



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE COMUNICACIÓN VEHICULAR  
MÓVIL CON CANAL INALÁMBRICO DSRC USANDO  
DISPOSITIVOS USRP”**

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

MARLON ZAMBRANO MARCILLO

JOSEPH DANIEL TOMALÁ AVELLAN

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

AÑO: 2018

SEGUNDO TERMINO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme dado las fuerzas para seguir adelante sin decaer aunque existan problemas de por medio, a mis padres por el apoyo incondicional en terminar los estudios universitarios, a mis profesores, a la PhD. María Antonieta Álvarez, al Dr. Boris Ramos, quienes han sido instructores para mi formación de ingeniero, y de manera muy especial a la Ing. Maricela Freire por sus consejos y guía para mis metas profesionales.

***Marlon Zambrano Marcillo***

Agradezco a Dios por permitirme terminar mis estudios de pregrado, a la Ing. Maricela Freire, al Dr. Boris Ramos, a la PhD. María Antonieta Álvarez por su calidad de conocimiento y oportuna ayuda en la realización de este proyecto. A la ESPOL, por formar profesionales de bien que me permiten hoy terminar esta etapa.

***Joseph Daniel Tomalá Avellán***

## DEDICATORIA

En primer lugar este proyecto se lo dedico a Dios por darme salud, paciencia y fuerzas así como también permitirme conseguir las metas propuestas hasta ahora sin dejarme caer. En segundo lugar a mis padres Luis Zambrano y Elena Marcillo quienes me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica haciendo de su hijo una persona responsable, respetuosa y perseverante. A mis hermanos Brezhne Zambrano y Raquel Zambrano quienes son fuente de inspiración y pilares fundamentales en mi vida. Y finalmente a una gran persona que Dios ha puesto en mi camino, Pamela Gutiérrez, por estar conmigo en los buenos y malos momentos siempre brindándome su apoyo, paciencia y me ha enseñado a no rendirme jamás.

***Marlon Zambrano Marcillo***

A mis padres, hermanos, abuelos y familia en general que siempre depositaron su confianza y apoyo en poder ser un profesional. A mis amigos que siempre han estado a mi lado, a pesar de todas las dificultades en el camino. Esto es por ellos.

***Joseph Daniel Tomalá Avellán***

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

---

Dr. María Antonieta Álvarez  
PROFESOR DE LA MATERIA

---

Dr. Boris Ramos S.  
PROFESOR TUTOR

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

---

MARLON  
ZAMBRANO  
MARCILLO

---

JOSEPH DANIEL  
TOMALÁ AVELLÁN

## RESUMEN

Los Choques entre vehículos en línea recta existentes en Ecuador se incrementan en el transcurso de los años, teniendo mayor número de accidentes y aumento de gastos por colisión. Es normal ver en las calles 2 vehículos viajando en línea recta hacia un semáforo en luz roja y que por distracción o cansancio de los conductores provoque una colisión por alcance, causando daños materiales o muerte de los individuos.

Por este motivo, se diseñó un sistema de comunicación vehicular que permita que 2 vehículos aproximándose a velocidades menores a 60km/h se comuniquen. En el instante que se detiene un vehículo transmita una señal al segundo vehículo, éste recepte dicha señal y emita un pitido dentro del auto, provocando que el conductor reaccione y frene a tiempo sin que exista la colisión.

Se usaron dispositivos USRP y módulo GPS conectados a un OctoClock, dichos equipos se energizaron con un inversor de corriente directa a corriente alterna, también se usó una antena HORN que opere a 5.8GHz, banda designada para la comunicación DSRC, estándar IEEE 802.11p. Se implementó el algoritmo de Smichdl & Cox para corregir desplazamientos de frecuencia y trama, provocados por existir movimiento entre el transmisor y el receptor.

Con los algoritmos se pudo obtener una mejor recepción de señal con un BER=0, es decir que con velocidades de 25, 30 y 40Km/h, efectivamente lo que transmitimos era lo que receptábamos. Se estimaron tiempos de comunicación, reacción y frenado para calcular cual sería la distancia mínima a la que se debe de comunicar para que no exista colisión.

Con los tiempos estimados se pudo concluir que se debe comunicar a una distancia de entre 78 - 85 metros dependiendo del estado del conductor, vehículo y calzada.

**Palabras Clave:** DSRC, USRP, V2V

## ABSTRACT

The existing collisions in Ecuador increase over the years, with a higher number of accidents, an increase in costs due to collision and an increase in the mortality rate. It is normal to see a street scene where there is an approximation of 2 vehicles traveling in a straight line to a traffic light in red light and that by distraction or fatigue of the drivers causes a collision, causing material damage or death of individuals.

For this reason, a vehicular communication system was designed that allows 2 vehicles approaching at speeds less than 60km / h to communicate. The moment a vehicle stops, it transmits a signal to the second vehicle, it receives that signal and emits a beep inside the car, causing the driver to react and brake in time without the collision.

USRP devices and GPS module connected to an OctoClock were used, said equipment was energized with a DC AC inverter, a HORN antenna operating at 5.8GHz was also used, band designated for DSRC communication, IEEE 802.11p standard.

When there is movement between the transmitter and the receiver, it would cause frequency and frame shifts in reception, for which algorithms such as Smichdl & Cox had to be used to correct the aforementioned problems.

With the algorithms it was possible to obtain a better signal reception with a BER = 0, that is to say that with speeds of 25, 30 and 40Km / h, what we transmitted was what we were receiving. The communication, reaction and breaking times were estimated to calculate what would be the minimum distance to be communicated so that there is no collision.

With the estimated times it could be concluded that it must be communicated at a distance between 78 - 85 meters depending on the condition of the driver, vehicle and road.

**Keywords:** DSRC, USRP, V2V

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ABREVIATURAS.....	X
SIMBOLOGÍA.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Objetivos .....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3 Marco Teórico .....	4
1.3.1 Sistemas de Transporte Inteligente .....	4
1.3.2 Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance .....	6
1.3.3 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales .....	8
1.3.4 Modulación por desplazamiento de fase (QPSK) .....	9
1.3.5 Filtros de Acoplamiento y de Formación de pulsos .....	10
2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DSRC PARA COMUNICACIÓN VEHÍCULO A VEHÍCULO.....	11
2.1 Descripción de la tecnología .....	12
2.1.1 Estándar de comunicación DSRC .....	14
2.1.2 Transmisión - Recepción .....	15
2.1.3 Desvanecimiento de Señal – Efecto Doppler.....	18

2.1.4	Sincronización de trama Slidding Correlator.....	21
2.1.5	Sincronizador de frecuencias Smichdl&Cox Única Portadora y Normalizado.....	22
2.2	Esquemático del hardware de conexión.....	25
2.3	Arquitectura de la comunicación Vehículo a Vehículo.....	26
2.4	Estimación de tiempos y distancias.....	28
2.4.1	Tiempo del proceso de transmisión – recepción.....	28
2.4.2	Tiempo y Retraso de Propagación .....	29
2.4.3	Tiempo de Reacción.....	30
2.4.4	Tiempo de Reacción humana y mecánica .....	30
2.4.5	Distancia de Detención.....	31
2.5	Parámetros de diseño .....	33
2.5.1	Parámetros de Hardware.....	34
2.5.2	Parámetros de Modulación.....	35
3	PRUEBAS DSRC DE VEHÍCULO A VEHÍCULO .....	38
3.1	Comunicación Estática OBU vs OBU .....	38
3.1.1	Pruebas a distancia de 10 metros .....	43
3.1.2	Pruebas a distancia de 32 metros .....	45
3.1.3	Pruebas a distancias de 80 metros.....	46
3.2	Comunicación en movimiento OBU vs OBU .....	47
3.2.1	Pruebas en movimiento: 25 km/h .....	48
3.2.2	Prueba en movimiento: 30 km/h .....	49
3.3	Tiempos .....	50
3.4	Desplazamiento de frecuencia .....	51
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	53
4.1	Conclusiones.....	53
4.2	Recomendaciones.....	54

BIBLIOGRAFÍA .....	55
ANEXOS.....	58

## ABREVIATURAS

<b>ANT</b>	Agencia Nacional de Tránsito
<b>AWGN</b>	Additive White Gaussian Noise
<b>BER</b>	Bit Error Rate
<b>BSMs</b>	Basic Safety Messages
<b>CAMs</b>	Cooperatives Awareness Messages
<b>DC</b>	Direct Current
<b>DCE</b>	Data Communication Equipment
<b>DOT</b>	Department of Transportation
<b>DSRC</b>	Dedicated Short Range Communications
<b>EEUU</b>	Estados Unidos
<b>EIRP</b>	Effective Isotropic Radiated Power
<b>ESPOL</b>	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform
<b>GPS</b>	Global Positioning Satellite System
<b>HPBW</b>	Ancho de Banda de Media Potencia
<b>ICI</b>	Inter Carrier Interference
<b>IDFT</b>	Invertible Discrete Fourier Transform
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IFFT</b>	Fast Fourier Transform Inverse
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>ISI</b>	Inter Symbol Interference
<b>ISM</b>	Industrial, Scientific and Medical
<b>ITS</b>	Intelligent Transport System
<b>MAC</b>	Medium Access Control
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output
<b>OBU</b>	Unit on Board
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing

<b>OSI</b>	Systems Interconnection
<b>PHY</b>	Physical Layer
<b>PIEV</b>	Percepción Intelección Emoción Volición
<b>PLCP</b>	Physical Layer Convergence Procedure
<b>PPDU</b>	PLCP Protocol Data Unit
<b>PPs</b>	Pulse Per Second
<b>PSDU</b>	PLCP Service Data Unit
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase-Shift Keying
<b>RefIn</b>	Reference Input
<b>RSU</b>	Road Side Unit
<b>RTTT</b>	Road Transport and Traffic Telematics
<b>SDR</b>	Software Defined Radio
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio
<b>USRP</b>	Universal Software Radio Peripheral
<b>V2V</b>	Vehicule to Vehicule

## SIMBOLOGÍA

<b>MHz</b>	Megahercios
<b>GHz</b>	Gigahercios
<b>Hz</b>	Hercios
<b>S</b>	Segundos
<b>m</b>	Metros
<b>dBm</b>	Decibelios- mili vatios
<b>mW</b>	Mili vatio
<b>Km/h</b>	Kilómetros por hora
<b>w[n]</b>	Señal con secuencia de entrenamiento
<b>h[n]</b>	Canal inalámbrico
<b>y[n]</b>	Salida
<b>µseg</b>	Micro-segundo
<b>KHz</b>	Kilohercios
<b><math>T_{Tx}</math></b>	Tiempo Procesamiento de Transmisor
<b><math>T_{RMS}</math></b>	Retraso Cuadrático Medio
<b>nseg</b>	Nano segundos
<b><math>T_{Rx}</math></b>	Tiempo Procesamiento de Recepción
<b>m/s</b>	Metros sobre segundos
<b>m/s<sup>2</sup></b>	Metros sobre segundos al cuadrado
<b>dB</b>	Decibelios
<b>mseg</b>	Mili segundos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Interconexión y operación en ITS .....	5
Figura 1.2: Constelación QPSK.....	10
Figura 2.1: Comunicación vehículo a vehículo .....	14
Figura 2.2: Canales y banda de espectros DSRC .....	15
Figura 2.3: Diagrama de transmisión mediante el canal.....	16
Figura 2.4: Diagrama de bloques de transmisión. ....	17
Figura 2.5: Diagrama de bloques de recepción. ....	18
Figura 2.6: Trama de un sistema de una sola portadora. ....	22
Figura 2.7: Trama OFDM compuesta por 2 preámbulos simétricos. ....	24
Figura 2.8: Algoritmo de Schmidl&Cox Normalizado.....	25
Figura 2.9: Conexión USRP 2921 con antena HORN. ....	25
Figura 2.10: Conexión USRP 2921 – OctoClock.....	26
Figura 2.11: Conexión ordenador USRP.....	26
Figura 2.12: Arquitectura V2V basada en DSRC. ....	27
Figura 2.13: Distancia de reacción y frenado .....	33
Figura 3.1: Configuración de equipos en laboratorio de simulaciones Tx/Rx. ....	38
Figura 3.2: Constelación sin sincronización de relojes.....	39
Figura 3.3 Constelación con sincronización de relojes.....	39
Figura 3.4: Constelación sin sincronización de trama. ....	40
Figura 3.5: Constelación sin sincronización de frecuencia. ....	41
Figura 3.6: Constelación con sincronización de frecuencia.....	41
Figura 3.7: Constelación con baja longitud del.....	42
Figura 3.8: Perfil de retraso de potencia con baja longitud del.....	42
Figura 3.9: Constelación con máxima longitud del .....	43
Figura 3.10: Comparación de Constelación Recibida 10m.....	44
Figura 3.11: Valores en la recepción distancia 10 metros. ....	45
Figura 3.12: Datos recibidos 32m.....	45
Figura 3.13: Valores en la recepción distancia 32m. ....	46
Figura 3.14: Datos recibidos 80m, cobertura máxima. ....	47
Figura 3.15: Configuración de equipos para pruebas en movimiento. ....	48
Figura 3.16: Distancia de 25m de la última iteración recibida. ....	48

