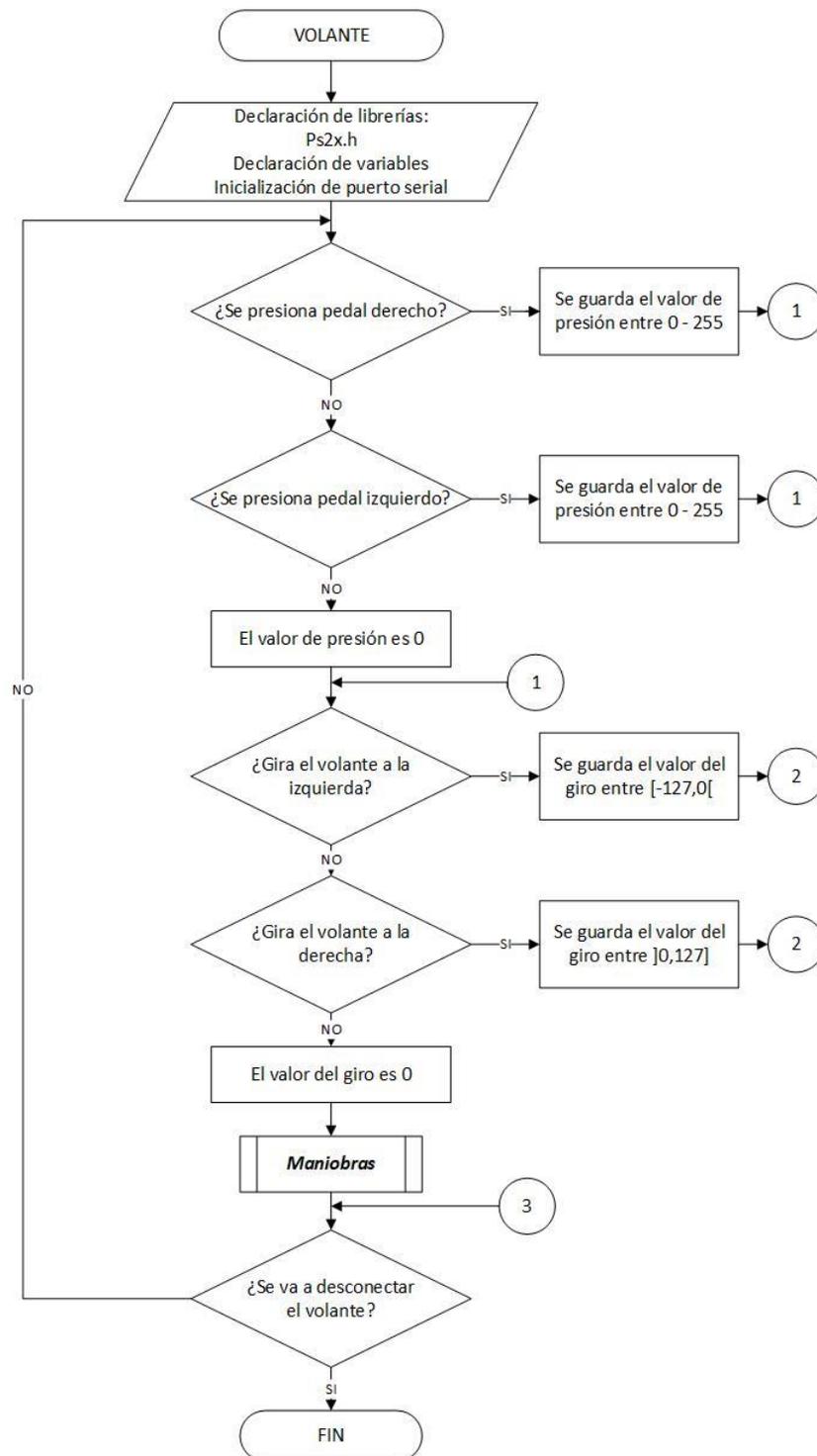
Conexión transmisión de datos.



El algoritmo desarrollado para interpretar las acciones ejecutadas en el volante se las detalla en el diagrama de flujo de la Figura 55.

Figura 55

Diagrama de flujo de las acciones del volante.



En la Figura 56 se explica de manera detallada el subproceso Maniobras mostrado en el diagrama anterior.

Figura 56

Diagrama de flujo del subproceso Maniobras.

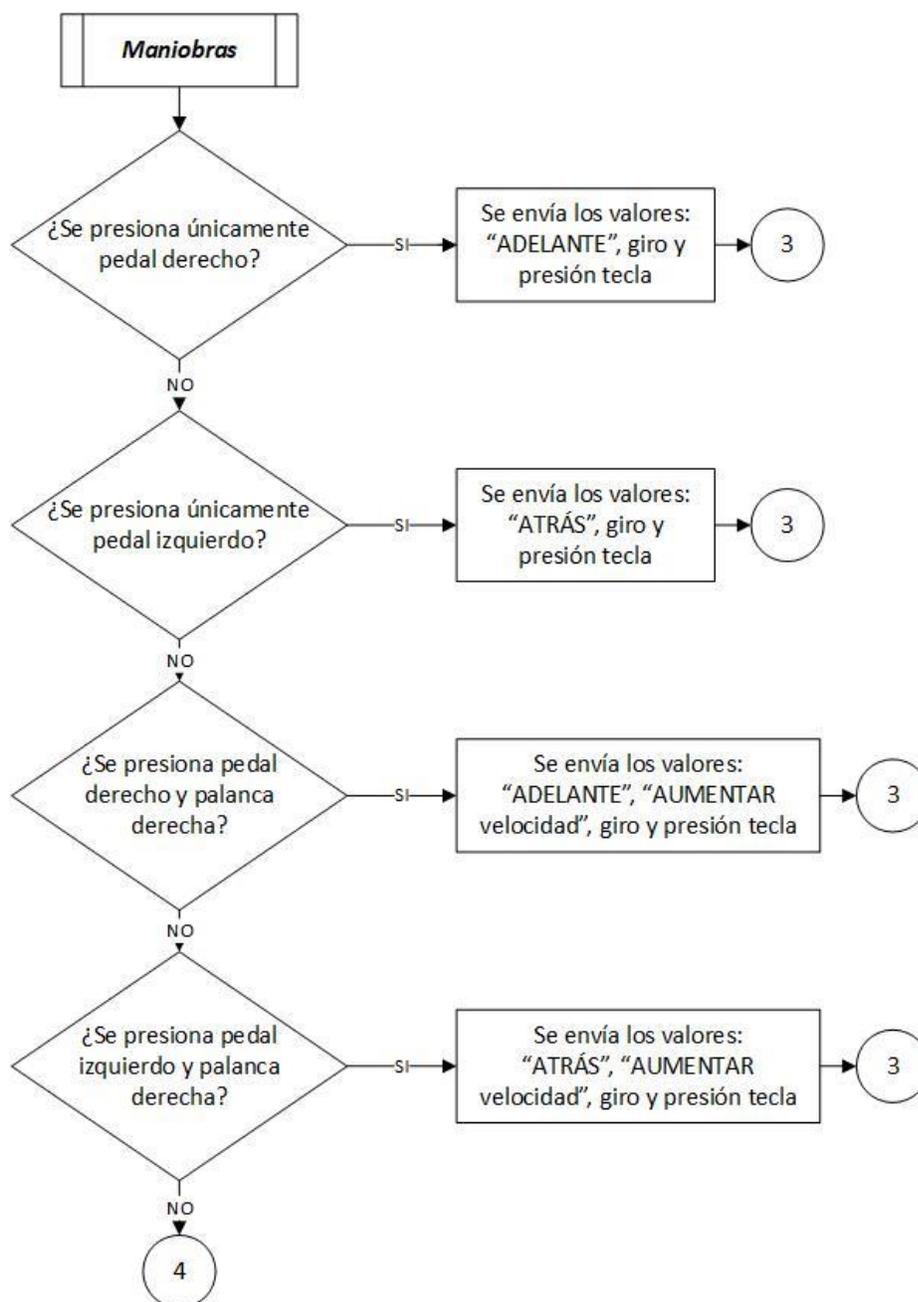
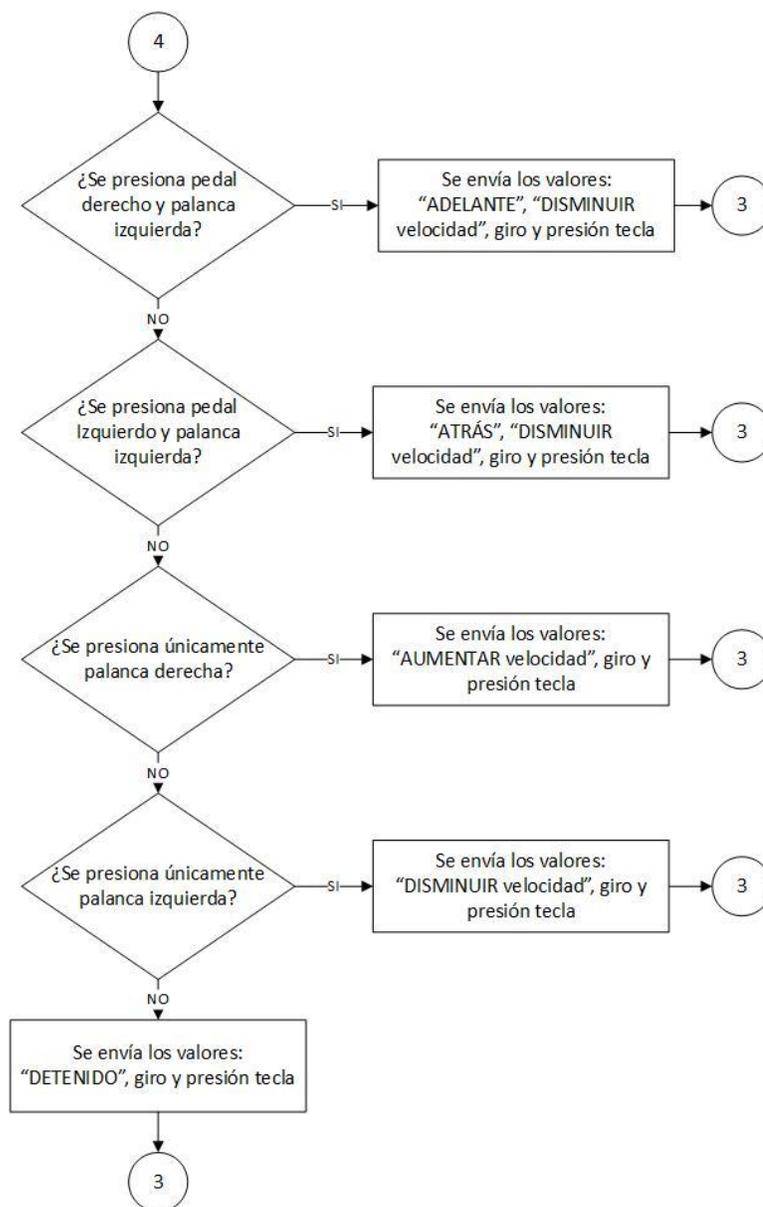


Figura 57

Continuación del diagrama de flujo del subproceso Maniobras.



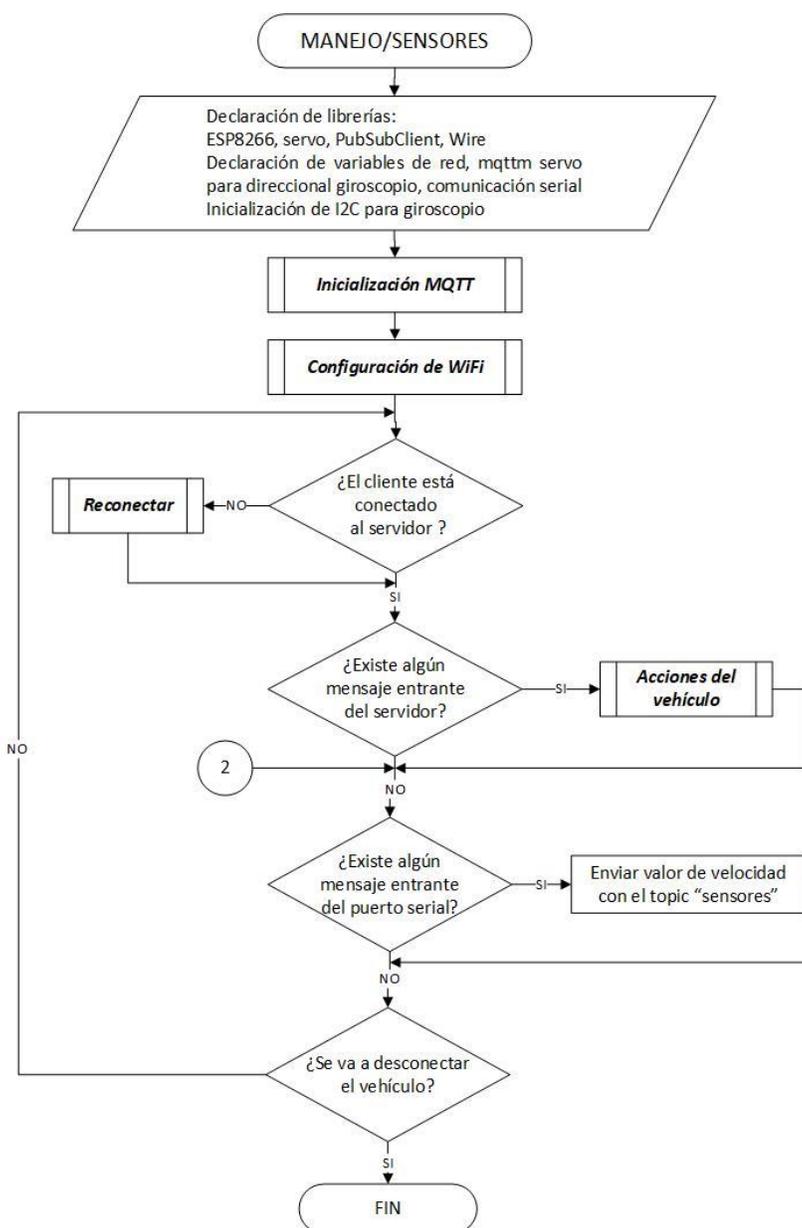
Receptor del Control Vehicular

El esquema general del comportamiento que sigue el microcontrolador para interpretar los datos recibidos por el transmisor que corresponde a las maniobras

realizadas por el conductor son detallados mediante el diagrama de flujo de la Figura 58. Cabe recalcar que los subprocesos de configuración de red *WiFi* y UDP ya fueron descritos anteriormente.