Figura 3.17: Datos recibidos a 25km/h.....	49
Figura 3.18: Datos Recibidos a 30km/h.....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Siniestros por provincia a nivel Nacional – Septiembre 2018 .....	2
Tabla 1.2: Especificación técnicas de DSRC . .....	7
Tabla 1.3: Clasificación de potencia .....	7
Tabla 1.4: Sensibilidad mínima de receptor .....	8
Tabla 2.1: Parámetros básicos canal OFDM .....	20
Tabla 2.2: Efecto Doppler para diferentes velocidades. ....	21
Tabla 2.3: Tiempos de Transmisión-Recepción .....	28
Tabla 2.4: Tiempo de propagación.....	30
Tabla 2.5: Tiempo de Reacción del conductor . ....	30
Tabla 2.6: Distancia de Reacción .....	32
Tabla 2.7: Parámetros Hardware Transmisor.....	34
Tabla 2.8: Parámetros Hardware Receptor .....	35
Tabla 2.9: Parámetros Modulación Transmisor .....	36
Tabla 2.10: Parámetros Modulación Receptor .....	36
Tabla 3.1: Tiempos y Distancia Calculados.....	51
Tabla 3.2: Desplazamiento de Frecuencia por efecto Doppler.....	51

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

A medida que pasa el tiempo los Sistemas de Transporte Inteligente (en inglés; Intelligent Transport System, ITS) se observan de manera más usual implementados en la sociedad, es más notorio en especial en el transporte vehicular por los servicios que emergen constantemente. Si bien esta tecnología se sigue desarrollando, ya en el 2016, el Departamento de Transportación de los Estados Unidos (en inglés; Department of Transportation, DOT), propuso la regla de que todos los fabricantes de vehículos incluyeran la tecnología vehículo a vehículo (en inglés; Vehicle to Vehicle, V2V) [1].

Para hacer funcionar los ITS, existen tecnologías inalámbricas como las Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance (en inglés; Dedicated Short Range Communications, DSRC) que se usan en estos sistemas. Se espera que este tipo de tecnología se siga desarrollando al pasar de los años, porque el objetivo de implementar DSRC en los ITS es salvar vidas, evitar colisiones, daños y tener un tráfico más fluido.

El Software de Radio Definido (en inglés, Software Defined Radio, SDR) es una tecnología que ha emergido y creado muchas posibilidades dentro del campo de radio comunicación. Hace posible realizar y analizar procesos de señales complejas en tiempo real en plataformas especializadas [2]. Los Software de Radio Periférico Universal (en inglés; Universal Software Radio Peripheral, USRP) son un ejemplo de este tipo de productos SDR, así como también Labview, “es un software de ingeniería enfocado en la programación gráfica de aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control” [3].

## 1.1 Descripción del problema

En las diferentes ciudades del país se pueden encontrar diversos problemas en las carreteras, calles y vías de transporte, ya sea a causa del tráfico, condiciones climatológicas y de carreteras, accidentes o colisiones; provocando a las personas incomodidades y miedos al momento de desplazarse por la ciudad o realizar viajes largos.

La Agencia Nacional de Tránsito (ANT) expone a la ciudadanía en el mes de septiembre del 2018 la estadística de la tasa de fallecidos por accidentes de tránsito en Ecuador, teniendo un aumento en la tasa de mortalidad de los últimos 5 años con 8.49 (1058 muertos en 12460 catástrofes) [4]. Obteniendo así millones de gastos en dólares por accidentes de tránsito.

Haciendo un mayor desglose de estas cifras, la ANT a septiembre del 2018 indica que el número de siniestros en carreteras alcanzan los 18889, de los cuales 1627 personas han fallecido en el lugar donde ocurre el accidente [4]. En la tabla 1.1 se puede visualizar una estadística de los accidentes por provincia en el país.

**Tabla 1.1: Siniestros por provincia a nivel Nacional – Septiembre 2018 [5].**

PROVINCIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL A SEPTIEMBRE 2018	%
AZUAY	133	109	146	100	129	148	128	122	114	1.129	5,98
BOLIVAR	21	22	17	8	9	7	7	6	7	104	0,55
CANAR	12	9	15	10	14	7	6	7	10	90	0,48
CARCHI	7	4	7	7	10	11	2	4	4	56	0,30
COTOPAXI	11	10	5	11	11	10	11	4	13	86	0,46
CHIMBORAZO	71	72	62	62	47	36	55	46	65	516	2,73
EL ORO	45	34	32	43	36	30	34	29	37	320	1,69
ESMERALDAS	9	23	18	12	15	9	8	16	9	117	0,62
GUAYAS	664	594	639	678	715	660	820	788	689	6.247	33,07
IMBABURA	24	33	31	27	33	33	17	29	27	254	1,34
LOJA	37	35	45	45	31	44	37	43	49	366	1,94
LOS RIOS	59	57	60	77	58	68	69	61	66	575	3,04
MANABI	90	99	90	97	72	99	99	90	132	868	4,60
MORONA SANTIAGO	11	16	12	7	17	17	17	14	14	125	0,66
NAPO	12	4	4	10	7	4	3	6	3	53	0,28
PASTAZA	10	6	4	4	1	3	5	4	6	43	0,23
RICHINCHA	648	629	698	696	631	656	628	613	668	5.867	31,06
TUNGURAHUA	76	104	125	113	141	123	129	116	124	1.051	5,56
ZAMORA CHINCHIPE	5	8	6	14	7	9	2	8	6	64	0,34
GALAPAGOS	-	-	-	2	-	1	-	1	-	4	0,02
SUCUMBIOS	9	10	2	5	10	11	5	3	3	58	0,31
ORELLANA	12	8	8	9	2	6	9	17	7	78	0,41
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	45	35	45	46	34	46	40	47	43	381	2,02
SANTA ELENA	49	54	59	47	47	51	38	45	47	437	2,31
<b>TOTAL</b>	<b>2.060</b>	<b>1.975</b>	<b>2.129</b>	<b>2.130</b>	<b>2.077</b>	<b>2.089</b>	<b>2.167</b>	<b>2.119</b>	<b>2.143</b>	<b>18.889</b>	<b>100</b>
<b>%</b>	<b>10,91</b>	<b>10,46</b>	<b>11,27</b>	<b>11,28</b>	<b>11,00</b>	<b>11,06</b>	<b>11,47</b>	<b>11,22</b>	<b>11,35</b>	<b>100,00</b>	

Con la investigación de la tecnología DSRC se pretende minimizar el exceso de costo de colisión por accidente de tránsito y disminuir la tasa de mortalidad [6]. Esta técnica es un tipo de comunicación inalámbrica asociada con los ITS.

La importancia de esta tecnología radica en que entre vehículos cercanos podrán compartir información como localización, dirección, velocidad; y ya en práctica, los vehículos podrán identificar riesgos y proveer advertencias a conductores para evitar colisiones y accidentes.

Ésta tecnología será implementada y utilizada a nivel mundial, ya sea con comunicación 5G, o la estudiada en este proyecto que es la tecnología DSRC; desde evitar congestión de tráfico, sugerir acciones al conductor gracias a un vehículo que se encuentra mucho más adelante en la carretera o calle, evitar accidentes de tránsito por exceso de velocidad. Puede decirse que la transportación inteligente es la próxima revolución tecnológica. Este proyecto presenta evidencias de tal tecnología, y da a conocer los beneficios que significa implementar este tipo de tecnologías en el país.

La investigación del presente proyecto se lleva a cabo en el Campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) implementando escenarios de transmisión de datos que genera un vehículo en movimiento en línea recta hacia otro vehículo con una velocidad diferente al primero analizando los estándares y protocolos que existen en el medio, utilizando dispositivos USRP.

Dentro de las limitaciones del proyecto integrador, podemos considerar el hecho de que el alcance del estudio considera dos casos específicos de comunicación inalámbrica, que son:

- I. entre vehículos en movimiento en línea recta
- II. entre un vehículo a otro de manera estática.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de comunicación vehicular móvil con tecnología DSRC usando dispositivos USRP para prevención y disminución de riesgos de accidente.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar la distancia mínima a la que se debe de comunicar un dispositivo con otro para que no exista colisión.
- Crear un sistema capaz de simular la comunicación vehículo a vehículo (V2V) para obtener una buena tasa de transmisión.
- Identificar riesgos inminentes de colisión en la carretera que provoquen accidentes de tránsito.
- Determinar el máximo alcance entre transmisor y receptor mediante el software Labview.
- Demostrar el intercambio de información de V2V en movimiento con tecnología DSRC.

## **1.3 Marco Teórico**

### **1.3.1 Sistemas de Transporte Inteligente**

El término de Sistemas de Transporte Inteligente es usado para describir información y sistemas de comunicación en transporte terrestre, aéreo, marítimo y por ferrocarril. Estos sistemas están destinados a aumentar la eficiencia y seguridad. Incluyen sistemas de navegación, de avisos de emergencia, de control de señales de tráfico, y previsión de colisiones [7].

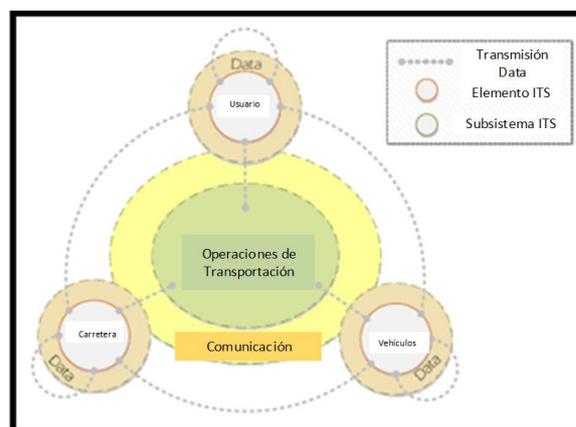
Mientras los requisitos de capacidad de transportación aumentan anualmente, se vuelve más dificultoso para los sistemas de carreteras el proveer servicios de viaje de alta calidad. Al mismo tiempo, y debido al aumento de número de vehículos, la calle se está volviendo

saturada. Tráfico e impactos ambientales son de los inconvenientes más comunes a nivel mundial [7]. Se pueden resaltar algunos otros como:

- Consumo Energía
- Accidentes y Seguridad
- Altos costos de mantenimiento
- Consumo de tierra

ITS combina tecnología avanzada y mejoras en sistemas de información, comunicación, sensores, controladores y modelos matemáticos avanzados con la infraestructura convencional mundial de transportación. Una vez integrados con la infraestructura, y en vehículos, estas tecnologías aliviarán problemas como congestión, mejorarán la seguridad en los viajes y aumentarán la productividad.

La interconexión entre diferentes sistemas y las operaciones son dos puntos importantes de ITS, como se describen en la figura 1.1 a continuación.



**Figura 1.1: Interconexión y operación en ITS [8].**

La interconexión nos permite unir todos los elementos relacionados en sistemas de transportación (vehículos, infraestructuras, personas), en vez de verlos como elementos separados. Bajo este escenario, la operación provee una nueva perspectiva de gestión de transportación, y alcanzará metas con recursos mínimos.

### 1.3.2 Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance

DSRC es un estándar inalámbrico desarrollado específicamente para soportar aplicaciones de ITS. La Comisión Federal de Comunicaciones (en inglés, Federal Communications Commission, FCC) dedicó 75 MHz en el rango de 5.9 GHz para implementar sistemas inalámbricos para comunicaciones vehículo a vehículo, y vehículo a infraestructura, en concordancia con el estándar DSRC. Es importante mencionar que algunos requerimientos para aplicaciones seguras en vehículos inteligentes usando DSRC fueron redactadas. Algunas definiciones importantes son [8]:

- Modo de Transmisión: describe si la transmisión es controlada por eventos o es periódico.
- Frecuencia Mínima: Es la velocidad a la que se actualiza la información en Hz.
- Latencia permitida: Tiempo máximo permitido entre información generada, transmitida y recibida en segundos (tiempo máximo de retraso 0.1 s).
- Tipo de datos a ser transmitidos o recibidos.
- Máximo Rango Requerido de Comunicación: Diferentes aplicaciones requieren diferentes distancias entre las dos unidades (150m-1000m).

La tabla 1.2 presenta un resumen con especificaciones técnicas de DSRC [8].

**Tabla 1.2: Especificación técnicas de DSRC [8].**

Item	Especificación
Banda de frecuencia	5.8 GHz
Ancho de banda	75 MHz
Método de modulación	ASK, QPSK, OFDM
Canales	7 ( cada uno de 10 MHz)
RSU EIRP	0-33 dBm
OBU EIRP	0-20 dBm

Hay 4 clases de dispositivos DSRC en términos de potencia de salida, como se observan en la tabla 1.3. Un dispositivo de la comunicación dedicada a corto alcance debe cumplir tanto con la potencia de salida y el límite de la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (en inglés; Effective Isotropic Radiated Power, EIRP) [9].

**Tabla 1.3: Clasificación de potencia [9].**

Clase potencia	Máxima potencia de salida (mW)	Límite EIRP (dBm)	Zonas de comunicación (m)
A	1	23	15
B	10	23	100
C	100	33	400
D	760	39	1000

Es de destacar que en la columna final de la tabla 1.3 se presenta un indicativo que son las zonas de comunicación, esto significa que en cada clase la comunicación será eficiente dentro de ese rango de medida. La sensibilidad del receptor se define como la potencia mínima recibida en un enlace de comunicación.

En la tabla 1.4 se definen los tipos de modulación, la tasa de codificación y la sensibilidad específica de cada caso [9], es decir, la mínima potencia a la cual el receptor detecta la señal para un correcto funcionamiento.

**Tabla 1.4: Sensibilidad mínima de receptor por esquema de modulación [9].**

Modulación	Tasa de codificación	Sensibilidad (Dbm)
BPSK	$\frac{1}{2}$	-85
BPSK	$\frac{3}{4}$	-84
QPSK	$\frac{1}{2}$	-82
QPSK	$\frac{3}{4}$	-80
16QAM	$\frac{1}{2}$	-77
16QAM	$\frac{3}{4}$	-73
64QAM	$\frac{2}{3}$	-69
64QAM	$\frac{3}{4}$	-68

### 1.3.3 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales

Es un tipo de modulación digital donde la información es modulada mediante sinusoidales en el tiempo discreto. Con la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (en inglés; Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), los símbolos después del mapeo de la constelación se consideran que empiezan en el dominio de la frecuencia, recordando que opera sobre grupos de símbolos y el resultante del mismo es llamado símbolo OFDM.

Se divide un flujo de símbolos que ingresan al modulador en  $n$  sub-flujos con su correspondiente sub-portadora. Cada una de ellas lleva una información modulada, siendo una constelación QAM o QPSK. [10] Podemos expresar la señal OFDM mediante una ecuación matemática como se define en la ecuación 1.1:

$$s(t) = \sum_{i=\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} d_i \exp \left[ 2\pi j \left( f_c + \frac{i}{T} \right) t \right] \quad (1.1)$$

Para la cual,  $s(t)$  es señal OFDM en el dominio del tiempo,  $d_i$  es el símbolo con información,  $f_c$  es la frecuencia central y  $T$  es el período. Esta modulación multi-portadora conlleva algunas ventajas como son [16]:

- Reducción de Interferencia Interportadora (en inglés; Inter Carrier Interference, ICI), que es quien evita la pérdida de ortogonalidad.
- Reducción interferencia Intersimbólica (en inglés; Inter Symbol Interference, ISI), para no tener símbolos que interfieran con posteriores.
- Mayor eficiencia espectral, es decir capaz de producir un mayor rendimiento con menor relación señal/ruido (en inglés; Signal to Noise Ratio, SNR).
- Es posible una implementación de hardware sencilla y menos compleja mediante el uso de Fast Fourier Transform (FFT).

#### 1.3.4 Modulación por desplazamiento de fase (QPSK)

La modulación QPSK es una técnica M-aria de codificación en la que  $M = 4$ . Con esta codificación son posibles cuatro fases de salida para una sola frecuencia de portadora. En QPSK los datos binarios de entrada se combinan en grupos de dos bits, en el que cada uno genera una de las cuatro fases posibles de salida (00, 01, 10 y 11) [11]. En la figura 1.2 se puede apreciar una constelación QPSK.

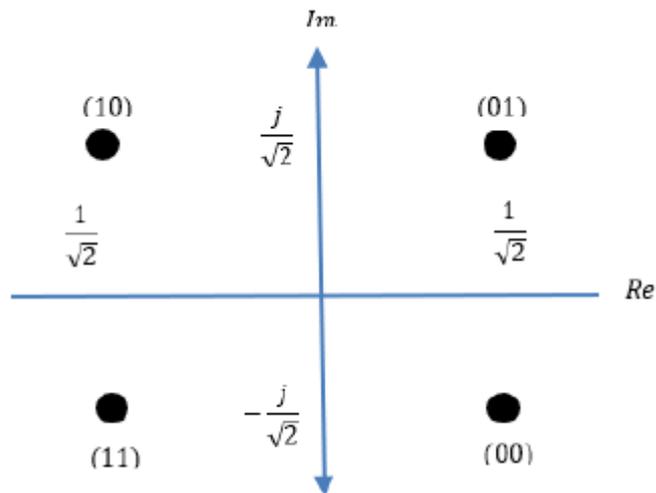


Figura 1.2: Constelación QPSK.

### 1.3.5 Filtros de Acoplamiento y de Formación de pulsos

La señal digital no puede ser transmitida directamente a través de un canal de comunicación, por lo tanto, debe ser convertida a una forma de onda analógica que puede ser fácilmente transmitida a través del canal inalámbrico.

Conceptualmente la conversión de los bits a señales de pulsos puede verse en dos pasos:

1. Bits del mensaje a símbolos. - Involucra la asignación de los bits emitidos por la fuente (digital) a símbolos  $S$  (posiblemente complejos), en una constelación  $C$ , determinada por el esquema de modulación.
2. Símbolos a pulsos. - Involucra crear un tren de pulsos analógico para ser transmitidos a través de un canal inalámbrico, usando los símbolos complejos generados en el primer paso. Esto se realiza a través de un filtro de formación de pulsos ( $t$ ) en el lado del transmisor [12].

## CAPITULO 2

### 2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DSRC PARA COMUNICACIÓN VEHÍCULO A VEHÍCULO

Las comunicaciones vehiculares en la actualidad ocurren en un entorno desafiante que involucra vehículos en movimiento rápido y una amplia gama de obstáculos que pueden degradar el rendimiento de comunicación radial como edificios, vehículos pesados, intersecciones, túneles y puentes. Para llegar a una comunicación compleja como el antes mencionado, primero nos hemos enfocado en la comunicación entre 2 vehículos en línea recta con una misma dirección y a diferentes velocidades.

Los modelos de canal para comunicaciones vehiculares han sido ampliamente estudiados [13], [14], y en general tienen un comportamiento muy diferente al de los modelos de canal estacionario como IEEE 802.11. Dos características diferenciadoras claves de los entornos de comunicación vehicular son: el retraso en la propagación multipaso y la movilidad. El retraso en la propagación conduce a la selectividad de frecuencia del canal, mientras que la movilidad causa canales de desvanecimiento selectivos en el tiempo, provocando problemas en dicha comunicación. Pero en el 2013 varios investigadores (ver ref. [13]) contribuyen con desafíos técnicos claves para aplicar solución a 802.11, dándole mejoras importantes para las versiones futuras de DSRC [13]. A continuación se detallan dos de estas mejoras para un mejor aprovechamiento de DSRC:

- Mejor intercalado y codificación de canales: En entornos de comunicación vehicular, los mecanismos actuales de codificación e intercalación del canal definidos en IEEE 802.11p o DSRC, conducen a una pérdida de rendimiento, ya que el error de recepción del paquete está determinado por la peor condición del canal durante la transmisión del paquete en lugar de la condición promedio del canal [13]. Una mejora directa es imponer el intercalado en el dominio del tiempo.

- Migración a tecnologías PHY más modernas incluyendo Soporte de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas (en inglés; Multiple Input Multiple Output, MIMO) de antenas en el transmisor y receptor dando soporte de flujo múltiple. Esto se puede entender a que tener múltiples antenas puede producir mucho valor en sistemas DSRC. Por ejemplo, tanto el transmisor y receptor pueden aumentar y mejorar el rango de transmisión y el presupuesto de enlace [13].

En esta sección se procede a explicar las características del sistema de comunicación de dispositivos dedicados a corto alcance, como soporte a la comunicación entre vehículos, transmisión, modulación, ecualización y recepción a usarse, así como también estándares utilizados y el esquemático de hardware de cómo se conecta el sistema. Con la finalidad de conseguir transferencias de datos a mayor velocidad, disminuir retardos en la transmisión, estimar tiempos de demora del paquete al momento de transmitir, propagar y recibir, así como también, conocer el tiempo de toma de decisión de un conductor y tiempo de frenado para estimar la distancia mínima a la que se debe realizar la comunicación para que no exista colisión.