Figura 58

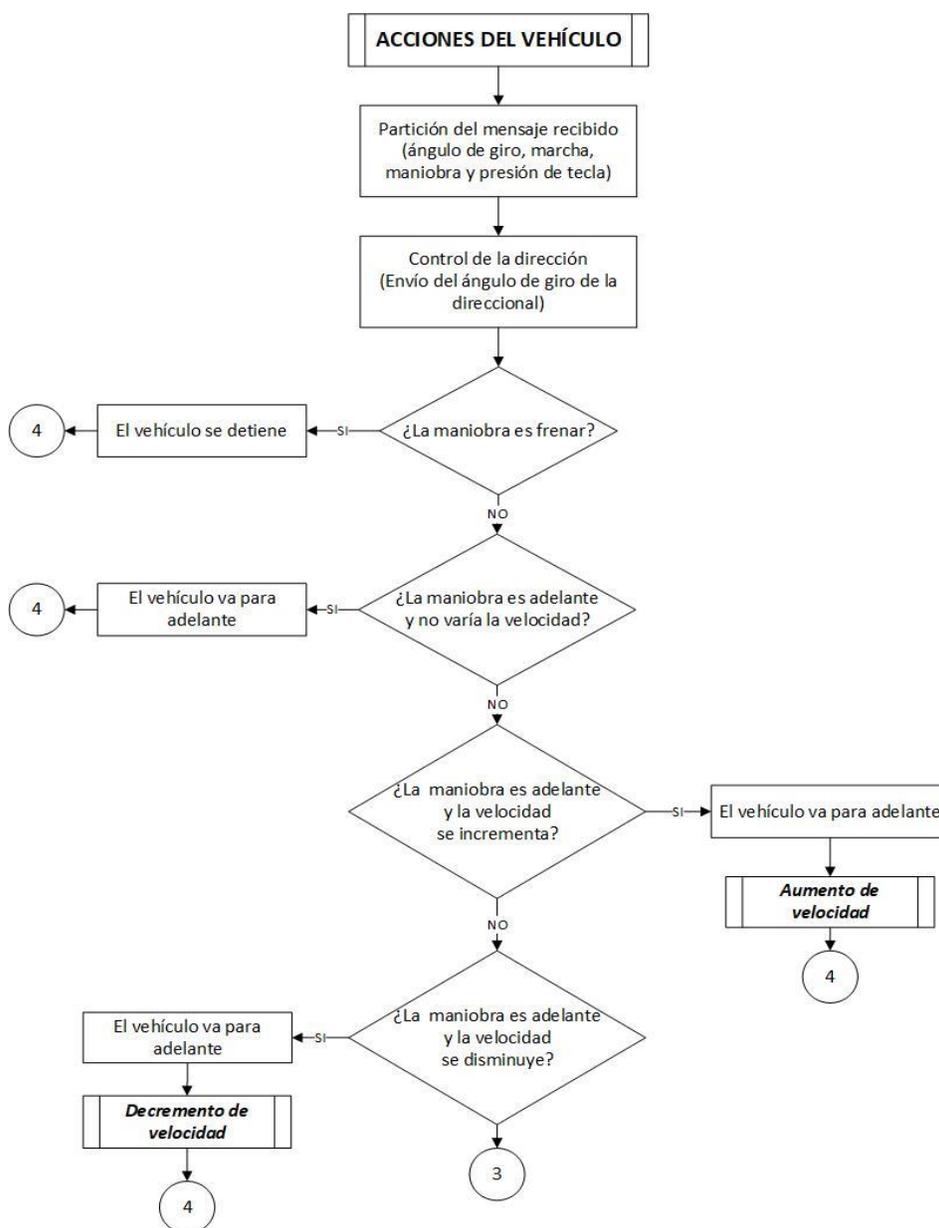
Diagrama de flujo del receptor de control de vehículo.



En los siguientes diagramas de flujo se explica el subproceso correspondiente a las posibles acciones que realiza el vehículo ante las diferentes maniobras. A continuación, este proceso es descrito en la Figura 59.

Figura 59

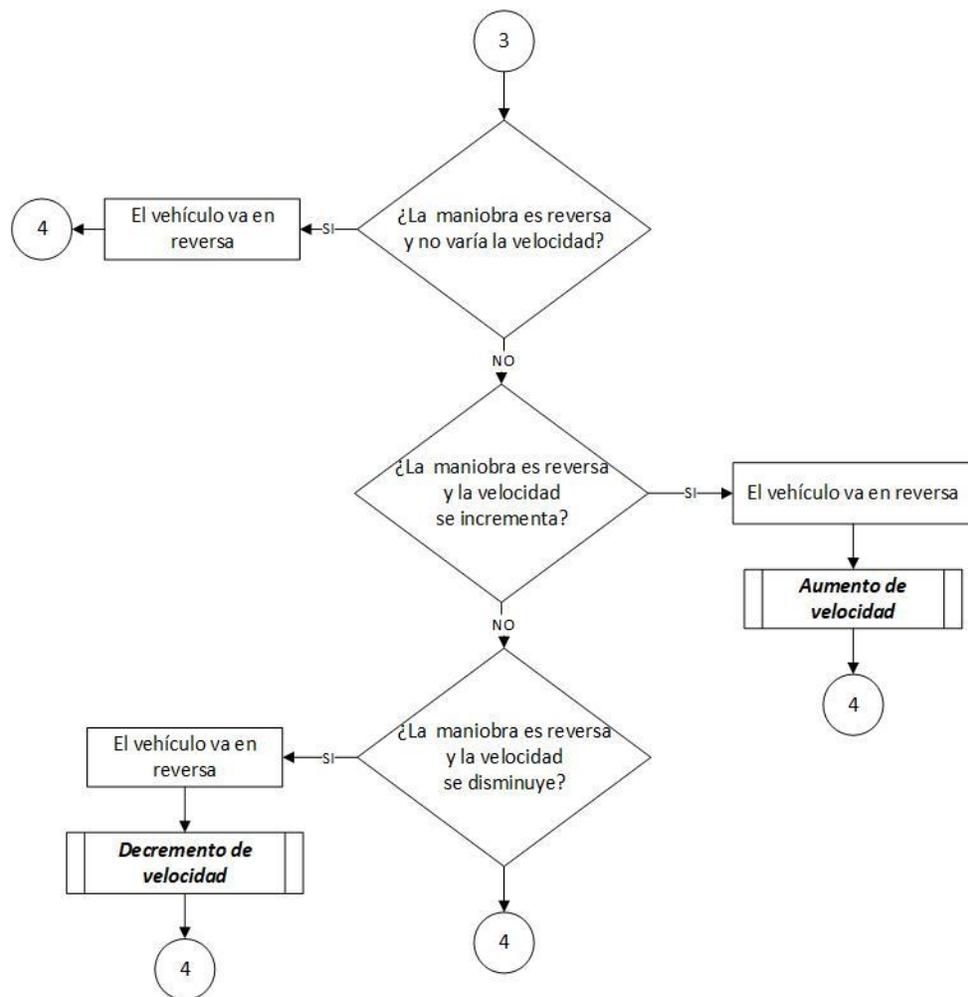
Diagrama de flujo de las Acciones del Vehículo.



La Figura 60 muestra la continuación del diagrama de flujo de las acciones del vehículo descrito anteriormente.

Figura 60

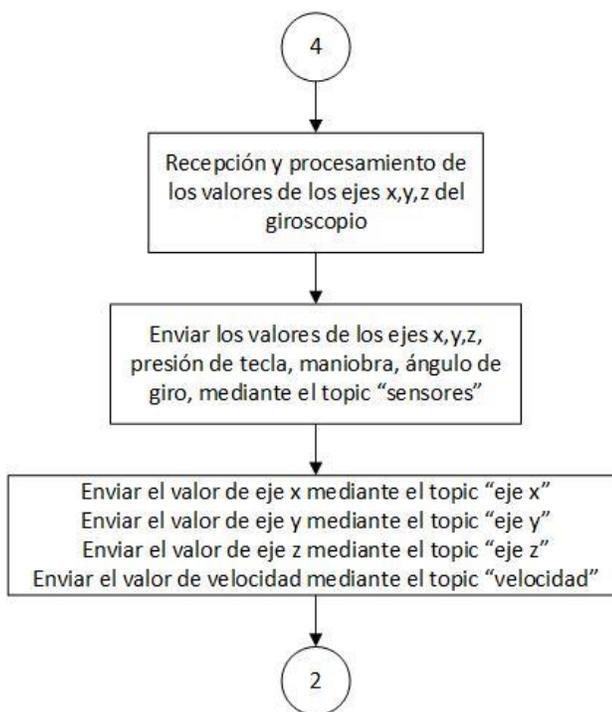
Continuación del diagrama de flujo de las Acciones del Vehículo.



La Figura 61 muestra la continuación del diagrama de flujo de las acciones del vehículo descrito anteriormente.

Figura 61

Continuación del diagrama de flujo de las Acciones del Vehículo.



Sistema Sensorial

Diseño de Dispositivo Háptico

El dispositivo háptico es un chaleco diseñado con material corosil, que permite al usuario sentir diferentes patrones de vibración al momento de manejar el vehículo. Este chaleco consta de 32 actuadores vibrotáctiles distribuidos tanto en la parte del pecho como de la espalda.

Según (Castromonte & Sanchez, 2016), la distancia umbral para que el usuario sea capaz de percibir dos puntos distintos de vibración es de 60mm, es decir, los

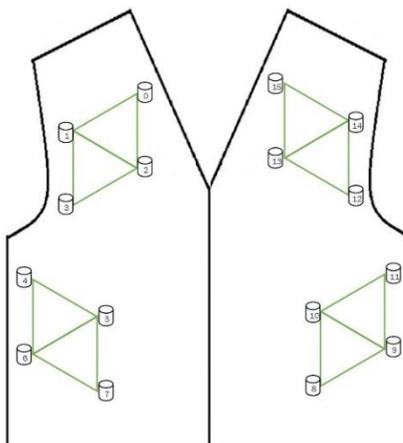
actuadores tienen que tener una separación, de tal forma que cada uno de ellos distan 60mm como mínimo de todos los lados.

A partir de esto, el chaleco tendrá una distribución de los actuadores separados por 100mm, colocados en pequeñas mallas formadas por triángulos equiláteros para una distribución más uniforme.

En la Figura 62 detalla la ubicación de los actuadores vibrotáctiles en la parte delantera del chaleco. Es importante tener en cuenta que los motores fueron colocados de la misma forma tanto en el lado izquierdo como derecho.

Figura 62

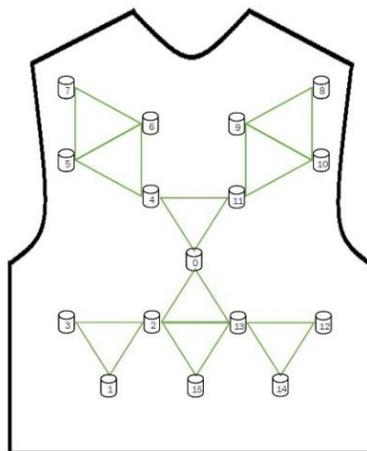
Distribución de motores parte delantera del chaleco.



En la Figura 63, se muestra la distribución de los actuadores vibrotáctiles en la parte de atrás del chaleco.

Figura 63

Distribución de motores parte trasera del chaleco.



Construcción del dispositivo háptico

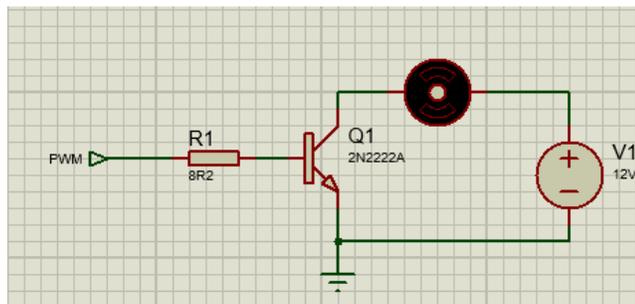
En el interior del dispositivo háptico se utilizó corosil, que es una tela de gran resistencia y un espesor de 1mm que permite que la vibración de los actuadores no se vea afectada por el mismo, que están sujetos por medio de elástico.

Como se detalló anteriormente el dispositivo háptico está conformado por 32 actuadores vibrotáctiles distribuidos como se mostró en las Figuras 62 y 63, los cuales están divididos en dos sectores: izquierdo y derecho. Cada uno de estos sectores está conformado por 16 actuadores que se conectan a una placa de control.

La placa de control está constituida por el módulo PCA9685 capaz de enviar un total de 16 señales de modulación por ancho de pulso independientes, las cuales van conectadas cada una a una etapa de potencia conformada por un circuito emisor común como se muestra en la Figura 64.

Figura 64

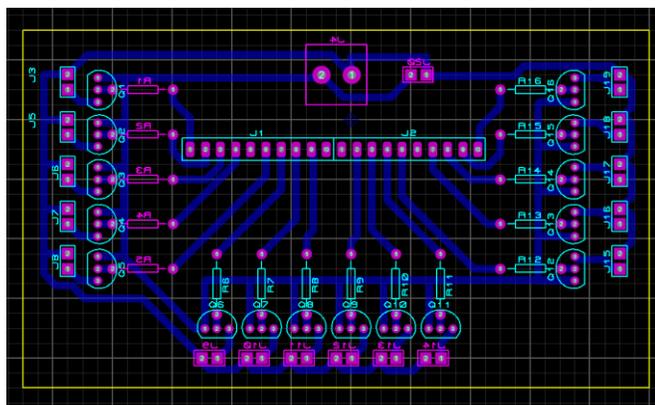
Circuito de control.



El esquema general del diseño de la placa de control se muestra en la Figura 65. De la cual se requirió la elaboración de dos placas que controlen todos los actuadores vibrotáctiles que conforman el dispositivo háptico y que son comunicados por medio de la comunicación I2C con el microcontrolador.

Figura 65

Diseño de la placa de control.



En la Figura 66 se muestra la composición interna del chaleco en la cual se pueden apreciar las ranuras construidas con elástico para la sujeción de los actuadores. Con el cableado respectivo para su conexión con las placas de control.

Figura 66

Cableado de actuadores.



Una vez ubicados los actuadores y realizado el cableado respectivo, se utilizó una malla plástica para cubrir el cableado electrónico y proteger a los actuadores vibrotáctiles en todo el chaleco, dándole además una personalización más estética.

Las placas de control se encuentran en la parte externa del chaleco se encuentran protegidas por carcasas fabricadas en plástico por medio de una impresora 3D, que están sujetas al chaleco por medio de correas y velcro que facilitan su extracción en caso de que se quiera realizar algún mantenimiento o corrección respectiva. Mientras que la alimentación de todo el sistema electrónico se lo realiza mediante una batería lipo ubicada en la parte frontal del chaleco en el interior de un bolsillo dedicado para el mismo.

En la Figura 67 se muestra la ubicación de las placas de control en el chaleco con sus respectivas carcasas.

Figura 67

Ubicación de placas de control.



En la Figura 68 se muestra la ubicación de la batería lipo encargada de la alimentación del sistema electrónico.

Figura 68

Ubicación alimentación del sistema electrónico.

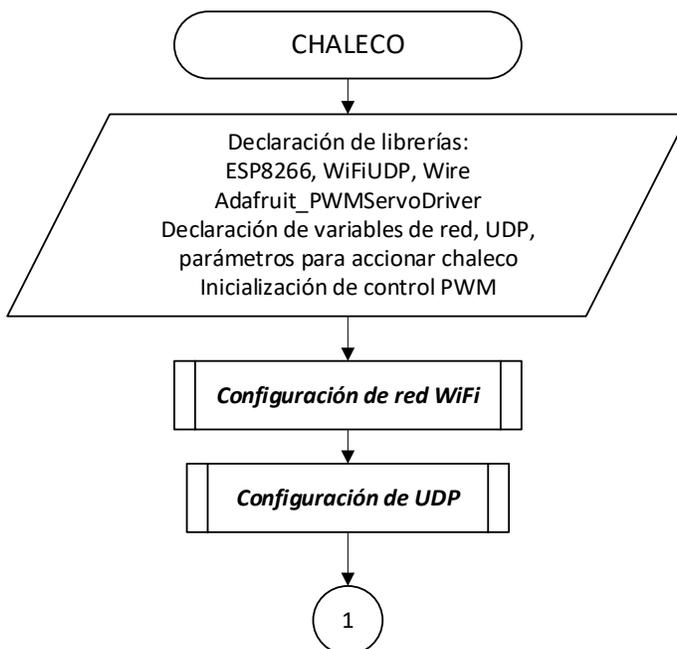


Generación de Patrones de Vibración

Con el arreglo de actuadores mostrado anteriormente se generaron secuencias que respondan a diferentes parámetros y acciones en el vehículo, las cuales están clasificadas en: respuestas ante maniobras, respuestas topográficas y respuestas ante variación de velocidad. En la Figura 69 se indica el diagrama de flujo correspondiente al algoritmo diseñado para activar cada uno de los actuadores vibrotáctiles colocados en el chaleco.