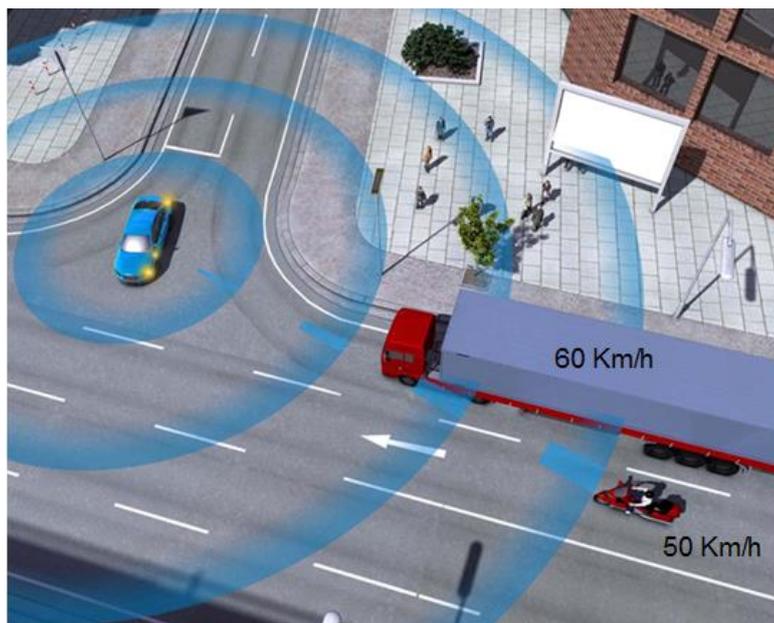
## **2.1 Descripción de la tecnología**

DSRC es una tecnología de envío y recepción de información entre transmisor y receptor, implementado para aprobar que los vehículos en el sistema de transporte inteligente se comuniquen con otros vehículos. Se caracteriza por tener comunicación de manera confiable, baja latencia e interoperabilidad, así como poseer una comunicación segura en distancias menores a 1km, teniendo muy poca interferencia debido al corto alcance que mantiene, incluso en condiciones climáticas extremas. Esto lo hace excelente para la comunicación desde y entre automóviles que se desplacen a altas velocidades [6].

La idea de esta tecnología es que se pueda emplear la comunicación entre vehículos (V2V) o vehículo a infraestructura (V2I), mediante un transmisor/receptor denominado transpondedor ubicado en un vehículo o

cabina de mando (en inglés; Unit On Board, OBU) conocidos como unidades a bordo o en una unidad lateral de la carretera (en inglés; Road Side Unit, RSU). Cada vehículo envía 10 veces por segundo su ubicación, rumbo y velocidad de manera segura y anónima. Todos los vehículos circundantes reciben el mensaje, y cada uno estima el riesgo impuesto por el vehículo transmisor. Esta comunicación suele ser por razones de seguridad, sin violar la privacidad o identidad del conductor, alertando al mismo que el automóvil que está enfrente está a punto de disminuir la velocidad. Esto también puede alertar al conductor sobre los riesgos de seguridad, como el hecho de que se aproximan a una curva demasiado rápido, o que se pueden usar para cobrar peajes y pagos de estacionamiento [15], [6].

Por ejemplo, en la figura 2.1 vemos como el vehículo azul va a girar a su izquierda, mientras que la moto se aproxima a 50km/h y junto a él va un tráiler a 60km/h tapando la visibilidad del motociclista en vías urbanas, si el conductor del tráiler viene distraído y no se percata del carro de color azul ocasionaría un accidente de tránsito, ya que el motociclista no observaría al vehículo azul provocando una colisión entre ellos. Pero si dichos vehículos tuvieran incorporados la comunicación con tecnología DSRC la unidad a bordo (transmisor) del automóvil azul enviaría una alerta de aproximación al conductor del tráiler y al motociclista (receptores) para que no exista colisión alguna, aunque exista distracción de parte de los automovilistas.



**Figura 2.1: Comunicación vehículo a vehículo [16].**

Fuera de los Estados Unidos, la comunicación dedicada a corto alcance también se está utilizando para seguridad y otros fines, como el pago de servicios de estacionamientos y casetas de peajes. En el 2008 el Instituto de Normas de Telecomunicaciones europeo (en inglés; European Telecommunications Standards Institute, ETSI) asigna una banda de 30 MHz de radiofrecuencia para DSRC, aunque en la actualidad el ancho de banda designado para E.E.U.U. es de 75MHz.

Se desarrolla la tecnología software y hardware necesaria para implementar comunicación DSRC robusto, manejable y con una interfaz totalmente conocida, para poder dar apoyo a distintas aplicaciones basada en sistemas cooperativos.

### **2.1.1 Estándar de comunicación DSRC**

En este apartado se presenta una breve introducción del estándar designado para los DSRC. El IEEE 802.11p está destinada a las redes vehiculares ad-hoc (VANETs). Actualmente éste es el único estándar con soporte para la comunicación directa de vehículo a vehículo. El servicio que utiliza este estándar es el de Radio Inteligente de Sistemas de Transporte (SUS-RS), operando en el rango de frecuencia de 5,850-

5,925 GHz, banda que se asigna por la FCC 5 en los Estados Unidos para aplicaciones de las comunicaciones especializadas de corto alcance DSRC. En Europa no existe este tipo de banda 75 MHz, la única banda dedicada para aplicaciones ITS se llama Transporte por Carretera y del tráfico Telemática (en inglés; Road Transport and Traffic Telematics, RTTT), situado en la banda ISM de 5,8 GHz y es una banda de 10 MHz de 5,795 a 5,805 GHz [17], [18].

En la figura 2.2 se muestra la banda de la tecnología DSRC aplicada en los Estados Unidos con los canales asignados.

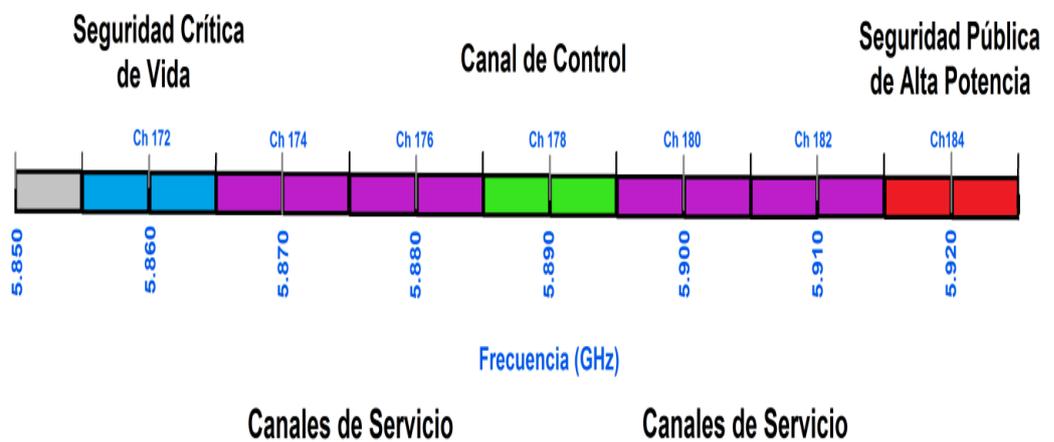
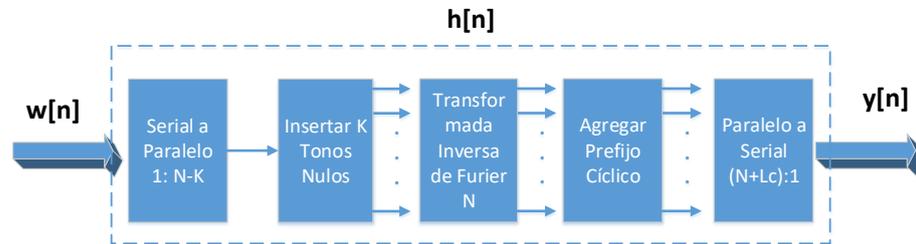


Figura 2.2: Canales y banda de espectros DSRC [18].

### 2.1.2 Transmisión - Recepción

En el proceso de envío de mensajes en el canal DSRC, los datos binarios conocidos como Unidad de Datos de Servicio PLCP (en inglés, PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) Service Data Unit, PSDU), al ser transmitidos a través del medio inalámbrico se codifican y son modulados en QPSK mediante sinusoidales en el tiempo discreto. La cadena de datos codificada resultante se asigna constantemente a un cierto número complejo en una constelación de señales, y grupos de 128 de estos números complejos son asignados a subportadoras OFDM. Para realizar la sincronización de trama en la recepción se añade la secuencia de entrenamiento Barker de tamaño 44.

La figura 2.3 muestra un sistema con salida  $y[n]$ , siendo  $w[n]$  la señal que se obtiene luego de añadir la secuencia de entrenamiento y  $h[n]$  la respuesta del sistema.



**Figura 2.3: Diagrama de transmisión mediante el canal.**

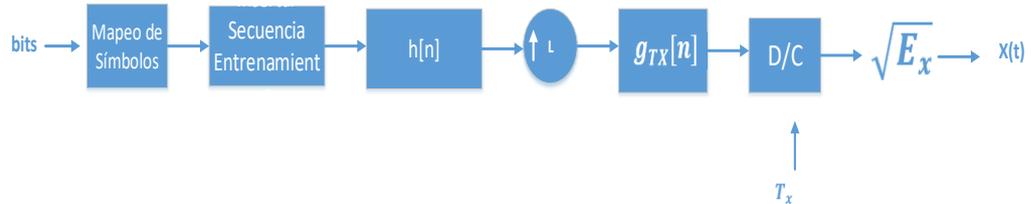
En el primer bloque de  $h[n]$  para enviar la data a través de las  $N$  subportadoras, se realiza la conversión serial a paralelo para formar la matriz de  $i$ -ésimas subportadoras. Luego se insertan  $K$  subportadoras piloto entre las  $N$  subportadoras de datos para formar el símbolo OFDM, de los cuales  $3$  serán insertados a la subportadora central y  $1$  en la primera subportadora, teniendo así la eliminación de la componente DC y la disminución del ancho de banda. Posteriormente, las subportadoras OFDM se convierten al dominio del tiempo utilizando la Transformada Rápida de Fourier Inversa (en inglés; Fast Fourier Transform Inverse, IFFT) y luego de eso se agrega el prefijo cíclico de tamaño  $L_c$ .

La ecuación (2.1) muestra la salida  $y[n]$  que se genera antes de ingresar al proceso de upsampling.

$$y[n] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} s[m] e^{j2\pi \frac{m(n-L_c)}{N}}; n = 0, \dots, N + L_c - 1 \quad (2.1)$$

Consecutivamente, se realiza la conversión paralelo serial para efectuar el proceso mencionado en la ecuación (2.1), que se basa en insertar  $L-1$  ceros a la derecha de cada símbolo de la trama, para de esta forma incrementar la tasa de muestreo, mitigar el efecto de aliasing y evitar errores de muestreo.

Finalmente, todos los símbolos OFDM se añaden uno después del otro para formar la PSDU. En la figura 2.4 este proceso es explicado, donde luego del proceso de upsampling se añade el filtro de formación de pulsos  $g_{TX}[n]$  y luego un interpolador, que nos da una señal  $x(t)$  y que está lista para la transmisión.



**Figura 2.4: Diagrama de bloques de transmisión.**

En la parte del receptor, luego de que la antena capta la señal, en la figura 2.5 está indicada como  $z(t)$ , la misma pasa por un filtro de acoplamiento transformando cada uno de los pulsos en una señal continua, dicha señal se le aplicará el método de la máxima energía para lograr el sincronismo de tiempo, permitiendo estimar los retrasos que existen en el canal.