Figura 69

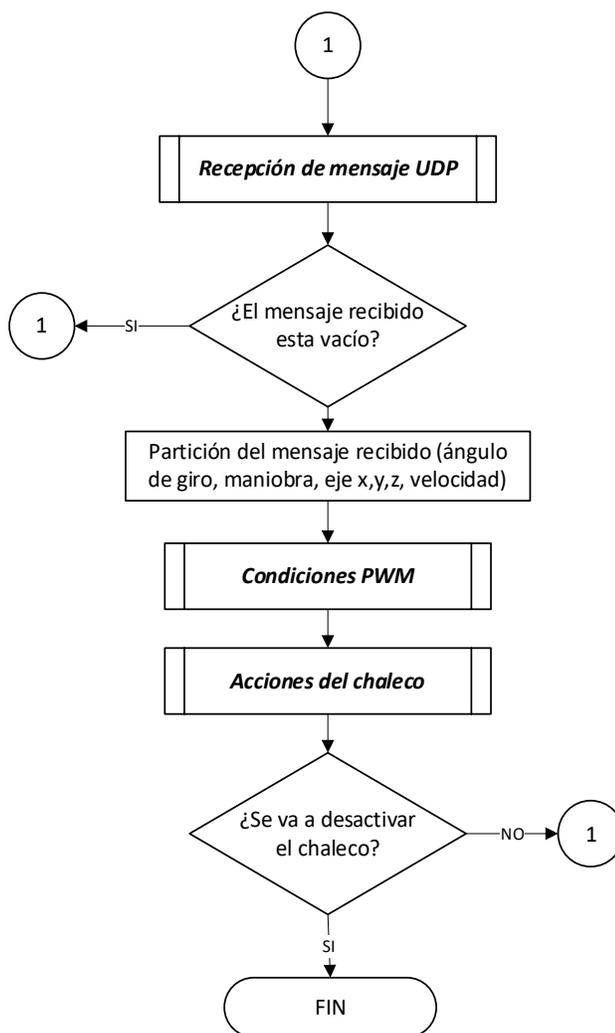
Diagrama de flujo del algoritmo Chaleco.



La Figura 70 muestra la continuación del diagrama de flujo del algoritmo chaleco descrito anteriormente.

Figura 70

Continuación del diagrama de flujo Chaleco.

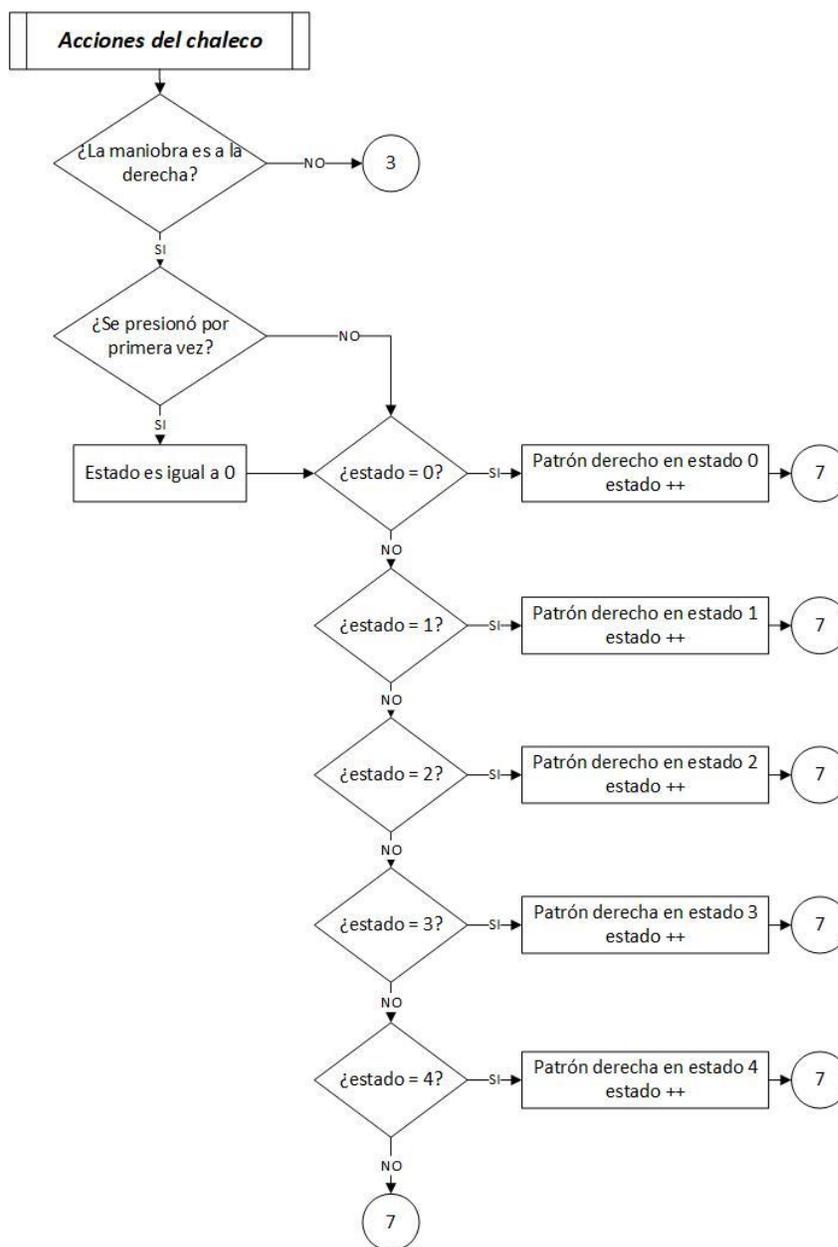


El subproceso Acciones del chaleco está comprendido por cuatro subdivisiones principales que corresponden a las maniobras ejercidas por el conductor, las cuales son: adelante, atrás, izquierda y derecha. Cada uno de estos patrones tiene una respuesta física independiente y varían de acuerdo a los parámetros recibidos tales como inclinación en los diferentes ejes y la velocidad a la que se encuentre el vehículo.

En la Figura 71 se muestra la primera parte del diagrama de flujo del subproceso Acciones del chaleco.

Figura 71

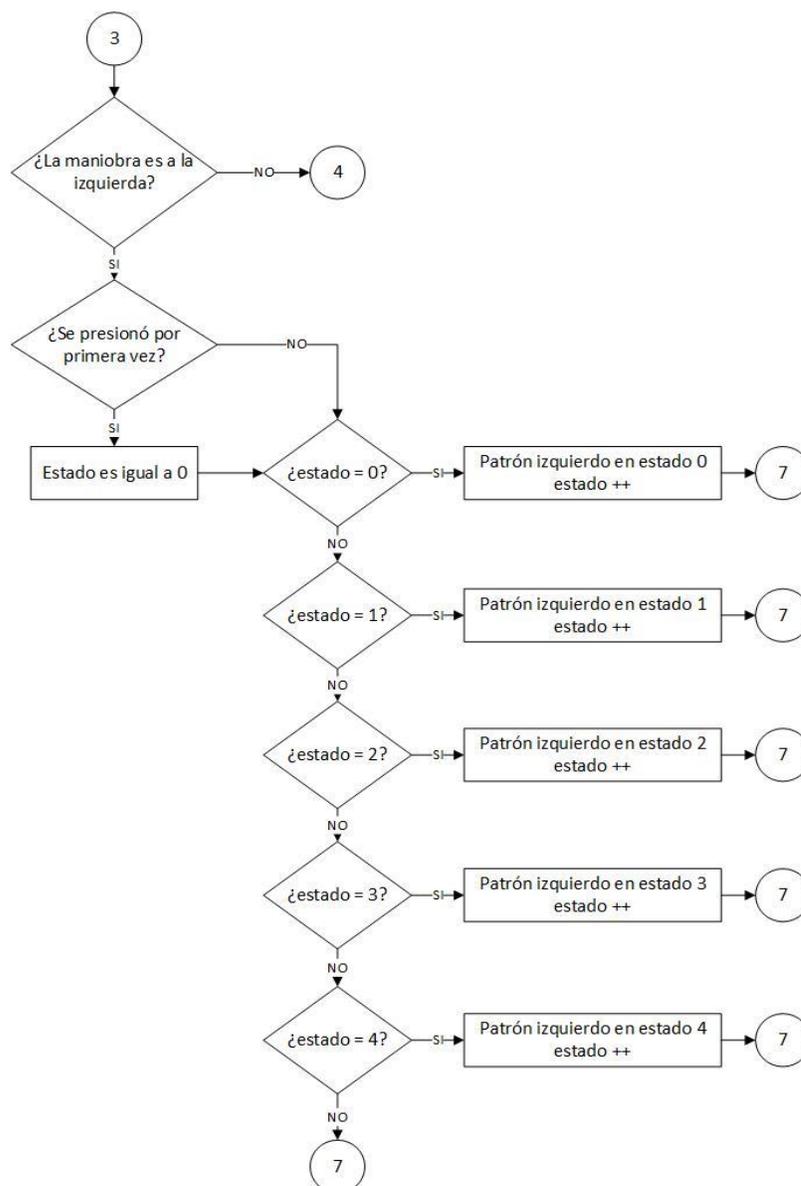
Diagrama de flujo del subproceso Acciones del chaleco.



La Figura 72 muestra la continuación del diagrama de flujo del subproceso acciones del chaleco descrito anteriormente.

Figura 72

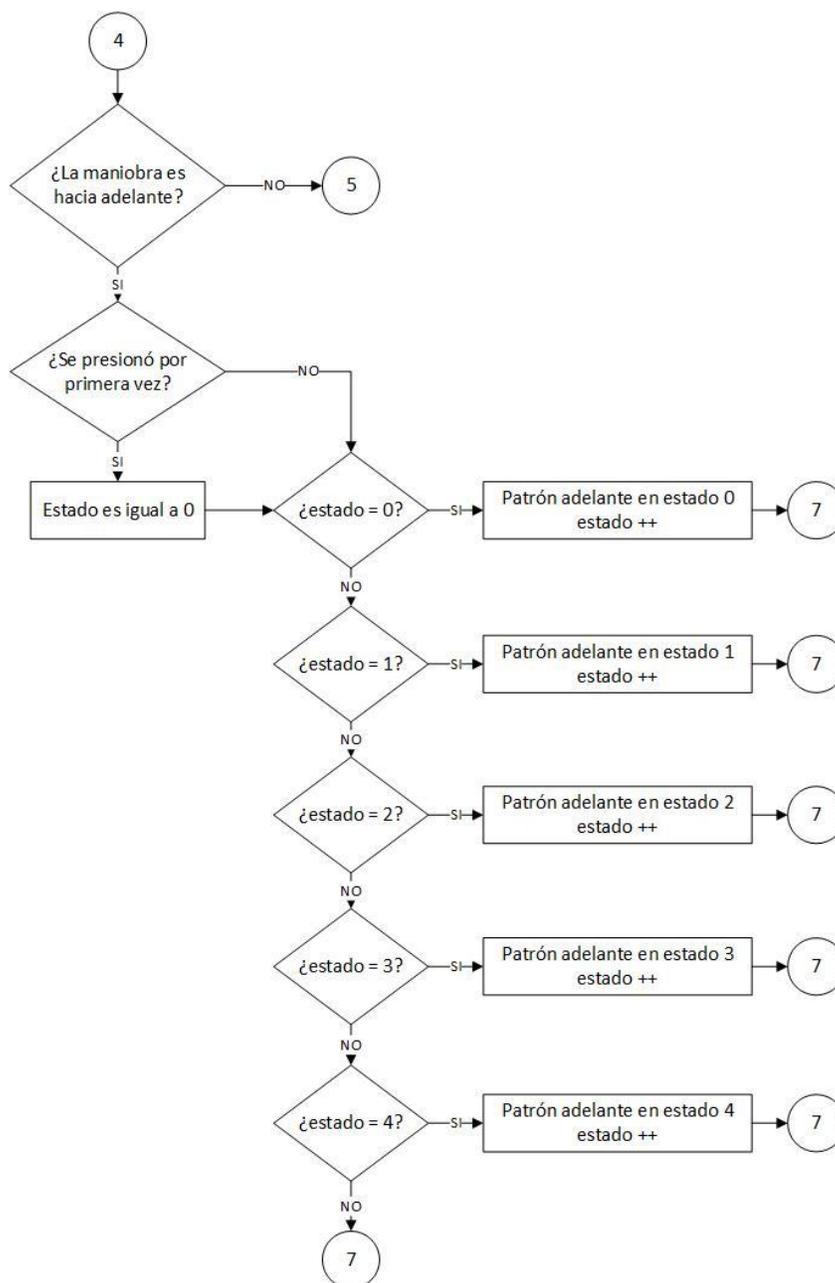
Continuación del subproceso Acciones del chaleco.



La Figura 73 muestra la continuación del diagrama de flujo del subproceso acciones del chaleco descrito anteriormente.

Figura 73

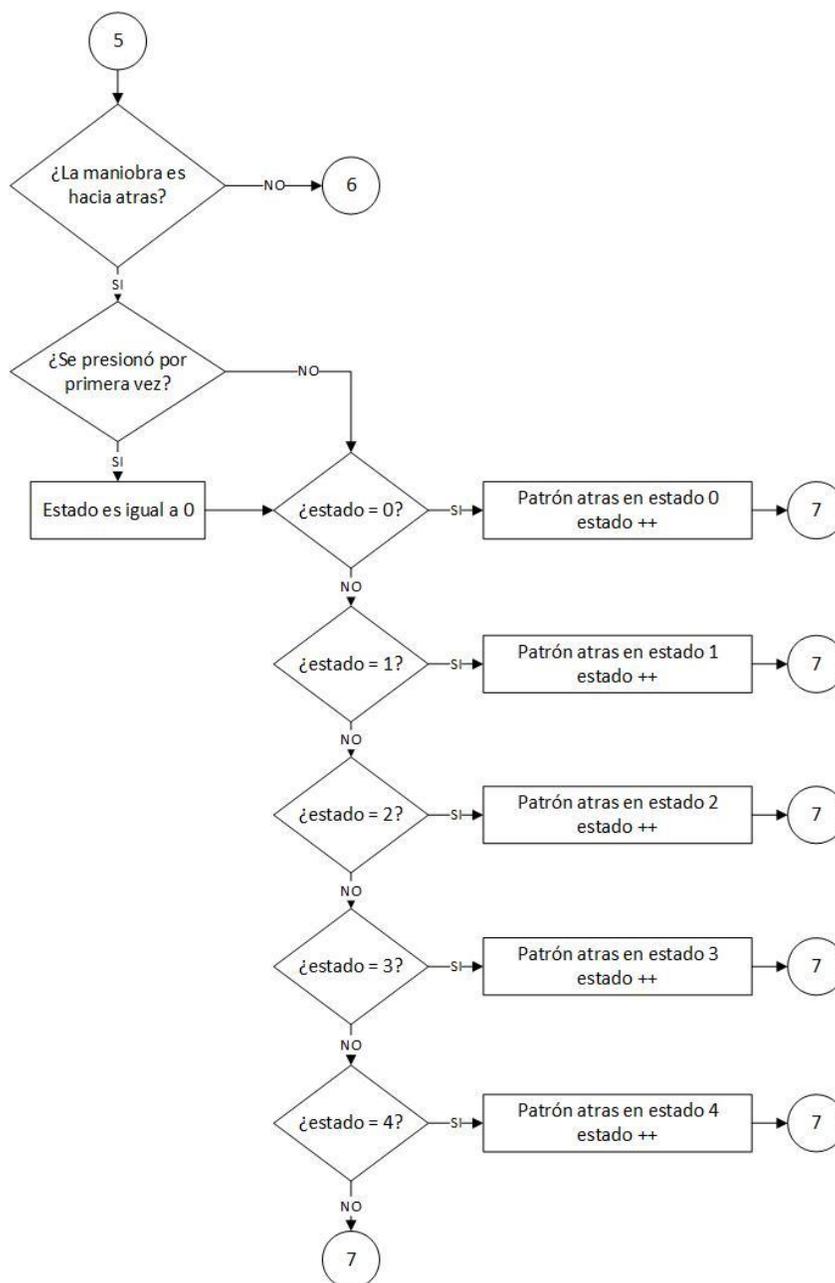
Continuación del subproceso Acciones del chaleco.



La Figura 74 muestra la continuación del diagrama de flujo del subproceso acciones del chaleco descrito anteriormente.

Figura 74

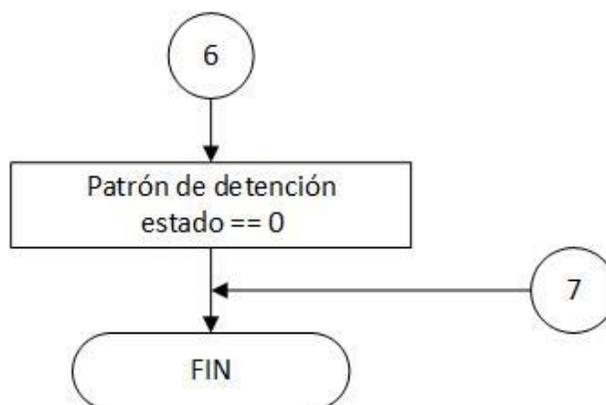
Continuación del subproceso Acciones del chaleco.



La Figura 75 muestra la continuación del diagrama de flujo del subproceso acciones del chaleco descrito anteriormente.

Figura 75

Continuación del subproceso Acciones del chaleco.



Respuestas ante Variación de Maniobras. El propósito es que el conductor sea capaz de identificar cada una de las acciones generadas desde la estación de control mediante el dispositivo háptico y aumentar la sensación de realismo cuando se realiza alguna tarea, es decir, las maniobras adelante, atrás, izquierda y derecha son percibidas al momento de ser ejecutadas.

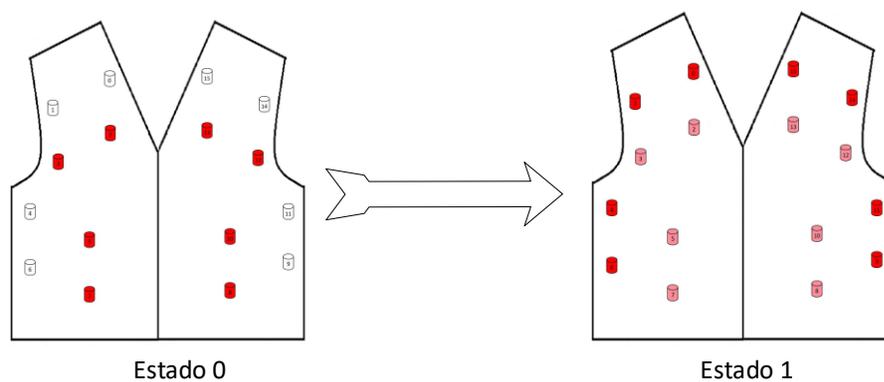
Para llevar este proceso a cabo se generó una determinada secuencia para cada una de estas acciones.

La maniobra “adelante” está constituida por 5 estados que son ejecutados al momento de recibir la acción. Cada uno de los estados activa a un determinado grupo de actuadores vibrotáctiles y tendrá un tiempo de duración entre estados de 50ms.

En la Figura 76 se muestra los estados 0 y 1 de la secuencia, los cuales corresponden a la parte frontal del chaleco.

Figura 76

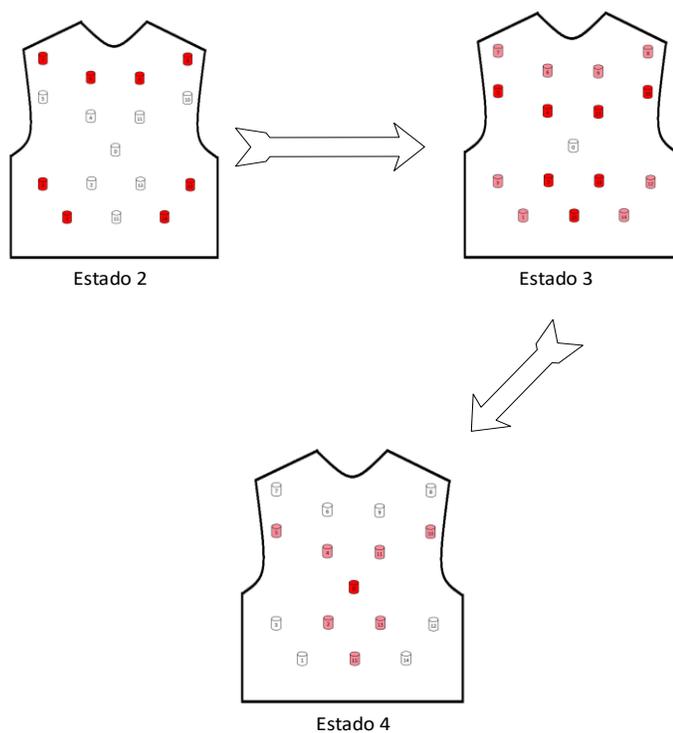
Secuencia de estados de la maniobra “adelante”.



En la Figura 77 se indica la continuación de la secuencia de la maniobra “adelante”, la misma que está seguida por los estados 2, 3 y 4 que se ubican en la parte de atrás del chaleco.

Figura 77

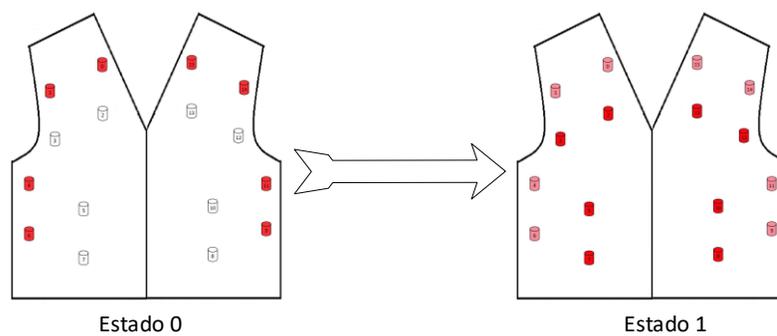
Continuación de la secuencia de estados de la maniobra “adelante”.



Al igual que la maniobra anterior la maniobra “atrás” está constituida por 5 estados que activan un grupo de actuadores vibrotáctiles con un tiempo de duración entre estados de 50ms. En la Figura 78 se muestran los 2 primeros estados de la secuencia que involucran los actuadores correspondientes a la parte frontal del chaleco.

Figura 78

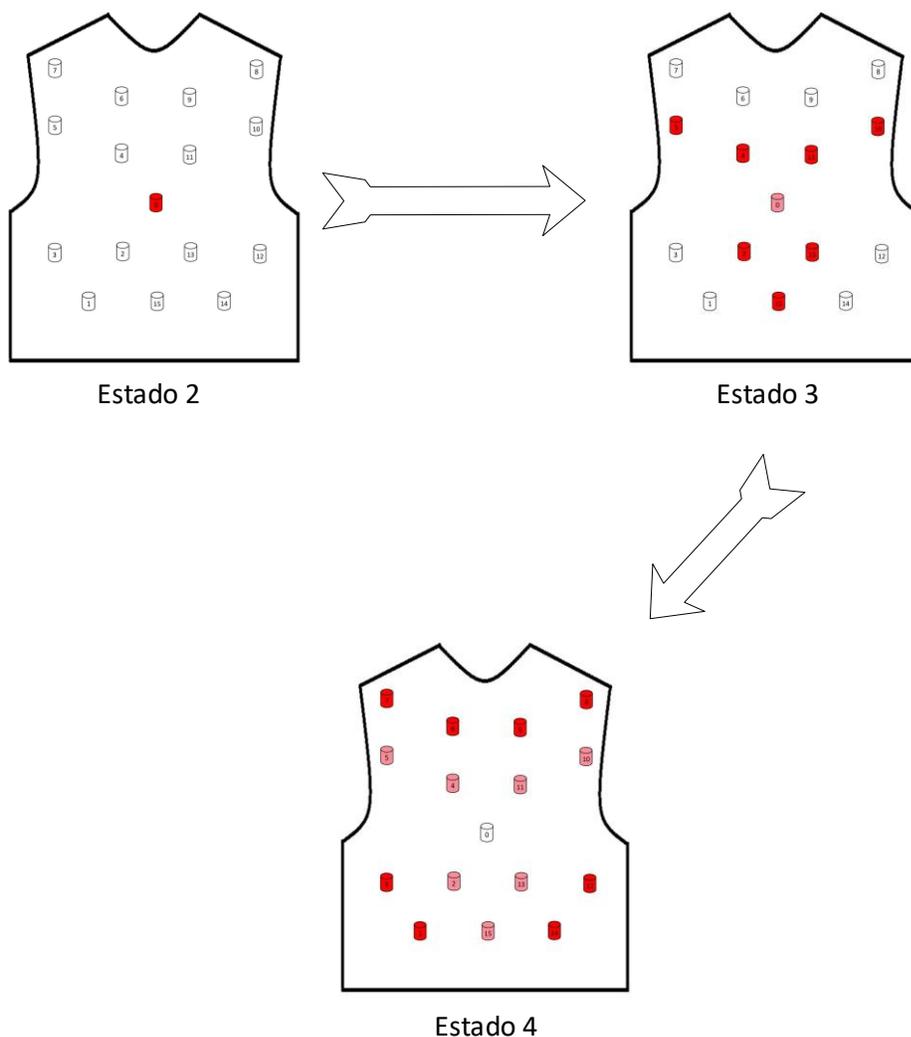
Secuencia de estados de la maniobra “atrás”.



En la Figura 79 se indica la continuación de la secuencia, la misma que conforma los estados 2, 3 y 4 que se ubican en la parte de atrás del chaleco.

Figura 79

Continuación de la secuencia de estados de la maniobra “atrás”.

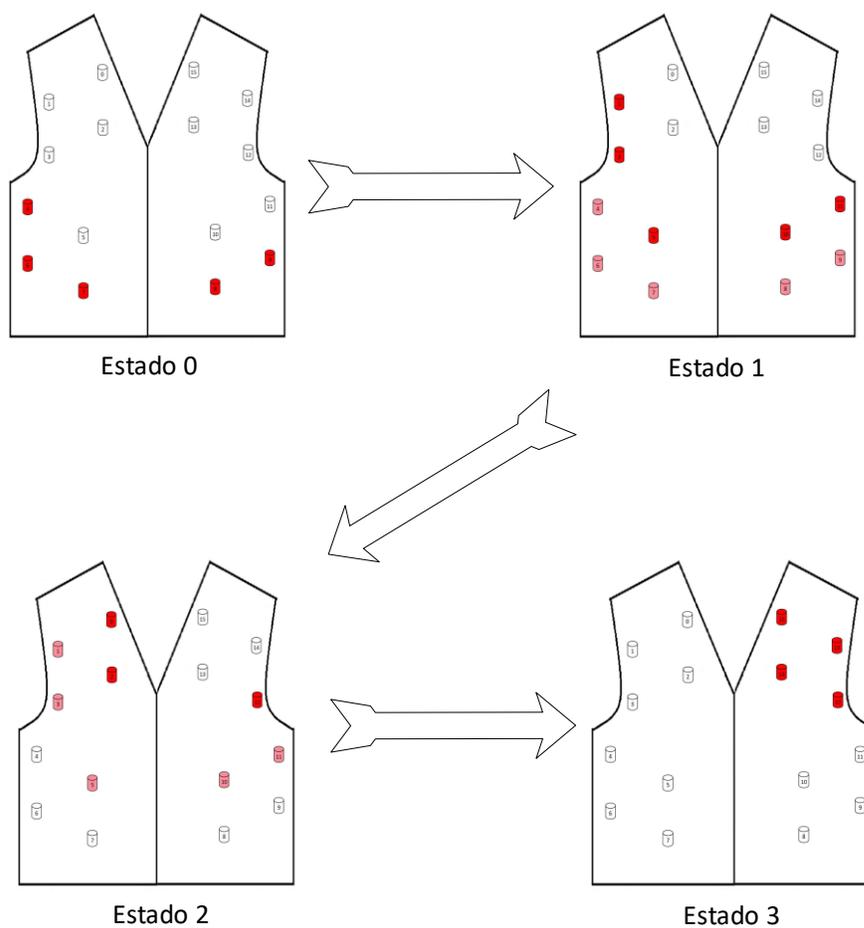


La maniobra “izquierda” está constituida por 8 estados, que son ejecutados al momento de recibir la acción. Cada uno de estos estados activa un grupo de actuadores vibrátiles con un tiempo de duración entre estados de 50ms.

En la Figura 80 se muestran los primeros cuatro estados de la secuencia, que corresponden a los actuadores de la parte frontal del chaleco.

Figura 80

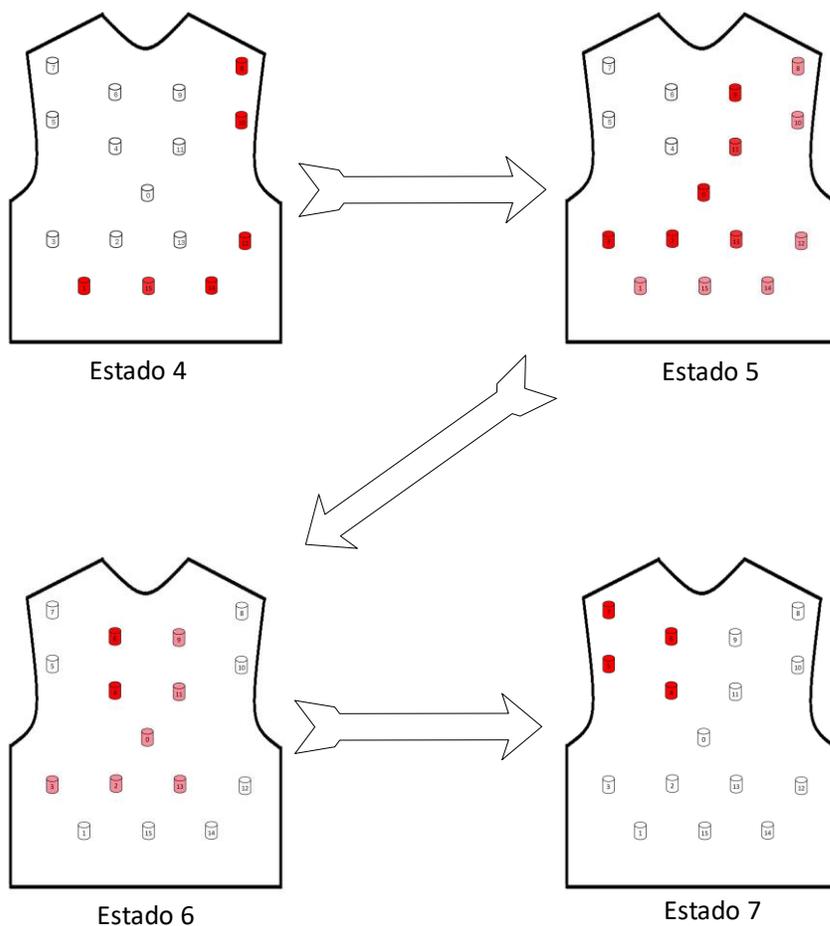
Secuencia de estados de la maniobra “izquierda”.



En la Figura 81 se indica la continuación de la secuencia "izquierda", que corresponde a la parte de atrás del dispositivo háptico.

Figura 81

Continuación de la secuencia de estados de la maniobra “izquierda”.