Las  $M-1$  muestras agregadas en el transmisor serán quitadas para proceder con el proceso de downsampling y obtener la señal original desde el transmisor teniendo como resultado la señal  $y[n]$ :

$$y_1[n] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left( \sum_{l=0}^L h[l] e^{-j2\pi \frac{ml}{N}} \right) s[m] e^{j2\pi \frac{mn}{N}} + v[n] \quad (2.2)$$

Después de lograr la sincronización de paquetes en frecuencia, recuperación del tiempo de símbolo, sincronización de trama y el proceso de downsampling el receptor capta la señal mostrada en la ecuación (2.3).

$$y_2[n] = \sum_{\ell=0}^L h[\ell] w[n - \ell] + v[n] \quad (2.3)$$

Luego se extrae la secuencia de entrenamiento para poder estimar los coeficientes de canal y seguido de esto pasar al convertidor Serial a Paralelo (S / P), en donde la señal se divide en bloques de muestras y el campo de datos es separado del preámbulo y señal del PPDU. Tanto datos como preámbulo son demodulados en QPSK con la FFT. Después de esto, los coeficientes del canal son estimados. El ecualizador compensa los efectos de desvanecimiento introducidos por el canal y transmite las muestras al decodificador. Finalmente, el flujo de datos binarios, recibido y decodificado es comparado con la trama transmitida, para asegurar así una correcta comunicación entre vehículos.

La figura 2.5 nos muestra el diagrama de bloques de la Recepción.

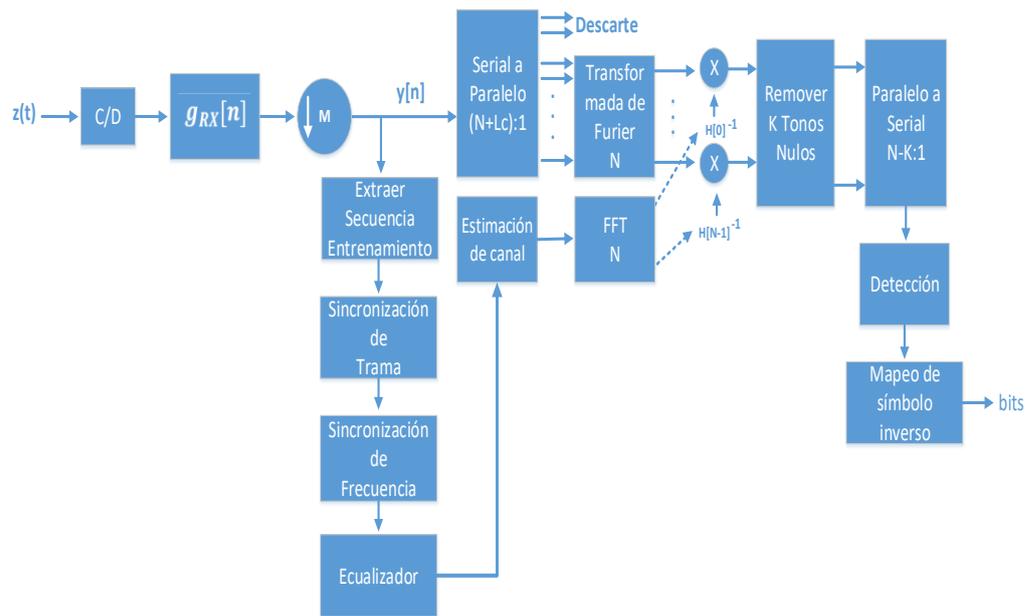


Figura 2.5: Diagrama de bloques de recepción.

### 2.1.3 Desvanecimiento de Señal – Efecto Doppler

Un parámetro importante de análisis dentro del proyecto tiene que ver con poder obtener una señal adecuada en el receptor para poder confirmar la comunicación entre vehículos. Dentro de los escenarios que se plantean en el capítulo 3, la comunicación se da en un ambiente

de área abierta por lo que conseguir Línea de Vista (en inglés, Line of Sight, LOS) es factible [19]. Se puede asumir una señal transmitida con frecuencia  $f$ , amplitud  $A_t$ , descrita en la siguiente expresión:

$$S_T = \text{Re}( A_t e^{j2\pi f t} ) \quad (2.4)$$

Por lo que en el receptor obtendremos una señal como se describe:

$$S_R = \text{Re}( A_r e^{j2\pi f (t-\tau)} ) \quad (2.5)$$

Donde  $A_t$  es la amplitud de la señal recibida,  $\phi_r$  es la fase de la señal expresada por  $\phi_r = -2\pi f \tau$ , siendo  $\tau$  la que relaciona la distancia con la velocidad de la luz a la que se mueve la señal, y haciendo reducción  $\phi_r = -2\pi d/\lambda$ .

Pahlavan explica que la potencia disminuye con el cuadrado de la distancia, por lo que se puede inferir que la amplitud de la señal recibida disminuye de manera lineal con la distancia entre transmisor y receptor. Es por esto que en los escenarios planteados en el capítulo 3 se podría observar este tipo de análisis, donde la distancia influirá en la señal que se observa en el dispositivo USRP receptor [19].

DSRC está compuesto de dos estándares principales que son, el IEEE 802.11p y el IEEE 1609. El estándar IEEE 1609 se hace cargo de todas las operaciones relacionadas a las capas superiores, mientras que el IEEE 802.11p es responsable de todas las operaciones relacionadas con el Control de Acceso al Medio (en inglés, Medium Access Control, MAC) y las capas físicas. Todo esto basado en el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (en inglés, Open Systems Interconnection, OSI) [9]

El protocolo OFDM usado en IEEE 802.11p es específicamente hecho para los mensajes en DSRC. Los parámetros básicos para un canal OFDM se muestran en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1: Parámetros básicos canal OFDM [9].**

Parámetro	Valor
Subportadoras	128
Subportadoras piloto	4
Número total de subportadoras	52
Espacio entre subportadoras de frecuencia	156.25 KHz
Intervalo de guarda	1.6 $\mu$ sec
Intervalo de símbolo	8 $\mu$ sec

Una red vehicular es muy versátil y en un ambiente de rápido cambio. Debido a estos factores, dispositivos móviles de esta red están en constante movimiento. La velocidad entre el transmisor y receptor produce un efecto Doppler, o cambio en su frecuencia de portadora.

Cuando una fuente de ondas y su receptor se están moviendo de manera relativa el uno al otro, la frecuencia de la señal recibida no será la misma que la de la fuente. Cuando se están moviendo el uno hacia el otro, la frecuencia de la señal recibida será mayor a la de la fuente. Mientras más cerca se encuentre uno del otro, la frecuencia va a disminuir. Esto es conocido como el Efecto Doppler. La tasa a la que la frecuencia cambia debido a este efecto Doppler dependerá tanto del movimiento entre la fuente y el receptor como de la velocidad de propagación de la onda [9]. El cambio Doppler en frecuencia puede ser escrito como:

$$\Delta f = \pm f_c \frac{v}{c} \cos\beta \quad (2.6)$$

Donde  $\Delta f$  es el cambio en frecuencia de la fuente visto en el receptor,  $f_c$  es la frecuencia de la fuente,  $v$  es la diferencia en velocidad entre la fuente y el receptor,  $c$  es la velocidad de la luz, y  $\beta$  es el ángulo del vector velocidad. El cambio en frecuencia es máximo cuando  $\beta = 0$ , [9].

Dicho efecto es corregido con el sincronizador de frecuencia Schmidl&Cox normalizado [20], algoritmo que permite corregir el desplazamiento o desfase que se produce al existir movimiento relativo entre el transmisor y receptor, provocando desplazamientos de frecuencia. La tabla 2.2 muestra el efecto doppler que produce al viajar a diferentes velocidades.

**Tabla 2.2: Efecto Doppler para diferentes velocidades.**

V [km/h]	$\Delta f_{f_c=5.8 \text{ GHz}}$ [Hz]
10	193.33
20	386.67
30	580
40	773.33
50	966.67

En la tabla 2.2 se observa que la velocidad es directamente proporcional al cambio en frecuencia visto desde el receptor, por lo tanto al aumentar la velocidad, se tiene mayor efecto doppler.

#### 2.1.4 Sincronización de trama Slidding Correlator

Algoritmo que sirve para crear un tiempo dilatado de correlación cruzada. Como se quiere obtener la auto-correlación de tiempo dilatado, entonces el correlador deslizante usa 2 señales similares, pero con distintos tiempos, una más lenta que la otra. Para encontrar una aproximación de la auto correlación de tiempo dilatado se debe multiplicar las señales similares. Este algoritmo correlaciona la secuencia de entrenamiento conjugada en el receptor con la señal transmitida que llega a este. Asumiendo que  $t^*[k]$  es la secuencia de

entrenamiento modulada con un tamaño de secuencia  $N_t$ , siendo  $R[m]$  la correlación de la secuencia de entrenamiento como se muestra en la ecuación (2.7), [21].

$$R[m] = \left| \sum_{k=0}^{N_t-1} t^*[k] y[m+k] \right|^2 \quad (2.7)$$

Después de tener la correlación de ambas señales, se encuentra el máximo valor de desplazamiento de la trama [21].

$$\hat{d} = \max [m] \quad (2.8)$$

Donde:  $d$  es el desplazamiento de la trama y  $m$  son todos los pares de puntos correspondientes a la expresión de la correlación. Con ello ya se obtiene el inicio de símbolo y se puede proseguir a corregir el desfase de desplazamiento de frecuencia con los algoritmos propuestos en la sección 2.1.5.

### 2.1.5 Sincronizador de frecuencias Smichdl&Cox Única Portadora y Normalizado.

El Algoritmo de Smichdl&Cox única portadora usa una sola secuencia de entrenamiento (S.T.) para la trama de un sistema de una sola portadora como se observa en la figura 2.6.



Figura 2.6: Trama de un sistema de una sola portadora.

Cuando la información se recibe y termina el método de detección de trama, se procede a corregir la fase disminuyendo el desplazamiento de frecuencia aplicando la ecuación (2.9), siendo  $\hat{\epsilon}$  el desfase corregido en frecuencia de la señal transmitida que ingresó al receptor.

$$\hat{\epsilon} = \frac{\text{fase} \sum_{l=L}^{N_t-1} y[l+N_t]t^*[n]}{2\pi N_t} \quad (2.9)$$

Donde  $N_t$  es el tamaño de la secuencia de entrenamiento,  $l$  variará desde  $L$  que es tamaño de la trama hasta  $(N_t - 1)$ .

Luego se obtiene una frecuencia estimada  $\hat{f}$  que es la desviación que ha sufrido la señal representada en la ecuación (2.10).

$$\hat{f} = \frac{\text{fase} \sum_{l=L}^{N_t-1} y[l+N_t]t^*[n]}{2\pi T N_t} \quad (2.10)$$

El valor de  $\hat{\epsilon}$  también puede ser escrito como la ecuación (2.11) que sirve para estimar la rotación que existe en la constelación [22].

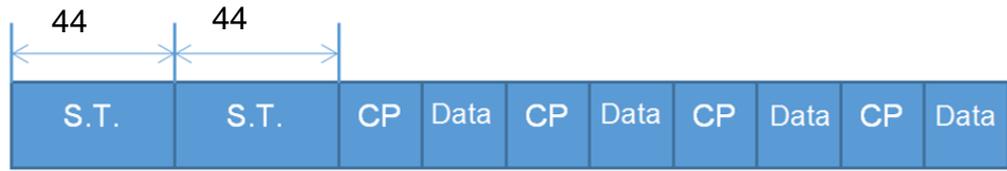
$$\hat{\epsilon} = \hat{f}T \quad (2.11)$$

$\hat{\epsilon}$  Permite saber el desfase en la señal que fue transmitida al momento que ingresa al receptor, alcanzando que la señal sea corregida con la ecuación (2.12).

$$\bar{y}[n] = y[n]e^{-j2\pi\hat{\epsilon}n} \quad (2.12)$$

Donde  $y[n]$  es la señal recibida,  $\bar{y}[n]$  es la señal corregida y el desfase depende del valor de  $\hat{\epsilon}$  [22].