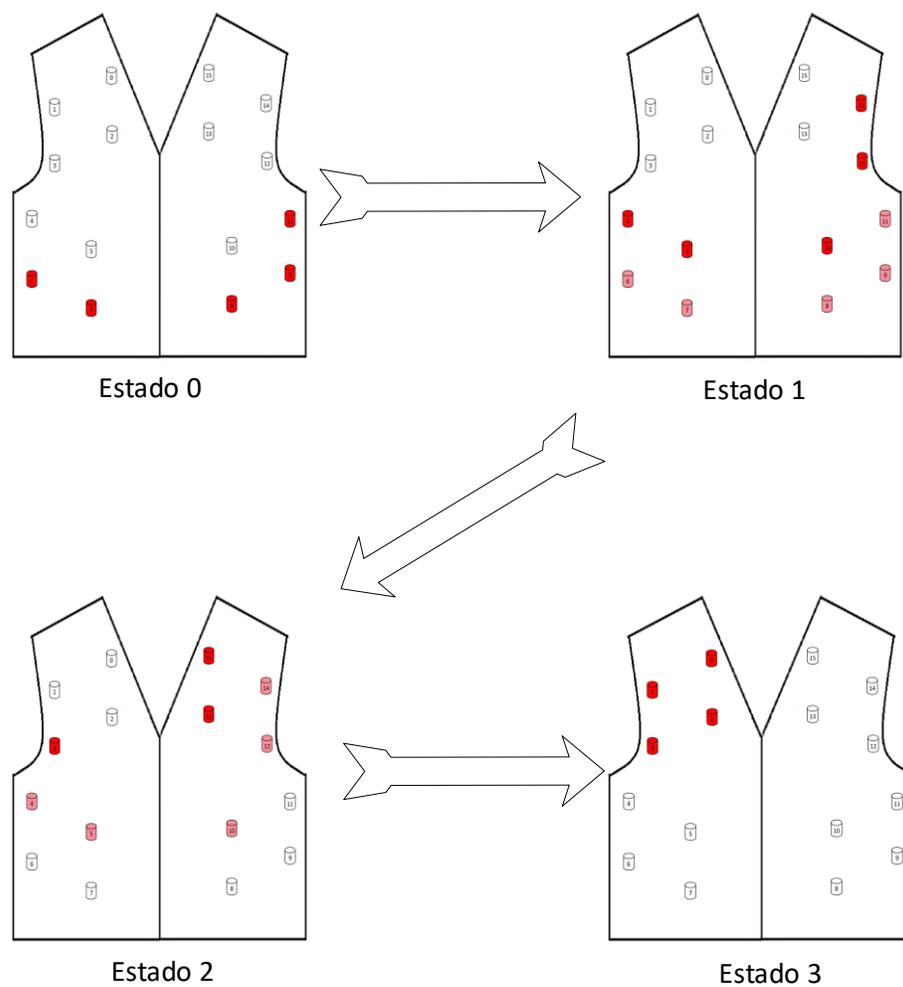


Al igual que la maniobra anterior la maniobra “derecha” está formada por 8 estados que activan de igual manera un grupo de actuadores vibrotáctiles con un tiempo de duración entre estados de 50ms.

En la Figura 82 se muestra los primeros estados de la secuencia que involucran los actuadores correspondientes a la parte frontal del chaleco.

Figura 82

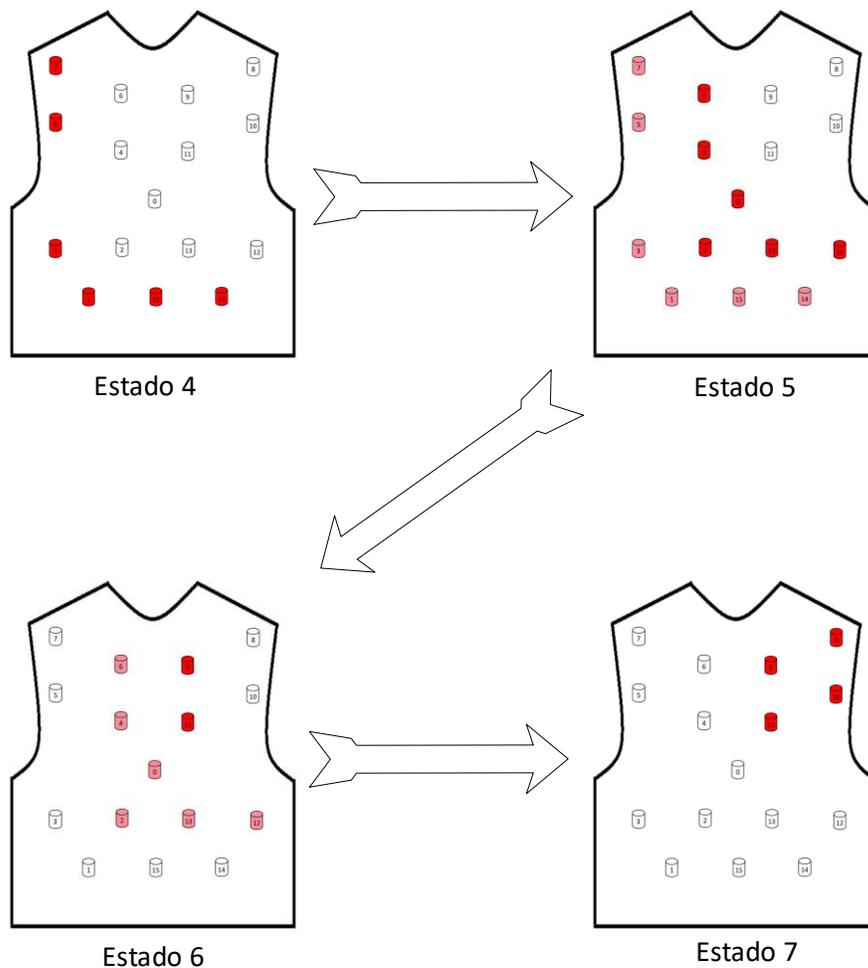
Secuencia de estados de la maniobra “derecha”.



En la Figura 83 se indica la continuación de la secuencia “derecha”, que corresponde a la parte de atrás del dispositivo háptico.

Figura 83

Continuación de la secuencia de estados de la maniobra “derecha”.



Es importante tener en cuenta que, una vez terminada cualquier secuencia está se repetirá hasta que exista cambio de acción.

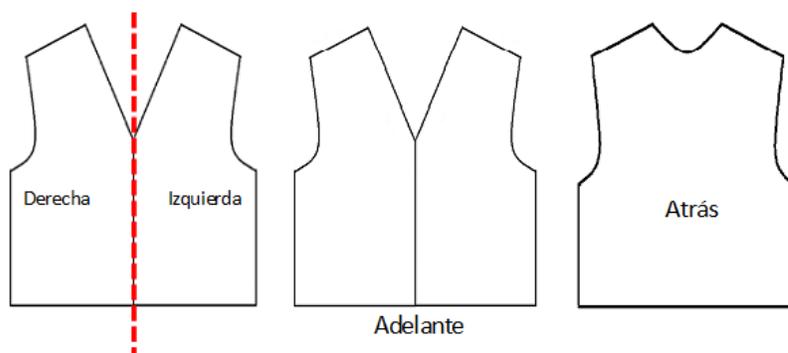
Respuestas Topográficas. El vehículo es capaz de desempeñar tareas en diferentes tipos de superficie, por lo que puede verse afectado por diferentes grados de inclinación. Por lo que este grado de inclinación es percibida e identificada por el conductor. Para lo cual se generó un conjunto de secuencias que responda a estas

irregularidades en la superficie. La respuesta del chaleco está dada por los ejes X y Y que son valores conseguidos por la implementación del giroscopio, el mismo que fue explicado anteriormente.

La Figura 84 detalla las 4 divisiones gráficas que se realizaron en el chaleco para una mejor distribución de los actuadores.

Figura 84

Subdivisiones gráficas del dispositivo háptico.



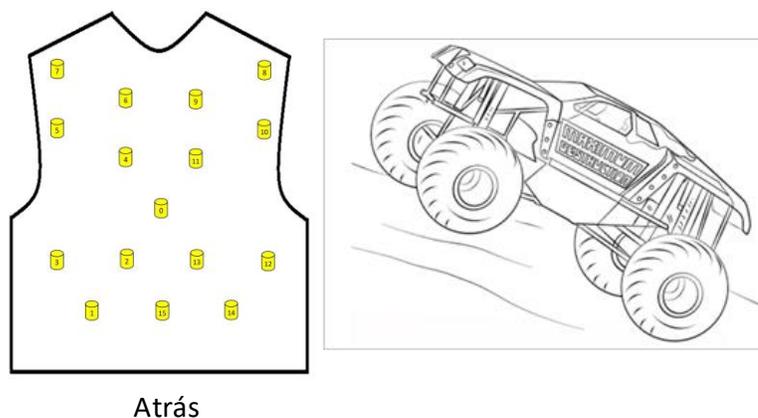
El grado de intensidad de vibración de los actuadores ubicados en las subdivisiones adelante y atrás que se muestran en las Figuras 62 y 63 dependen de los valores del eje Y, si el vehículo se encuentra en ascenso a una pendiente los valores del eje Y oscilan entre 0 a 90, siendo 90 cuando la pendiente sea máxima. Mientras tanto, si el vehículo se encuentra en descenso los valores oscilan entre 0 a -90, que son procesados para ser enviados a los actuadores.

De este modo, cuando el vehículo esté en ascenso, la intensidad de vibración aumenta en los actuadores ubicados en la parte de atrás del chaleco al conservar el patrón de la maniobra que se ejecuta ya sea adelante, atrás, izquierda o derecha.

La Figura 85 muestra los actuadores que sufrirán los cambios de intensidad al momento de que el vehículo tenga una elevación ascendente.

Figura 85

Actuadores activados cuando el vehículo ascienda.

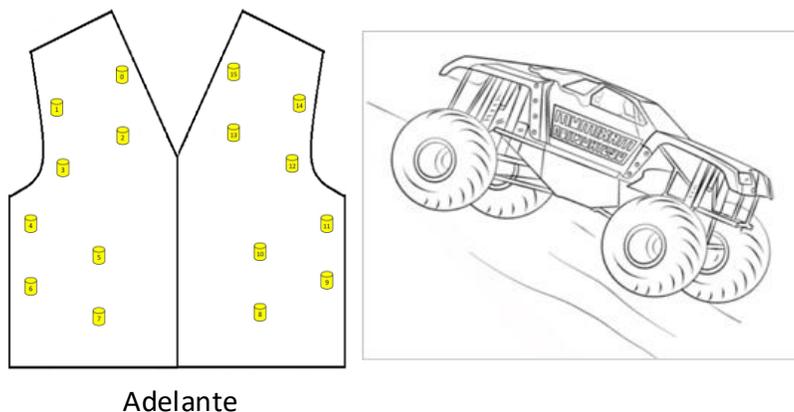


De manera similar cuando el vehículo esté en descenso, se aumenta la intensidad de vibración de los actuadores en la parte frontal del chaleco al conservar el patrón de la maniobra que se ejecuta.

En la Figura 86 se indica los actuadores que cambiarán su intensidad cuando el vehículo tenga una elevación descendente.

Figura 86

Actuadores activados cuando el vehículo descienda.



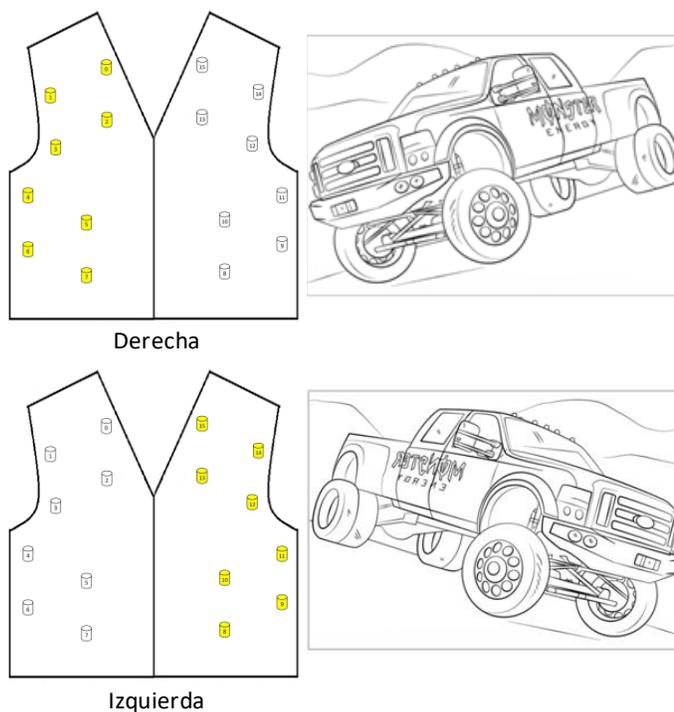
El grado de intensidad de vibración de los actuadores ubicados en las subdivisiones izquierda y derecha dependen de los valores del eje X, si el vehículo presenta un grado de inclinación hacia la izquierda el eje X oscila entre 0 a 90, siendo 90 cuando la inclinación sea máxima. Mientras tanto, si el vehículo presenta un grado de inclinación hacia la derecha los valores oscilan entre 0 a -90, que son procesados para ser enviados a los actuadores.

De este modo, cuando el vehículo éste inclinado ya sea a la izquierda o derecha, se aumenta la intensidad de vibración de los actuadores en dicho sector y conservan el patrón de la maniobra que se ejecuta ya sea adelante, atrás, izquierda o derecha.

La Figura 87 indica los actuadores que cambiarán su intensidad cuando el vehículo se incline a cualquiera de los dos lados.

Figura 87

Actuadores activados cuando el vehículo se inclina hacia los lados.



Respuestas ante Variación de Velocidad. Un estímulo crucial en el diseño del sistema de conducción es poder percibir la variación de velocidad a la que se encuentra el vehículo. Los datos de la velocidad con la que el vehículo recorre son obtenidos por medio de la lectura del sensor encoder, que fue detallada anteriormente. Estos valores aumentan la intensidad de la vibración de todos los actuadores que se encuentran en el chaleco y conservan los patrones que se ejecuta.

Capítulo IV

Pruebas y Resultados

El propósito de la realización de las pruebas fue determinar el desempeño del prototipo en escenarios externos e internos al utilizar la tecnología *WiFi*, para analizar la respuesta en tiempo real del conjunto de dispositivos que conforman el prototipo de emulación vehicular, tanto el control del vehículo, transmisión de video y la respuesta física del dispositivo háptico.

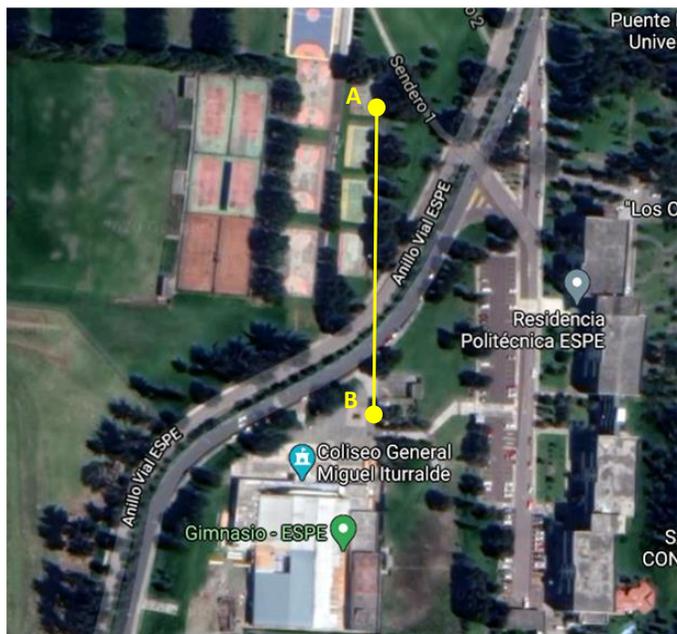
Las pruebas efectuadas para el escenario en ambientes externos se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, mientras que las pruebas efectuadas para el escenario en ambiente interno se llevaron a cabo en un domicilio ubicado en el sector de la Atahualpa al sur de Quito.

Pruebas en ambiente externo con línea de vista

El objetivo de las pruebas en ambientes externos fue determinar el alcance máximo en el que se puede conseguir el funcionamiento óptimo del prototipo en escenarios en el cual no existe una cantidad considerable de redes inalámbricas ni obstáculos físicos como paredes que puedan inferir en la transmisión de datos, por lo cual se seleccionó las canchas de voleibol aledañas al Coliseo General Miguel Iturralde de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE como se muestra en la Figura 88.