En virtud de que el proyecto se basa en vehículos en movimiento, y por el efecto Doppler explicado en la sección 2.1.3, va a existir desplazamiento de la frecuencia por las múltiples portadoras presentes en el sistema, por lo tanto la estructura con respecto al sincronizador explicado en la sección 2.1.4 tendrá una variación añadiendo dos preámbulos simétricos, siendo cada preámbulo de longitud un medio del número de sub-portadoras, representado en la figura 2.7.



**Figura 2.7: Trama OFDM compuesta por 2 preámbulos simétricos.**

Después de aplicar el algoritmo sliding correlator y encontrar el inicio de la trama, se calcula  $\hat{\delta}f_{Zhang}$  que es el desplazamiento de frecuencia normalizado como se observa en la ecuación (2.13).

$$\hat{\delta}f_{Zhang} = -\frac{N \sum_{m=0}^{N-1} |r[m]r^*[2N-1-m]| \cdot \angle\{r[m]r^*[2N-1-m]\} \cdot (2N-1-2m)}{2\pi \sum_{m=0}^{N-1} |r[m]r^*[2N-1-m]| \cdot (2N-1-2m)} \quad (2.13)$$

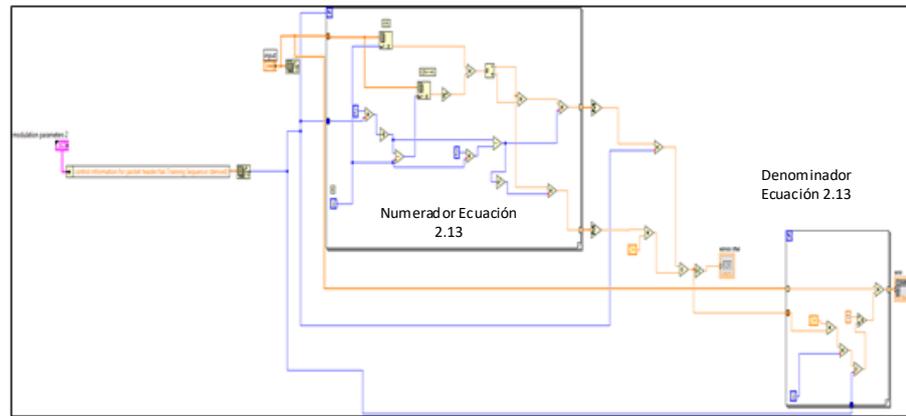
Donde N es la longitud de la secuencia de entrenamiento,  $r[m]$  es la señal recibida y m es el número de muestras.

La implementación en Labview se muestra en la figura 2.8, donde se estima el desplazamiento de frecuencia normalizado. Se crea un lazo con la función for loop para hacer las iteraciones desde m=0 hasta m=N-1, siendo N la longitud de la secuencia de entrenamiento que es extraída con la función Array Size de modulation parameters 2. Adicional N se la multiplica por 2, y se resta 1 menos m.

Dentro del lazo for, la señal  $r(2N-1-m)$  se asigna el valor absoluto o módulo con la función Complex Conjugate, al resultado se lo multiplica con la señal recibida  $r(m)$ , la cual con la función complex-to-polar se obtiene el módulo, el ángulo y dichos valores se los multiplica entre sí. Después con la función de multiply se multiplica todo lo anterior mencionado junto con el factor  $(2N-1-2m)$  obteniendo así la parte del numerador de la fórmula del estimado del desplazamiento de frecuencia con preámbulos simétricos.

En el denominador el factor  $(2N-1-m)$  se lo eleva al cuadrado y se lo multiplica con el módulo de la señal que sale de la función complex to

polar, para luego fuera del lazo for añadir 2 sumatorias con la función add array elements para sumar todos los elementos del numerador y todos los elementos del denominador, multiplicando por  $2\pi$  en el denominador y finalmente multiplicar todo por -1 para así lograr la señal sincronizada.



**Figura 2.8: Algoritmo de Schmidl&Cox Normalizado.**

## 2.2 Esquemático del hardware de conexión

En este proyecto se elabora la comunicación V2V en la red DSRC con dos dispositivos NI USRP 2921 con ancho de banda de 20Mhz conectados en el puerto Rx1/Tx1 a 2 antenas que opera en la frecuencia de 5.8 Ghz.



**Figura 2.9: Conexión USRP 2921 con antena HORN.**

Las antenas deben estar aisladas en un trípode para que no exista movimiento y permanezca estática, como se observa en la figura 2.9, de tal manera que uno de los dispositivos transmita y el otro reciba la señal. Las antenas tienen salida tipo N hembra por lo tanto se debe de tener un

conector de tipo N macho a conector subminiatura versión A (en inglés: SubMiniature version A, SMA) para poder acoplar la antena con el USRP.



**Figura 2.10: Conexión USRP 2921 – OctoClock.**

Cada uno de los USRP tienen en la parte frontal 2 puertos con salida de SMA llamados RefIn y PPS In que deben ir conectados a cualquiera de los puertos del OctoClock de 10Mhz y PPS Out, respectivamente, así como también conectar el módulo GPS a la entrada GPS del octoclock presentado en la figura 2.10.



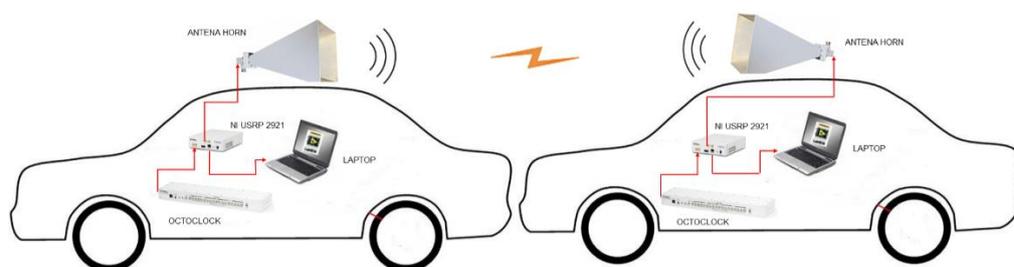
**Figura 2.11: Conexión ordenador USRP.**

Para finalizar el ensamblaje de los equipos se debe conectar un cable Gigabit Ethernet desde el dispositivo SDR hacia el ordenador, como se visualiza en la figura 2.11, que sirve para observar los parámetros de la comunicación como: la velocidad a la que viaja el vehículo, BER, Ganancia de las antenas, dirección IP de los dispositivos NI USRP 2921, entre otros.

### **2.3 Arquitectura de la comunicación Vehículo a Vehículo**

Se realiza la transmisión y recepción V2V en modo OBU vs OBU, es decir ambos vehículos comunicando, se diseña un sistema de comunicación entre automóviles con tecnología DSRC basado en el estándar

IEEE802.11p, el cual sirve para comunicación dedicada de corto alcance siguiendo la arquitectura que aparece en la figura 2.12 construyendo el sistema con un USRP conectado a la computadora, octoclock, módulo GPS y a una antena direccional HORN.



**Figura 2.12: Arquitectura V2V basada en DSRC.**

El procedimiento implementado para realizar el radioenlace es: El ordenador envía los parámetros de velocidad y distancia simulados de un vehículo, el USRP recibe la señal de banda base discreta desde la computadora con 16 bits de resolución y una tasa de muestreo de hasta 25Mmuestras/segundos. El mensaje digital no puede ser enviado como tal al receptor, por lo tanto, se utiliza la formación de pulsos digital y el proceso de upsampling para crear una forma de onda a transmitir, la muestra se codifica de tal manera que se transforma en una señal con 2 estados, corrigiendo errores que se puedan emitir en la transmisión. La señal al momento de ser transmitida, tendrá interferencia provocada por las réplicas de los símbolos que se obtienen en el momento que las señales viajan en distintas trayectorias desde un vehículo hasta llegar al otro. Se usa OFDM para multiplexar el conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias y modular la señal.

La información de símbolos nulos son insertados en grupos de  $N - K$  símbolos transmitidos para que luego sean transformados del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo por medio de la IDFT anteponiendo el prefijo cíclico de longitud  $L_c$  en el transmisor para que exista ortogonalidad en un instante específico en distintos equipos de usuarios durante una comunicación V2V.

## 2.4 Estimación de tiempos y distancias

### 2.4.1 Tiempo del proceso de transmisión – recepción

El tiempo de transmisión  $T_{Tx}$ , es calculado por la diferencia de tiempos que existen desde que se inicia el proceso de transmisión representado por el Vi top\_ofdm\_tx ( $T_{oTx}$ ) hasta que se finaliza el mismo  $T_{fTx}$ . Todo el proceso de transmisión debe estar encerrado dentro de la función estructura de frecuencia plana (structure flat sequency), agregando un marco delante y atrás de la estructura para poder colocar la función Seconds to Date/Time por cada marco, la cual convierte un valor de marca de tiempo o un valor numérico en un grupo de valores de tiempo, devolviendo así la fecha y hora en tiempo universal configurada en la computadora, con esto extraemos la hora en segundos y podemos conocer el tiempo que se tardará en realizar en transmitir la información:

El tiempo de recepción ( $T_{Rx}$ ), es aquel que se calcula restando los tiempos de finalización de recepción ( $T_{fRx}$ ) y tiempo de recepción de información ( $T_{oRx}$ ), dicho proceso al igual que en el de transmisión se lo realiza en el software Labview con la función estructura de frecuencia plana.

La tabla 2.3 presenta los tiempos calculados descritos previamente, tanto de transmisión como recepción.

**Tabla 2.3: Tiempos de Transmisión-Recepción**

TRANSMISIÓN [s]	
$T_{fTx}$	53.195331
$T_{oTx}$	51.245961
$T_{Tx}$	1.94937
RECEPCIÓN [s]	
$T_{fRx}$	35.710059
$T_{oRx}$	33.524614
$T_{Rx}$	2.185445

### 2.4.2 Tiempo y Retraso de Propagación

Hay un factor importante a tomar en cuenta a la hora de la transmisión-recepción de datos en los escenarios a simular en este proyecto. Si existe un camino directo, será el más corto entre el transmisor y receptor. Pero en una comunicación inalámbrica, existirán multicaminos para poder llevar a cabo la comunicación. Estas señales tendrán un retraso en tiempo en comparación con lo que sería una señal directa. El retraso cuadrático medio  $T_{RMS}$  es una de las características más usadas para cuantificar este tipo de efectos.

En los sistemas que se tienen el máximo retraso de propagación, es usual aproximar el ancho de banda ( $B$ ) con la tasa de símbolo ( $R_s$ ), que además podemos igualarlo al ancho de banda coherente ( $B_c$ ):

$$B \cong R_s = B_c \quad (2.14)$$

La tasa de símbolo para las simulaciones a realizar son explicadas en la sección 2.5.2, a partir de la cual, podemos asegurar tener un  $R_s = 1$  MHz.

A partir de la ecuación (2.16) podemos obtener el  $T_{RMS}$  deseado

$$B_c = \frac{1}{5T_{RMS}} \quad (2.15)$$

Ya reemplazando valores podemos llegar a:  $T_{RMS} = 200 \text{ ns}$ .

Para obtener el tiempo en que tarda en viajar la información entre transmisor- receptor al momento de propagación, podemos hacer uso de la fórmula (2.17):

$$T_p = \frac{r \text{ [m]}}{v \text{ [}\frac{\text{m}}{\text{s}}\text{]}} \quad (2.16)$$

Donde  $T_p$  es el tiempo de propagación,  $r$  el rango medido en metros y  $v$  la velocidad. Para los diferentes escenarios planteados en el capítulo 3, se puede obtener la tabla 2.4:

**Tabla 2.4: Tiempo de propagación**

Distancia[m]	Tiempo de Propagación [ns]
10	33.33
16	53.33
36	120
72	240

### 2.4.3 Tiempo de Reacción

Es la respuesta a un estímulo y se divide en tiempo de reacción humana y tiempo de reacción mecánica.