Figura 88

Ambiente externo y trayectoria del vehículo.



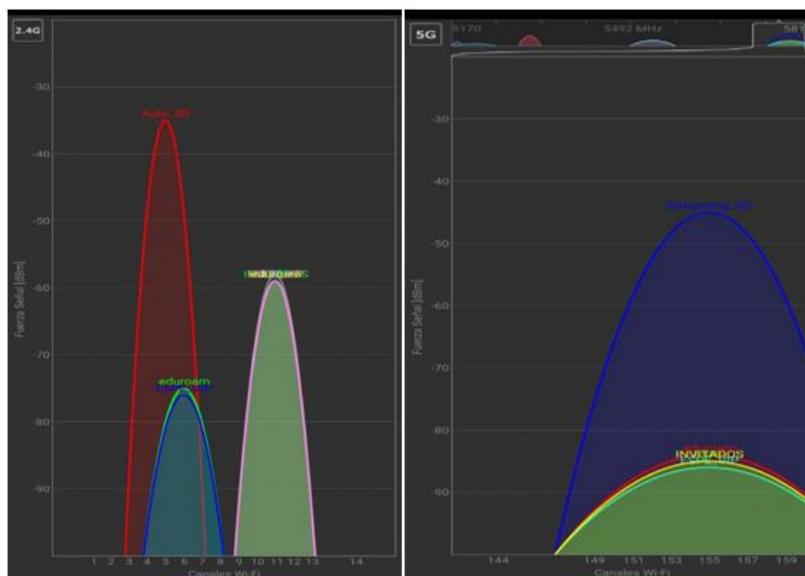
La estación de control y el AP fueron ubicados en el punto A con línea de vista al vehículo como se muestra en la Figura 83. Para realizar la comprobación del funcionamiento, el vehículo partió inicialmente desde el punto A a una distancia de 10 metros desde la estación de control, la cual fue incrementándose gradualmente 10 metros para verificar en cada intervalo que no existan fallas de comunicación ni retardos en todos los dispositivos que conforman el sistema.

Para verificar que en este tipo de escenarios no exista una cantidad considerable de redes inalámbricas previamente se realizó un escaneo de las redes disponibles en el área mediante la aplicación *WiFi Analyzer*, la misma que muestra de manera gráfica la potencia de cada una de las redes presentes. En la medición obtenida en el aplicativo se puede apreciar que la red "Auto_2G" creada para el prototipo en la banda de 2.4GHz

opera en el canal 5 con poca presencia de redes externas y la red creada para el prototipo “Streaming_5G” en la banda de 5GHz operaba en el canal 155 con una presencia considerable de redes externas que operaban en el mismo canal como se muestra en la Figura 89.

Figura 89

Escaneo de redes en frecuencia de 2.4GHz y 5GHz.



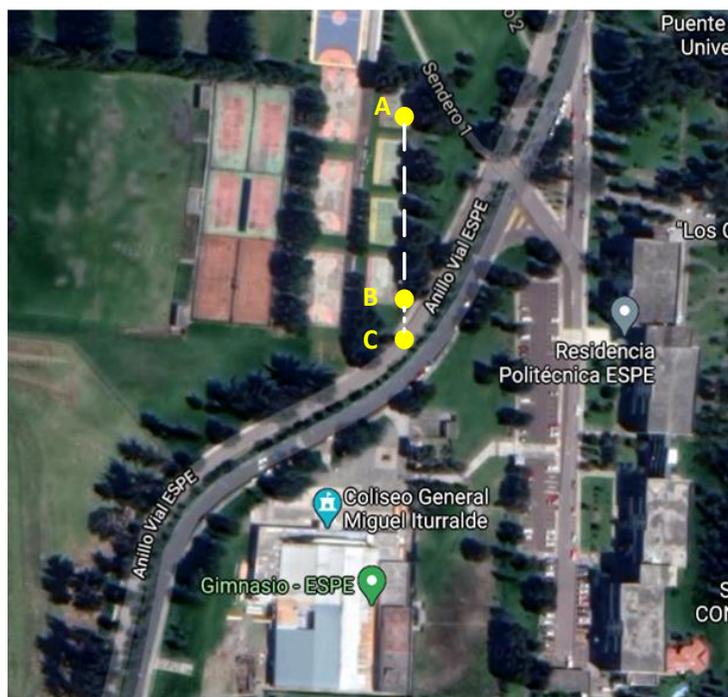
En la primera prueba se trabajó con tecnología *WiFi* en concordancia con el estándar IEEE 802.11n, donde el vehículo y el dispositivo háptico operan en la banda de 2.4GHz y la transmisión de video en la banda de 5GHz. Para llevar esto a cabo se manipuló el microcontrolador para operar con la capa física del estándar y el modo de operación del AP bajo el estándar IEEE 802.11n.

Se apreció que tanto el vehículo como el dispositivo háptico empezaron a presentar retardos en la comunicación a partir de los 83 metros aproximadamente (Punto

B), y una pérdida total de la comunicación a partir de los 95 metros aproximadamente (Punto C), como se presenta en la Figura 90.

Figura 90

Distancia máxima alcanzada con el estándar IEEE 802.11n

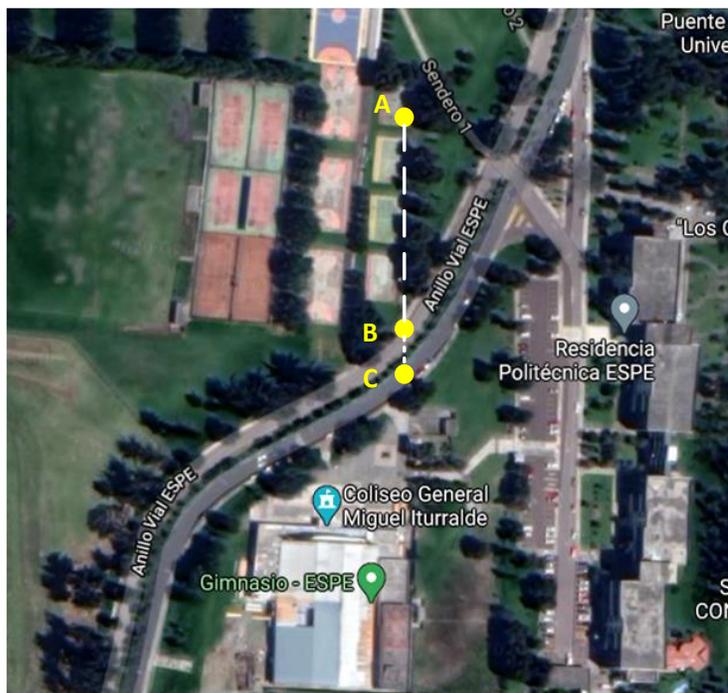


En la segunda prueba se trabajó bajo el estándar IEEE 802.11g. De igual manera se manipuló el microcontrolador para operar con la capa física del estándar y modo de operación del AP bajo el estándar IEEE 802.11 g/n mixto.

Se apreció que tanto el vehículo como el dispositivo háptico empezaron a presentar retardos en la comunicación a partir de los 91 metros aproximadamente (Punto B), y una pérdida total de la comunicación a partir de los 102 metros aproximadamente (Punto C), como se presenta en la Figura 91.

Figura 91

Distancia máxima alcanzada con el estándar IEEE 802.11 g/n.

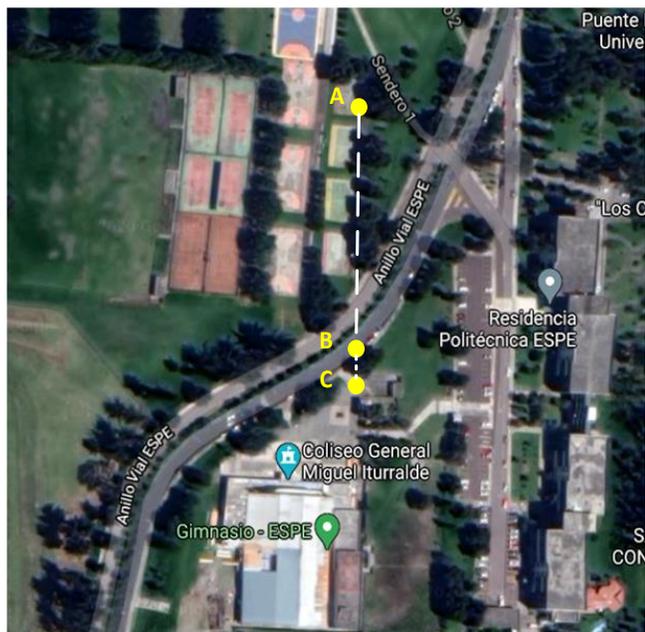


En la tercera prueba se trabajó bajo el estándar IEEE 802.11 b. Se manipuló el microcontrolador para operar con la capa física del estándar y modo de operación del AP bajo el estándar IEEE 802.11 b/g/n mixto.

Se apreció que tanto el vehículo como el dispositivo háptico empezaron a presentar retardos en la comunicación a partir de los 105 metros aproximadamente (Punto B), y una pérdida total de la comunicación a partir de los 112 metros aproximadamente (Punto C), como se presenta en la Figura 92.

Figura 92

Distancia máxima alcanzada con el estándar IEEE 802.11 b/g/n.



A continuación, en la Figura 93 se muestra la realización de las pruebas en ambientes externos con línea de vista.

Figura 93

Pruebas en ambientes externos.



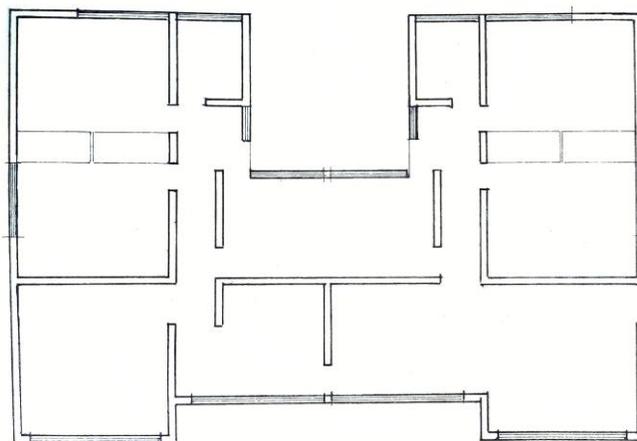
Pruebas de alcance en ambiente interno sin línea de vista

El objetivo de las pruebas en ambientes internos de manera similar a las pruebas anteriores fue determinar el alcance máximo en el que se puede conseguir el funcionamiento óptimo de prototipo, a diferencia que este tipo de escenarios presentan una gran cantidad de redes inalámbricas externas que puede inferir en el desempeño del prototipo, como adicional la cantidad de obstáculos físicos presentes que dependen de la construcción de la edificación que afectan de manera significativa a la transmisión, para lo cual se seleccionó un domicilio en el sector Atahualpa al sur de la capital.

En la Figura 94 se muestra el diseño de construcción del domicilio.

Figura 94

Planos del domicilio.

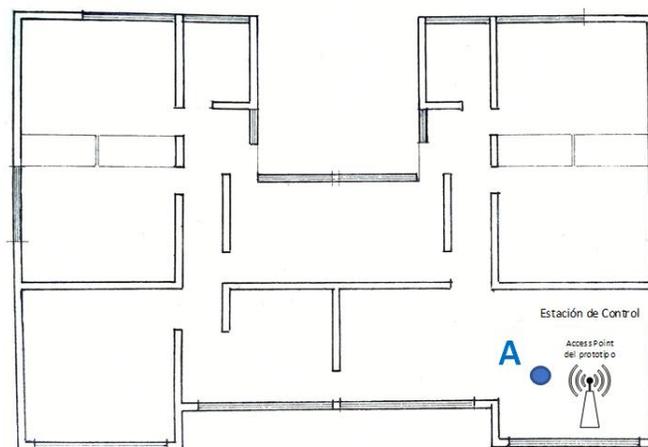


La estación de control y el AP fueron ubicados en el punto A mostrado en la Figura 95, el vehículo en este tipo de edificación fue conducido por todas las áreas del domicilio para verificar el alcance de la comunicación y su desempeño, la edificación ocupa un área

de $600m^2$ de construcción y consta de una gran cantidad de paredes que interfieren en la potencia de transmisión.

Figura 95

Ubicación de la estación de control del domicilio.



Para comprobar que en este escenario existe una gran afluencia de redes inalámbricas se realizó de manera similar a las pruebas anteriores, un escaneo de las redes presentes en el sector mediante la aplicación *WiFi Analyzer*.

En la medición obtenida en el aplicativo se puede apreciar que la red "Auto_2G" creada para el prototipo en la banda de 2.4GHz opera en el canal 5 con presencia de una gran cantidad de redes externas y la red creada para el prototipo "Streaming_5G" en la banda de 5GHz operaba en el canal 155 con poca presencia de redes externas que operan en la misma banda como se muestra en la Figura 96.

Figura 96

Escaneo de redes en frecuencia de 2.4GHz y 5GHz.



En la primera prueba se trabajó con tecnología *WiFi* en concordancia con el estándar IEEE 802.11n, donde el vehículo y el dispositivo háptico operan en la banda de 2.4GHz y la transmisión de video bajo la banda de 5GHz. Se manipuló el microcontrolador para operar con la capa física del estándar y modo de operación del AP bajo el estándar IEEE 802.11n. Se apreció que tanto el vehículo como el dispositivo háptico empezaron a presentar retardos en la comunicación a partir de los 12 metros aproximadamente, y una pérdida total de la comunicación a partir de los 14 metros aproximadamente.

En la segunda prueba se trabajó bajo el estándar IEEE 802.11 g. Se manipuló el microcontrolador para operar con la capa física del estándar y modo de operación del AP bajo el estándar IEEE 802.11 g/n mixto. Se apreció que tanto el vehículo como el dispositivo háptico empezaron a presentar retardos en la comunicación a partir de los

17.5 metros aproximadamente, y una pérdida total de la comunicación a partir de los 19 metros aproximadamente.

En la tercera prueba se trabajó bajo el estándar IEEE 802.11b. Se manipuló el microcontrolador para operar con la capa física del estándar y modo de operación del AP bajo el estándar IEEE 802.11 b/g/n mixto. Se apreció que tanto el vehículo como el dispositivo háptico empezaron a presentar retardos en la comunicación a partir de los 20 metros aproximadamente y una pérdida total de la comunicación a partir de los 23 metros aproximadamente.

A continuación, en la Figura 97 se muestra la realización de las pruebas en ambientes internos sin línea de vista.

Figura 97

Pruebas en ambientes internos.



Pruebas de transmisión de video en banda de 5GHz

Para ejecutar las pruebas de transmisión de video se manipularon parámetros desde la aplicación *IP Webcam* del celular empleado, tales como: calidad de video, resolución de video y número de fotogramas por segundo o FPS con la finalidad de poder estimar cual presenta una transmisión más confiable para la funcionalidad del emulador.

La distancia que cubre la transmisión de video es un limitante para el funcionamiento general del prototipo, ya que es el medio por el cual el conductor se comunica al medio externo. Para llevar a cabo esta prueba se establecieron tres tipos de resoluciones de video las cuales están categorizadas dentro de resolución alta, media y baja.

Se seleccionó la resolución de 1280x720 para alta, 640x480 para media y 320x240 para baja, cada una de ellas configurada con una calidad de video de 30 y sin límite de fotogramas por segundo o FPS. El escenario donde se evaluó las pruebas fue el mismo de ambientes externos con línea de vista. El alcance con el cual se opero en cada una de las resoluciones se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Alcance del video en 5GHz.

Resolución	Calidad de video	FPS	Alcance
1280x720	30/100	Sin límite	70m
640x480	30/100	Sin límite	90m
320x240	30/100	Sin límite	100m

Análisis de resultados en ambiente externo con línea de vista

Para el análisis de los resultados se compararon los valores teóricos con los valores obtenidos y de esta manera calcular el margen de error de las mediciones. Los valores teóricos fueron calculados a partir de un modelo de propagación desarrollado para redes WLAN en frecuencia de 2.4GHz, para áreas urbanas, suburbanas y abiertas. Las pérdidas de propagación se obtienen a partir de (Molina Reino, 2017):

$$L(dB) = 51.93 + 22.59 \log(d),$$

Donde: d es el alcance y está dada en metros.

Por lo tanto, la fórmula utilizada para calcular el alcance es la siguiente:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{ATx} + G_{ARx} - L(dB),$$

donde:

P_{Rx} = potencia de recepción.

P_{Tx} = potencia de transmisión.

G_{ATx} = ganancia de la antena de transmisión.

G_{ARx} = ganancia de la antena de recepción.

Sabiendo que $P_{Rx} = M + S$ donde M es el margen y S es la sensibilidad del dispositivo receptor, se calcularon los alcances máximos para cada estándar utilizado. Los resultados obtenidos y teóricos de las pruebas en ambiente externo con línea de vista se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9

Resultados en ambientes con línea de vista.

Estándar	Sistema	Banda	RSSI	Alcance teórico	Alcance obtenido
IEEE 802.11b	Vehículo y dispositivo háptico	2.4 GHz	-78 dBm	109.50 m	< 105 m
IEEE 802.11g	Vehículo y dispositivo háptico	2.4 GHz	-70 dBm	93.97 m	< 91m
IEEE 802.11n	Vehículo y dispositivo háptico	2.4 GHz	-69 dBm	84.87 m	< 83 m

Al modificar el microcontrolador y el AP para que trabajen bajo el estándar IEEE 802.11b el prototipo puede llegar a operar hasta 109 metros sin ningún retardo ni falla en la comunicación con la potencia de señal recibida mayor a -78 dBm. De igual manera al modificar del sistema para trabajar bajo el estándar IEEE 802.11g se puede llegar a alcanzar una distancia de hasta 92 metros sin problemas de comunicación con la potencia de señal recibida mayor a -70 dBm.

Finalmente, al realizar las modificaciones en el estándar IEEE 802.11n se puede llegar a operar de manera óptima a una distancia hasta de 83 metros con la potencia de señal recibida superior a -69 dBm. Para calcular el margen de error entre el valor obtenido y el valor real se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%error = \frac{|v_{obtenido} - v_{real}|}{v_{real}} \times 100$$

Con los datos de la Tabla 9, se calculó los siguientes márgenes de error como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Margen de error en ambientes externos.

Estándar	Valor real	Valor obtenido	%error
IEEE 802.11b	109.50 m	< 105 m	4.11%
IEEE 802.11g	93.97 m	< 91m	3.16%
IEEE 802.11n	84.87 m	< 83 m	2.20%

Análisis de resultados en ambiente interno sin línea de vista

Para el análisis de los resultados se comparó valores teóricos con los valores obtenidos y de esta manera calcular el margen de error de las mediciones. Los valores teóricos fueron calculados a partir del modelo de propagación UIT-R para interiores, el cual considera las pérdidas como la reutilización de canales entre distintos pisos, la transmisión a través de paredes, obstáculos y por encima de estos. Las pérdidas de propagación se obtienen a partir de (Castro & Jaramillo, 2013):

$$L(dB) = 20 \log(f) + 30 \log d + L_f(n) - 28,$$

siendo

$$L_f(n) = 15 + 4(n - 1),$$

donde:

f = frecuencia en MHz.

d = distancia en metros.

L_f = factor de pérdida de penetración en el suelo.

n = número de pisos penetrados.

Por lo tanto, la fórmula utilizada para calcular el alcance en ambientes internos es la siguiente:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{ATx} + G_{ARx} - L(dB)$$

Los resultados obtenidos y teóricos de las pruebas en ambiente externo con línea de vista se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11

Resultados obtenidos en ambientes sin línea de vista.

Estándar	Sistema	Banda	RSSI	Alcance teórico	Alcance obtenido
IEEE 802.11b	Vehículo y dispositivo háptico	2.4 GHz	-76 dBm	20.57 m	< 20 m
IEEE 802.11g	Vehículo y dispositivo háptico	2.4 GHz	-72 dBm	18.34 m	< 17.5 m
IEEE 802.11n	Vehículo y dispositivo háptico	2.4 GHz	-69 dBm	12.49 m	< 12 m

Al modificar el microcontrolador y el AP para que trabajen bajo el estándar IEEE 802.11b se puede llegar a operar el prototipo hasta 20 metros sin ningún retardo ni falla en la comunicación con la potencia de señal recibida mayor a -76 dBm. De igual manera al modificar el sistema para trabajar bajo el estándar IEEE 802.11g se puede llegar a alcanzar una distancia de hasta 17.5 metros sin problemas de comunicación con la potencia de señal recibida mayor a -72 dBm.

Finalmente, al realizar las modificaciones en el estándar IEEE 802.11n se puede llegar a operar de manera óptima a una distancia hasta de 12 metros con la potencia de señal recibida superior a -69 dBm. Al calcular el margen de error se obtuvieron los siguientes datos mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12

Margen de error en ambientes internos.

Estándar	Valor real	Valor obtenido	%error
IEEE 802.11b	20.57 m	< 20 m	2.79%
IEEE 802.11g	18.34 m	< 17.5 m	4.57%
IEEE 802.11n	12.49 m	< 12 m	3.95%

Análisis de resultados de transmisión de video en 5GHz

De los resultados obtenidos en las pruebas de transmisión de video de la Tabla 8 se constató que a mayor resolución la transmisión de video se vuelve más inestable y por ende dificulta la conducción del vehículo. Las resoluciones de 1280x720 y 640x480

presentaba en algunos momentos retardos en la imagen en ciertas ocasiones al ejecutar maniobras rápidas en el vehículo en un rango menor a 70 y 90 metros respectivamente.

De las tres resoluciones que fueron evaluadas la resolución de 320x240 con calidad de video a 30 permitió realizar la conducción del vehículo de manera más confiable, por lo que se pudo interpretar cada uno de los objetos que se presentan en la imagen. Hay que tomar en cuenta que se puede llegar a resoluciones más altas al bajar la calidad de video, pero tiene como costo la pérdida de información sobre la interpretación de ciertos objetos que se muestran en la imagen de video.

Evaluación de percepción del dispositivo háptico

Para determinar la eficacia y calidad de experiencia del dispositivo háptico o chaleco al momento de conducir el vehículo se realizó una encuesta cuyo tamaño de muestra poblacional se calculó con la siguiente formula:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 (N - 1) + Z^2 \sigma^2} ,$$

donde:

n = tamaño de la muestra poblacional.

N = tamaño de la población total.

σ = desviación estándar de la población.

Z = valor constante mediante niveles de confianza.

e = límite aceptable de error muestral.

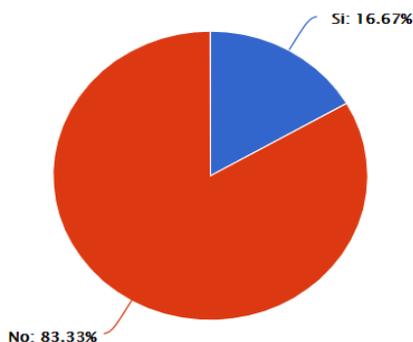
El tamaño de la población total que se consideró fue de 100 personas debido a que es un número accesible entre familiares y estudiantes de la carrera que hayan tenido algún tipo de experiencia con un sistema vehicular a escala, la desviación estándar utilizada fue de 0.5, el valor de Z igual a 1.96 ya que el nivel de confianza deseado es de 95% y el margen de error fue de 3% ya que con un porcentaje pequeño de error los resultados de la encuesta serán más exactos. Una vez realizados los cálculos se obtiene que el tamaño de muestra poblacional ideal para la encuesta es de 92 personas, sin embargo, la encuesta se la realizó a 12 personas debido a la emergencia sanitaria a nivel mundial el número de encuestados tuvo que reducirse ya que en la normativa para el control de la pandemia se establecieron prohibiciones que dificultaron la realización de la encuesta. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

En la Figura 98 se muestra el resultado de la pregunta ¿El dispositivo fue invasivo? Se puede observar que de las 12 personas encuestadas el 83.33% considera que el chaleco no fue invasivo.

Figura 98

Resultado pregunta 1.

¿El dispositivo háptico fue invasivo?

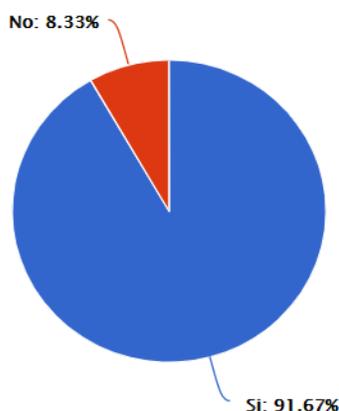


En la Figura 99 se muestra el resultado de la pregunta ¿Percibió los diferentes cambios de vibración mientras conducía el vehículo?. Se puede observar que, de las 12 personas encuestadas, 11 de ellas sí sintieron los cambios de vibración del chaleco.

Figura 99

Resultado pregunta 2.

¿Percibió los diferentes cambios de vibración
mientras conducía el vehículo ?

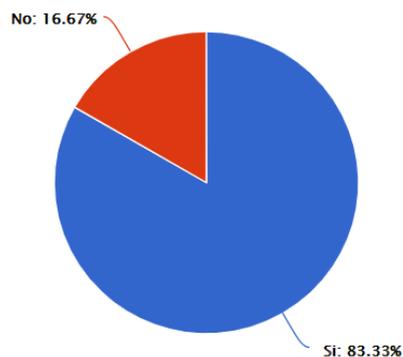


En la Figura 100 se muestra el resultado de la pregunta ¿El chaleco mejoró su experiencia al momento de manejar el vehículo?. Se puede observar que, de las 12 personas encuestadas, 10 consideran que al momento de manejar el vehículo el chaleco mejora su experiencia.

Figura 100

Resultado pregunta 3.

¿El chaleco mejora su experiencia al momento de manejar el vehículo ?

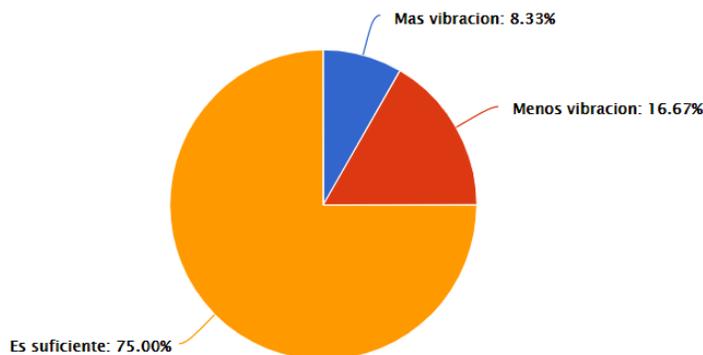


En la Figura 101 se muestra el resultado de la pregunta ¿Siente que los estímulos que recibe son suficientes?. Se puede observar que, de las 12 personas encuestadas el 75% consideran que los estímulos recibidos son suficientes, el 16.67% considera que debería existir menos vibración, mientras que el 8.33% considera que falta vibración en el dispositivo.

Figura 101

Resultado pregunta 4.

¿Siente que los estímulos que recibe son suficientes?

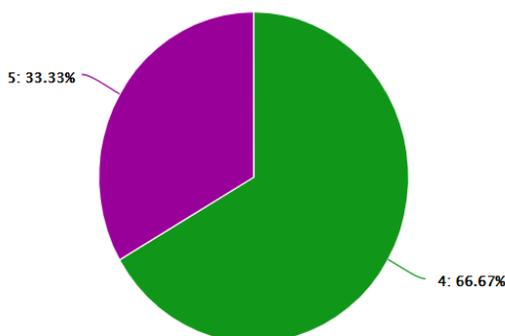


En la Figura 102 se muestra el resultado de la pregunta ¿En una escala de 1 a 5 considera que las vibraciones generadas son sincrónicas con el movimiento del vehículo?. Se puede observar que, de las 12 personas encuestadas las respuestas varían entre 4 y 5, es decir, consideran que las vibraciones son sincrónicas.

Figura 102

Resultado pregunta 5.

En una escala de 1 a 5 considera que las vibraciones generadas son sincrónicas con el movimiento del vehículo?. Siendo 1 no son sincrónicas y 5 si son sincrónicas.

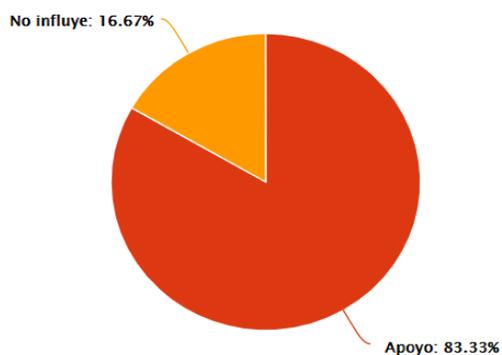


En la Figura 103 se muestra el resultado de la pregunta ¿Considera que el chaleco es un distractor o un apoyo para el sistema de manejo?. Se puede observar que, de las 12 personas encuestadas, el 83.33% están de acuerdo en que el chaleco es un apoyo al momento de manejar el vehículo.

Figura 103

Resultado pregunta 6.

¿Considera que el chaleco es un distractor o un apoyo para el sistema de manejo?

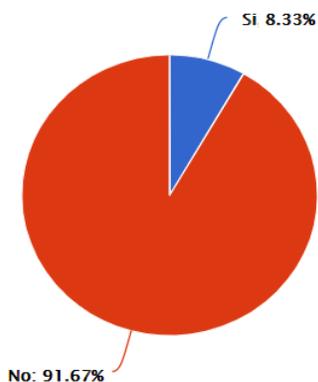


En la Figura 104 se muestra el resultado de la pregunta ¿Consideraría aumentar el número de puntos de vibración en el dispositivo háptico?. Se puede observar que, de las 12 personas encuestadas solo 1 persona aumentaría los puntos de vibración en el chaleco.

Figura 104

Resultado pregunta 7.

Consideraría aumentar el número de puntos de vibración en el dispositivo háptico?

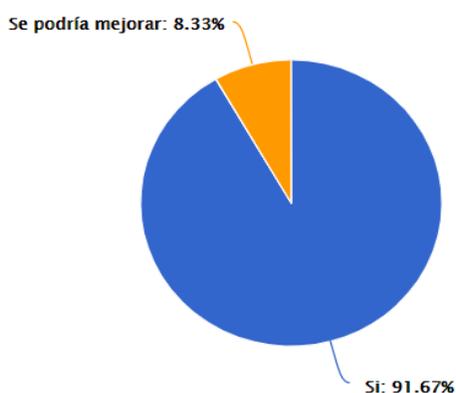


En la Figura 105 se muestra el resultado de la pregunta ¿Considera que la interfaz del vehículo es amigable?. Se puede observar que, de las 12 personas el 91.67% están de acuerdo que la interfaz del vehículo es amigable.

Figura 105

Resultado pregunta 8.

¿Considera que la interfaz del vehículo es amigable?

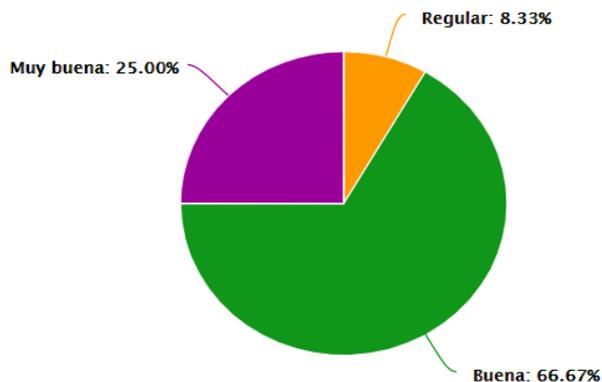


Finalmente, para evaluar la calidad del video se realizó la pregunta ¿Cómo considera la calidad del video?. En la Figura 106, se puede observar que de las 12 personas el 66.67% considera que la calidad del video es buena, el 25% considera que es muy buena, mientras que el 8.33% considera que el video es regular.