**Tabla 2.5: Tiempo de Reacción del conductor [23].**

Tiempo	Descripción
0.7 s	Tan rápido como ocurre el peligro
1.5 s	Uso común
2.3 s	PROMEDIO
2.5 s	Usado en diferentes estados
3.0 s	Estandar Reino Unido

En un estudio de varios experimentos realizados en el año 2000 [23], se determinó que el tiempo promedio de reacción del conductor es de 2.3 segundos como se visualiza en la tabla 2.5, en las pruebas se embarcaron todos los tipos de controladores, realizando dichas pruebas en un simulador de conducción y en la pista.

### 2.4.4 Tiempo de Reacción humana y mecánica

Es el tiempo de procesamiento central entre el estímulo y el inicio de una reacción, que se mide como la cantidad de tiempo transcurrido entre la presentación de un estímulo y el inicio de una respuesta, con algún movimiento asociado también llamado reflejo y el tiempo de este

movimiento es la duración de la fase de movimiento de una respuesta [24]. Por lo tanto, el tiempo de reacción humana se divide en:

1. Tiempo de Percepción: corresponde al proceso cognitivo de la conciencia, que consiste en el reconocimiento e interpretación del entorno que se focaliza en el centro de la retina del ojo con un valor promedio de 0.3 segundos [25].
2. Tiempo PIEV (Percepción Intelección, Emoción, Volición): es el tiempo que transcurre desde que el conductor percibe o identifica el peligro, luego el cerebro procesa la información y envía señales al grupo de músculos que comenzarán a realizar la orden. La duración media de este tiempo oscila entre 1.5 a 2s, dependiendo del estado del conductor como la fatiga, cansancio, sueño, estado etílico, etc.

El tiempo de reacción mecánica comienza al terminar la etapa de respuesta y finaliza cuando el vehículo empieza a responder a las acciones ejecutadas por el conductor. Este tiempo corresponde a aquel que surge por la inercia de los mecanismos móviles, elasticidad de los elementos que transmiten la orden, juego o huelgo en los elementos mecánicos, etc. [25]. Su duración media oscila entre los 0,5s y 0,9s dependiendo del automotor que se esté manejando.

#### **2.4.5 Distancia de Detención**

Según la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito, la distancia de detención que recorre un automotor empieza cuando el conductor detecta algún peligro y termina hasta que el automóvil se detenga completamente. Se divide en dos etapas:

1. Distancia de reacción humana: corresponde al desplazamiento que realiza el vehículo desde que el conductor reacciona ante un obstáculo hasta antes de presionar el pedal de freno. Es calculado aproximadamente sumando 3 veces la primera cifra de la velocidad o las 2 primeras cifras. En la tabla 2.6 se observa

el cálculo de la distancia que recorre un vehículo mientras ocurre la reacción humana [26].

**Tabla 2.6: Distancia de Reacción [26].**

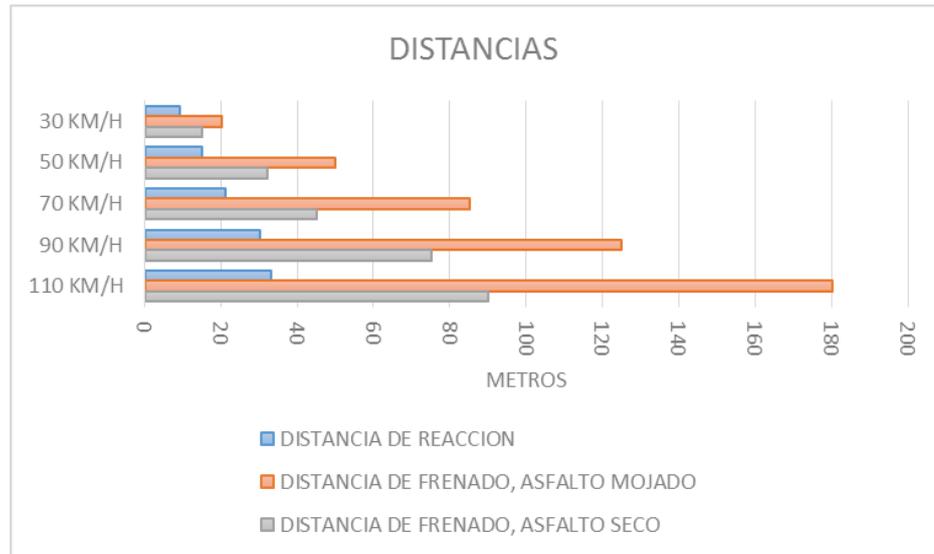
Velocidad del vehículo [Km/h]	Cálculo aproximado	Ejemplo
< 100	(Primera cifra) x (3)	V=60km/h 6*3 = 27 m
>100	(Primera cifra) x (3)	V=110km/h 11*3 = 33 m

2. Distancia de frenado: Se basa en la reacción de frenado (distancia calculada desde que el conductor pisa el pedal del freno hasta que el automóvil se detenga). Se calcula con la siguiente formula:

$$D_{fre} = (v)(t_{pr}) + \frac{v^2}{2g(f_l \pm i)} \quad (2.17)$$

Donde,  $D_{fre}$  es la distancia de frenado,  $v$  la velocidad del vehículo [m/s],  $t_{pr}$  es el tiempo de reacción calculada en segundos,  $f_l$  el coeficiente medio de rozamiento longitudinal,  $i$  es la inclinación de la rasante y  $g$  es la aceleración de la gravedad medida en  $m/s^2$ .

En la figura 2.13 observamos que si un automotor viaja a 30 km/h sobre asfalto seco la distancia de reacción es de 9 m, consecutivamente la distancia que recorre el vehículo mientras el conductor mantiene presionado el pedal de freno es de 15m. Por lo tanto, se obtiene una distancia de detención de aproximadamente 24 m.



**Figura 2.13: Distancia de reacción y frenado [26].**

Si el mismo automotor se mueve a la misma velocidad, pero esta vez en asfalto mojado la distancia de reacción se mantiene en 9 m, pero la distancia de frenado aumenta a 20 m. Por lo que la distancia de detención del automóvil es de 29 m.

Esto sucede porque el coeficiente medio de rozamiento longitudinal juega un papel importante en la distancia de frenado, provocando en el peor de los casos equiplaning o hidroplaneo que es cuando la tracción que surge entre el neumático y la capa de agua disminuye, es decir que el vehículo no frene como debería sino más bien se deslice.

## 2.5 Parámetros de diseño

Para la comunicación entre los dispositivos USRP se configuraron parámetros de programación en el software Labview, para cada uno de los escenarios que se detallan en las secciones 3.3 y 3.4 de este proyecto.

### 2.5.1 Parámetros de Hardware

Para un uso apropiado de los dispositivos USRP 2921, se procede a configurar con los siguientes parámetros, tanto para la parte transmisora como la receptora.

- Transmisor: Dentro de los parámetros a configurar debemos saber que la computadora se debe conectar al USRP vía Ethernet, por lo que se debe establecer la dirección IP que identifique al respectivo dispositivo como se presenta en la tabla 2.6, la dirección IP se la logró determinar con el programa NI-USRP Configuration Utility. Se especifica el modo en que la antena trabaja, en este caso se selecciona TX1 puerto donde está conectada la antena directiva (HORN) en el dispositivo USRP. Además, se establece la frecuencia de operación en 5.8 GHz, designada para comunicaciones inalámbricas entre vehículos dentro de la banda de ISM. se utiliza una ganancia de 30 dB para los diferentes escenarios planteados en el capítulo 3 del presente proyecto. Por último, se fija el modo en que se genera la transmisión, que se de forma continua, lo que evitará interrupciones en el transmisor. Estos parámetros descritos se los observa en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7: Parámetros Hardware Transmisor**

Parámetros	Descripción
Dirección IP	192.168.10.4
Antena activa	Puerto TX1
Frecuencia	5.8 GHz
Ganancia	30 dB
Modo de generación	Continua
Velocidad	30Km/h

- Receptor: Así como en el transmisor, se identifica el USRP con su respectiva dirección IP para la correcta comunicación, además de establecer la misma frecuencia de operación. En

este caso se identifica como RX1 a la antena activa, puerto donde está conectada la antena en el dispositivo USRP receptando la información. Se destacan nuevos parámetros a diferencia del transmisor, como son el tiempo de captura, que depende de la duración del paquete transmitido y que debe ser ligeramente mayor para una buena recepción de la señal, y el ancho de banda, que está dentro del rango que se ha establecido para una comunicación vehicular, que es de 75 MHz [7].

**Tabla 2.8: Parámetros Hardware Receptor**

Parámetros	Descripción
Dirección IP	192.168.10.3
Antena activa	RX1
Frecuencia	5.8 GHz
Ganancia	30 dB
Tiempo de captura	1.40 mseg
Ancho de banda	40 MHz

### 2.5.2 Parámetros de Modulación

Tanto para el transmisor y receptor, se configura valores concernientes a la parte de modulación, para establecer un enlace idóneo.

- Transmisor: Se selecciona el tipo de modulación a seguir, se ha escogido la modulación QPSK, que permite que el mensaje esté contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. Para las diferentes pruebas realizadas se establecieron valores tanto para el valor de sobremuestreo, como la frecuencia de muestreo. Si hacemos la división entre estos dos valores, resultará el período de sincronización. Se establecen además el número de subportadoras, que en OFDM, será 128 para los datos. Estos y otros parámetros son descritos en la tabla 2.9:

**Tabla 2.9: Parámetros Modulación Transmisor**

Parámetros	Descripción
Modulación	QPSK
Longitud del paquete	1000
Frecuencia de muestreo	4MHz
Factor sobremuestreo	4
Duración de paquete	428useg
Modelo de canal	AWGN
Número de subportadoras	128
Desplazamiento de frecuencia	0

- Receptor: Se utiliza el mismo valor de frecuencia de muestreo, sobremuestreo, el tipo de modulación utilizada en el transmisor. Parámetros a configurar tenemos el número de símbolos de datos, el método de recuperación de símbolo para lo cual se establece el método de máxima energía para una correcta sincronización entre los equipos USRP. Por último, seleccionar el método para sincronización de la trama, cuyo objetivo es de crear un tiempo dilatado de correlación cruzada para la obtención de la auto-correlación de tiempo dilatado. Parámetros descritos en a la tabla 2.10:

**Tabla 2.10: Parámetros Modulación Receptor**

Parámetros	Descripción
Modulación	QPSK
Longitud del paquete	1000
Frecuencia de muestreo	4MHz
Factor sobremuestreo	4
Duración de paquete	428μseg
Modelo de canal	AWGN
Número de subportadoras	128

Desplazamiento de frecuencia	0
Número de símbolos de datos	633
Método Recuperación De Símbolo	Máxima energía
Método Detección De Trama	Slidding correlator

## CAPITULO 3

### 3 PRUEBAS DSRC DE VEHÍCULO A VEHÍCULO

En esta sección se realiza distintas pruebas de comunicación en 2 escenarios diferentes:

- i. De manera estática, para obtener el tiempo que dura el paquete desde que se transmite hasta que se recibe, el offset de la señal recibida y el BER a diferentes distancias de separación entre transmisor y receptor.
- ii. Comunicación en movimiento a distintas velocidades y en diferentes distancias, para determinar el tiempo óptimo necesario en que se debe realizar la comunicación.