Figura 106

Resultado pregunta 9.

¿Cómo considera la calidad del video?



Análisis de costo

El análisis de costos tiene como propósito detallar el costo de cada uno de los componentes de hardware empleados en cada sistema que conforman el prototipo como: dispositivo háptico, sistema vehicular, sistema de comunicación y control sin considerar el software utilizado ya que la plataforma de Node-RED y Arduino son de uso libre.

En la Tabla 13 se detalla el costo de los componentes del dispositivo háptico.

Tabla 13

Costo materiales Dispositivo Háptico

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
32	Actuadores vibrotáctiles	\$2.87	\$91.84
1	Regulador de voltaje	\$8.00	\$8.00
2	Módulo PCA9685	\$12.00	\$24.00
1	Microcontrolador ESP8266	\$10.00	\$10.00
1	Batería Lipo	\$40.00	\$40.00

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
2	Baquelita	\$20.00	\$40.00
1	Impresión 3D	\$40.00	\$40.00
1	Modelado 3D	\$20.00	\$20.00
1	Malla plástica	\$20.00	\$20.00
1	Corosil	\$18.00	\$18.00
1	Insumos electrónicos	\$30.00	\$30.00
		TOTAL	\$341.84

En la Tabla 14 se detalla el costo de los componentes del sistema vehicular.

Tabla 14

Costo materiales Sistema vehicular

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Carro Luctan	\$77.00	\$77.00
1	Microcontrolador ESP8266	\$10.00	\$10.00
1	Batería Lipo	\$40.00	\$40.00
1	Módulo Encoder FC-03	\$5.00	\$5.00
1	Giroscopio MPU6050	\$7.00	\$7.00
1	Puente H L298N	\$8.00	\$8.00
1	Arduino Nano	\$9.00	\$9.00

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Impresión 3D	\$20.00	\$20.00
1	Modelado 3D	\$10.00	\$10.00
1	Ventilador	\$5.00	\$5.00
1	Teléfono Huawei	\$200.00	\$200.00
1	Insumos electrónicos	\$10.00	\$10.00
		TOTAL	\$401.00

En la Tabla 15 se detalla el costo de los componentes del sistema de comunicación.

Tabla 15

Costo materiales Sistema de comunicación

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Router tp-link AC-1350	\$60.00	\$60.00
		TOTAL	\$60.00

En la Tabla 16 se detalla el costo de los componentes que se utilizaron en la estación de control.

Tabla 16

Costo materiales estación de control

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Volante y pedales	\$50.00	\$50.00
		TOTAL	\$50.00

En la Tabla 17 se detalla el costo total del prototipo realizado.

Tabla 17

Costo total del prototipo

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Sistema vehicular	\$401.00	\$401.00
1	Dispositivo háptico	\$341.84	\$341.84
1	Sistema de comunicación	\$60.00	\$60.00
1	Estación de control	\$50.00	\$50.00
		TOTAL	\$852.84

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El resultado del estudio de los proyectos relacionados sobre vehículos teleoperados con tecnología *WiFi* y transferencia de parámetros de sensores fueron plasmados en el proceso de lectura de los datos obtenidos de los sensores que dispone el sistema vehicular, los cuales proveen de un conjunto de estímulos físicos por medio de componentes hápticos y que otorgan al conductor de una experiencia inmersiva en labores de teleoperación.

Para el diseño del envío y recepción de datos de la estación de control en el vehículo se empleó el protocolo MQTT, ya que permite clasificar los datos enviados por los sensores mediante etiquetas llamadas *Topic* y así ser procesados de manera independiente dentro de la herramienta Node-RED. Mientras que, el protocolo UDP fue empleado para la transferencia de datos hacia el dispositivo háptico, ya que al ser un protocolo no orientado a la conexión, los datos pueden o no llegar al destino, pero son rápidamente reemplazados por los datos siguientes. Esto hace que el tiempo de respuesta ante las maniobras sea mucho más corto.

Para la implementación del sistema de conducción se emplearon los valores obtenidos por el giroscopio, la variación del valor en el eje X permite interactuar de manera directa con los actuadores de la parte izquierda y derecha del dispositivo háptico, mientras la variación del valor en el eje Y permite interactuar de manera directa con la parte frontal

y trasera. Los cuales aumentan o disminuyen la intensidad de vibración respecto al ángulo de inclinación al que se encuentra el vehículo.

Para determinar la respuesta a la velocidad del vehículo se implementó un lector de encoder en la llanta trasera derecha del vehículo que no afecte ni comprometa la constitución física del vehículo. La variación de la velocidad que presente el vehículo tiene como respuesta la variación de la intensidad de todos los actuadores vibrotáctiles del dispositivo.

En las pruebas realizadas en ambientes externos con línea de vista se constató que el estándar IEEE 802.11b tiene un mayor rango de operación al alcanzar hasta una distancia aproximadamente de 105 metros y una intensidad de señal recibida RSSI de -79 dBm, lo cual, al comparar con los valores teóricos calculados, se obtuvo un error de 4.11%, esto se debe a que el modelo de propagación no contempla la interferencia producida por las redes inalámbricas ya existentes.

Mientras que, en las pruebas realizadas en ambientes internos sin línea de vista se constató que el estándar IEEE 802.11b tiene un mayor rango de operación al alcanzar hasta una distancia aproximada de 20 metros y una intensidad de señal recibida RSSI de -76 dBm, lo cual al comparar con los valores teóricos calculados, se obtuvo un error de 2.79%, esto se debe a que el modelo de propagación empleado no contempla el número de redes ya existentes en ambientes internos y el total de dispositivos electrónicos que operan en la banda de 2.4 GHz,.

La transmisión de video se trabajó sobre la banda de 5GHz, en la cual se efectuaron pruebas en un ambiente externo con las resoluciones 1280x720, 640x480 y

320x240, con el parámetro de calidad de video en una escala de 30 de 100 y sin limitar el número de fotogramas por minuto. La resolución más confiable para desempeñar las labores de telepresencia fue la resolución de 320x240, idónea para visualizar con una suficiente calidad de detalle el entorno con alcance de operación de hasta 100 metros.

Cuando se trabaja con dispositivos hápticos se debe determinar si estos pueden llegar a ser invasivos al portador. Por lo que se realizó una encuesta cuyo tamaño de muestra poblacional ideal fue de 92 personas, sin embargo, la encuesta fue realizada a 12 personas debido a la emergencia sanitaria a nivel mundial. Con los resultados obtenidos se determinó que el 83.3% de la población encuestada considera que el dispositivo no es invasivo por lo que se acopla de manera acertada con los demás sistemas del prototipo. Dispuesto de una cantidad de 32 actuadores distribuidos en todo el dispositivo tuvo un grado de aceptación del 91.67% sobre la cantidad de puntos de vibración que dispone. Mientras que, el 83.3% de la población encuestada considera que el dispositivo háptico mejora la experiencia de conducción del vehículo.

Finalmente, se pudo obtener un sistema de conducción vehicular que satisface las características de telepresencia e inmersión, ya que se dispone de una estación de control conformada por un sistema de visualización y un mando de control que permiten realizar tareas de manera remota, y que además dispone de un dispositivo háptico capaz de recrear las acciones que se realizan en el vehículo e interpretar la pendiente en la que se encuentre.

Recomendaciones

La elección del estándar con el cual se desee operar depende de la aplicación y la distancia que desee cubrir, ya que el estándar IEEE 802.11b, aunque cubre una mayor área de operación y la tasa de transmisión máxima a la que opera es de 11Mbps, por lo que aplicaciones que requieran una mayor tasa de transmisión no podrían llevarse a cabo.

Cuando se trabaja con dispositivos hápticos que sean estimulados mediante vibración como respuesta física se debe considerar el umbral mínimo definido de 60 mm, ya que cada uno de los estímulos pueden ser interpretados como iguales.

Para tener un funcionamiento óptimo en los sistemas que emplean microcontroladores ESP8266 hay que verificar inicialmente la cantidad de voltaje que disponga la batería empleada en la alimentación de estos componentes, ya que si este llega a estar descargada o en mal estado puede presentar fallos en la comunicación del sistema.

Si se desea aumentar la resolución de la transmisión de video en la banda de 5GHz, se debe tomar en cuenta que la aplicación *IP Webcam* presenta una gran variedad de opciones que pueden ser manipuladas para obtener el mejor desempeño posible en la aplicación que se vaya a realizar.

Trabajos futuros

Debido a que la herramienta Node-RED es compatible con varias plataformas como Windows, Linux y Android, puede ser posible trasladar la interfaz desarrollada a dispositivos móviles con base en Android, ya que el aplicativo puede ser configurado

desde el terminal del dispositivo y la interfaz puede ser visualizada desde cualquier navegador web y de esta manera reducir significativamente el tamaño de la estación de control, donde las conexiones con el volante pueden ser realizadas por medio de conexión WiFi, bluetooth, o ser modificada por un mando de consola para mejorar la portabilidad.

Con todos los datos de los sensores que se han manejado en la creación del prototipo, puede ser viable utilizar un conjunto de sensores y diferentes dispositivos para el control para accionar un brazo robótico que actúe por medio de teleoperación e involucre dispositivos con tecnología háptica que puedan ser empleados en diferentes disciplinas que presentan un grado de peligro a la integridad física de los operarios.

La experiencia del conductor puede ser incrementada mediante la utilización de una estación de simulación de coches que actualmente están orientadas a juegos de carrera, pero que pueden ser modificados para interactuar con el prototipo que se ha desarrollado. Estas estaciones poseen un sistema mecánico conformado por actuadores, amortiguadores y un arreglo de pantallas en el sistema de visualización que mejoran de manera significativa la experiencia del conductor. Actualmente estas estaciones de simulación de coches tienden a variar en sus costos debido a las características que poseen, entre algunos de los simuladores que se comercializan están Openwheeler GEN2, Extreme Simracing Cockpit, Racing F-GT Simulator Cockpit (NLR-S010), entre otros.

Se puede llegar a hacer un sistema háptico mucho más complejo con sensores capaces de detectar diferentes parámetros como: condiciones climáticas, impactos, detección de metales, aproximación de objetos y temperatura ambiente. Adicional a esto

se puede llegar a utilizar un algoritmo computacional que pueda reconocer diferentes objetos mediante procesamiento de imágenes y permita determinar las características del entorno y ser transferidas al dispositivo háptico.

Bibliografía

- Aguirre, M. E. (2018). *Emulador a escala de un sistema remoto de conducción vehicular terrestre mediante la transferencia de su dinámica*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE , Sangolquí.
- Asuni, N. (2017). *electroncaptv*. Obtenido de <http://www.electroncaptv.com/modulo-puente-h-driver-l298n-para-motores-paso-a-paso-detail?tmpl=component&format=pdf>
- Atmoko, R., Riantini, R., & Hasin , M. (2017). *IoT real time data acquisition using MQTT protocol*. Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya, Indonesia.
- Bodenhamer, A. (2012). *Development of an immersive training vest*. Charlottesville: IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium.
- Borja Díaz, M. (2015). *Uart Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Carrión, J. (2017). *Diseño de una interfaz para la captura de patrones de vibración hápticos*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Castro, L. E., & Jaramillo, A. L. (2013). *Métodos de diseño y cobertura para redes wifi indoor y outdoor, caso UTPL*. Loja.
- Castromonte, P., & Sanchez, Á. (2016). *Desarrollo de una interfaz háptica con patrones de estímulos vibrotáctiles*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid.
- Ceja, J., Renteria, R., Ruelas, R., & Ochoa, G. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *ECOFRAN*, 72.

- Cornejo, J., Vargas, M., & Cornejo Aguilar, J. (2020). Aplicaciones Innovadoras de la robótica y biomédica en la salud pública durante la pandemia del Covid-19. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 20.
- García, V. (Marzo de 2018). *Configurar el MPU6050*. Obtenido de *Electrónica Práctica Aplicada*: <https://www.diarioelectronico hoy.com/blog/configurar-el-mpu6050>
- GPTOYS. (2015). *Luctan S912*. (GPTOYS, Editor) Obtenido de https://g-p.hk/maual/912/s912Manual_new-connector.pdf
- Herrera Lozada, J. C. (2010). *Teoría PWM (Modulación por Ancho de Pulsos)*. México.
- Hoffmann, R., Valgeirsdóttir, V., Jóhannesson, O., Unnthorsson, R., & Kristjánsson, A. (2018). *Measuring relative vibrotactile spatial acuity: effects of tactor type, anchor points and tactile anisotropy* .
- Játiva, J. E., & Morales, S. J. (2018). *Encendido y apagado de un Foco con atenuación desde cayenne y un módulo ESP 8266*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Kofman, J., Wu, X., Luu, T., & Verma, S. (2005). *Teleoperation of a Robot Manipulator Using a Vision-Based Human-Robot Interface*. IEEE Transactions on industrial electronics.
- Lacroix, R., Greenish, M., & Ramsay, B. (2014). *California, Estados Unidos Patente nº 8.791.799 B2*.
- LANTRONIX. (Diciembre de 2017). *LANTRONIX*. Obtenido de https://www.lantronix.com/wp-content/uploads/pdf/Using-Wi-Fi-SoftAP-for-Network-Setup-and-Gateway-Provisioning_FINAL-1.pdf

- Llamas, L. (Septiembre de 2016). *Determinar la orientación con arduino y el IMUI MPU-6050*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-orientacion-imu-mpu-6050/>
- Marca. (22 de Abril de 2020). *Marca*. Obtenido de <https://www.marca.com/claro-mx/trending/2020/04/22/5ea055aee2704e34308b45a0.html>
- Mcmahan, A. (2003). *Immersion, engagement, and presence: A method for analyzing 3-D video games* (67-86 ed.). New York.
- Mechatronics, N. (2018). *Sensor Encoder Infrarrojo FC-03*. Obtenido de <https://naylorlampmechatronics.com/robotica-movil/240-encoder-infrarrojo.html>
- Mihelj, M., & Podobnik, J. (2012). *Haptics for Virtual Reality and Teleoperation* (Vol. 64). New York.
- Molina Reino, M. A. (2017). *Modelo de propagación para la ciudad de Cuenca (Ecuador), en redes WLAN operando en 2.4GHz y 5.8GHz, en ambientes exteriores*. Guayaquil.
- Node-RED. (2020). *node-red-dashboard*. Obtenido de Node-RED: <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard>
- Nuño Ortega, E., & Basañez Villaluenga, L. (2004). *Teleoperación de Robot: técnicas, aplicaciones, entorno sensorial y teleoperación inteligente*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- NXP Semiconductors. (Julio de 2009). PCA9685. Obtenido de <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf>
- Rojas, C. (2006). *Diseño y simulación de técnicas de modulación PWM natural para el control de motores trifásicos*. Universidad de Pamplona, Pamplona.

Sancho, P. (Abril de 2020). *Fundamentos de Node-Red*. Obtenido de <https://www.techedgegroup.com/es/blog/fundamentos-node-red>

Stallings, W. (2008). *Comunicaciones y Redes de Computadores*. México.

Torres, J. R., Pérez, J. S., Camargo, E., & Padilla, M. Á. (2018). *Dispositivo háptico vibrotáctil inalámbrico para asistencia de actividades motoras*. Universidad distrital Francisco José de Caldas , Bogotá.

TP-LINK. (2016). www.static.tp-link.com. Obtenido de [https://static.tp-link.com/res/down/doc/Archer_C60\(EU\)_V1_UG.pdf](https://static.tp-link.com/res/down/doc/Archer_C60(EU)_V1_UG.pdf)

Velázquez, F. (15 de Abril de 2020). *El Universal*. Obtenido de <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/coronavirus-vehiculos-autonomos-y-su-importancia-ante-la-pandemia>

Anexos