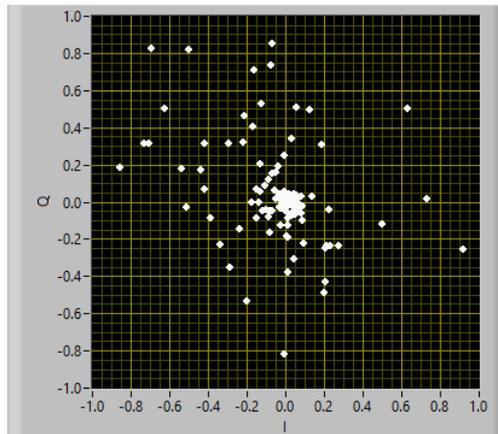
#### 3.1 Comunicación Estática OBU vs OBU

Para realizar estas pruebas primero realizamos la comunicación dentro del Laboratorio de Simulaciones ubicado en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la ESPOL, con una distancia de separación entre transmisor y receptor de 3m y una altura en las antenas de 1.4m como se muestra en la figura 3.1, para que estén libres de obstrucción y se pueda lograr capturar una gran porción de energía multitrayectoria del ambiente inalámbrico.



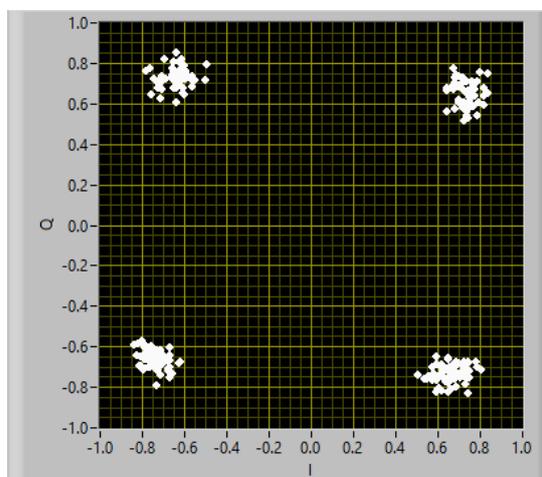
Figura 3.1: Configuración de equipos en laboratorio de simulaciones Tx/Rx.

Al realizar la comunicación sin haber conectado los dispositivos octoclock 2990 se logra observar en la figura 3.2 una constelación dispersa de símbolos debido a que no se establece la sincronización de relojes para el sincronismo de multicanal con una fuente de tiempo común.



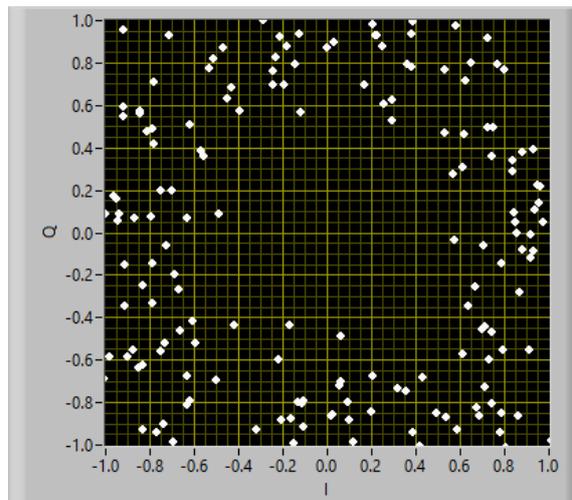
**Figura 3.2: Constelación sin sincronización de relojes.**

Sincronización de relojes: Al conectar los octoclock a cada USRP1 (transmisor) y USRP2 (receptor), se observa una constelación similar a la que se está transmitiendo, sin existir deformación disminuida de símbolos, ya que la distribución de referencia de frecuencia y tiempo están siendo de alta precisión gracias a la sincronización multicanal que está efectuando los octoclock como se observa en la figura 3.3.



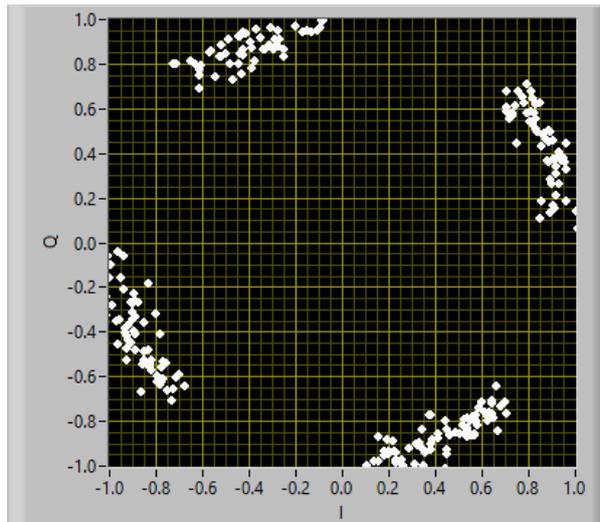
**Figura 3.3 Constelación con sincronización de relojes.**

Sincronización de trama: Se realiza la prueba sin existir sincronismo en la trama entre los equipos USRP1 y USRP2. La figura 3.4 ilustra una constelación distorsionada y con esparcimiento de símbolos debido a que no existe la sincronización al momento de realizar la comunicación en el sistema DSRC. Este efecto se produce debido al desplazamiento de frecuencia y la falta de sincronismo en la trama habiendo disminución de la detección de la misma basado en la correlación.



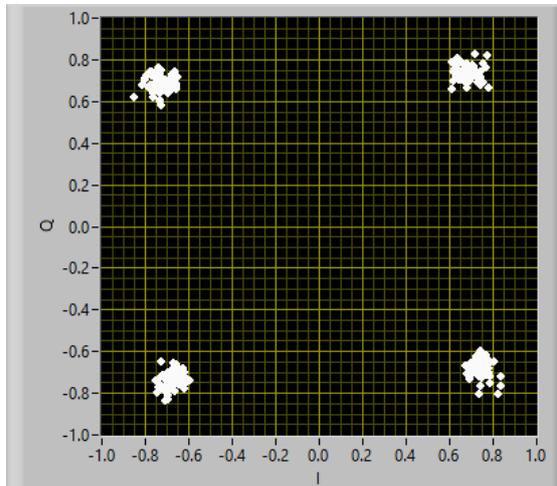
**Figura 3.4: Constelación sin sincronización de trama.**

Sincronización de Frecuencia: Se realiza la prueba sin existir sincronismo en la frecuencia. En la figura 3.5 se presenta una constelación con rotación y desfase en los símbolos transmitidos, debido a la velocidad de propagación de la onda y el movimiento que existe entre la fuente y el receptor, provocando mayor captación de ruido e interferencia producidas en el canal inalámbrico DSRC.



**Figura 3.5: Constelación sin sincronización de frecuencia.**

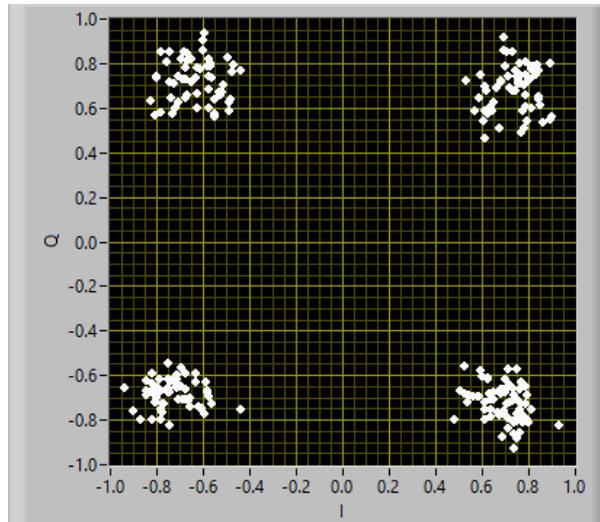
En la figura 3.6 al aplicar el algoritmo de Schmidl&Cox normalizado [20] se muestra la constelación con la corrección de fase de los símbolos ubicados en cuadratura, evitando interferencias y ruidos externos que puedan afectar a la transmisión y recepción.



**Figura 3.6: Constelación con sincronización de frecuencia.**

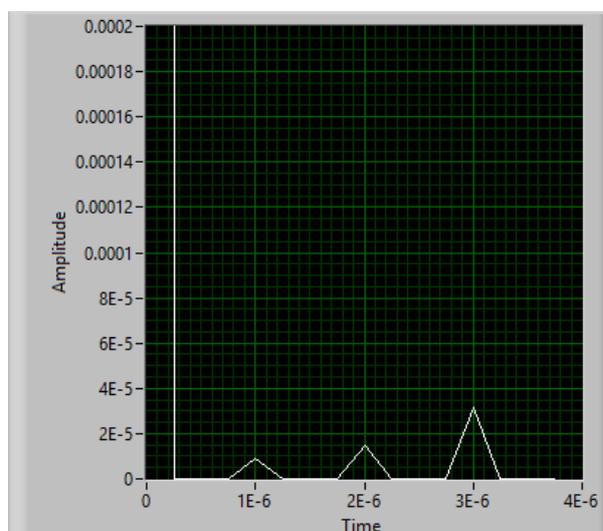
Longitud Estimada del Canal y del Ecuador: Se realiza en primer lugar la prueba con método de ecualización directa junto con una longitud estimada de canal de 4 y una longitud del ecualizador de 4 en la recepción de la señal. En la figura 3.7 se observa la constelación en el nivel que debería recibir la señal que en este caso es de 0,7 donde se está transmitiendo los símbolos, pero se ve toda la señal con mucha

interferencia intersimbólica que es generada por varias réplicas del mismo símbolo.



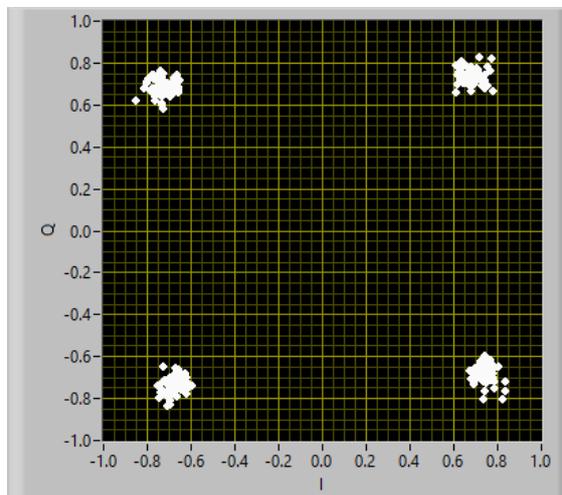
**Figura 3.7: Constelación con baja longitud del ecualizador y estimación del canal.**

En la figura 3.8 se visualiza todas las trayectorias que toma la señal desde el transmisor hasta el receptor, y dependiendo del nivel de recepción, el pulso se verá con mayor amplitud. Cada trayectoria se encuentra ubicada en cada tiempo de símbolo, en este caso el tiempo de símbolo viene a ser el inverso del ancho de banda, es decir  $1e^{-6}$ ,  $2e^{-6}$  y  $3e^{-6}$  son todas las señales que se están reflejando.



**Figura 3.8: Perfil de retardo de potencia con baja longitud del ecualizador y estimación de canal.**

Ahora se efectúa el método de ecualización directa junto con una longitud estimada de canal de 8 y una longitud del ecualizador de 8 en la comunicación de la señal, siendo 8 el máximo número a tomar todas las trayectorias que se pueden detectar dentro del canal que se está analizando ya que para longitudes mayores a ocho no existe cambio en la constelación. En la figura 3.9 Se presenta la constelación con menos réplicas del mismo símbolo transmitido, es decir que aumentando la longitud del canal y del ecualizador se obtiene una gran disminución de la interferencia que produce el canal DSRC.



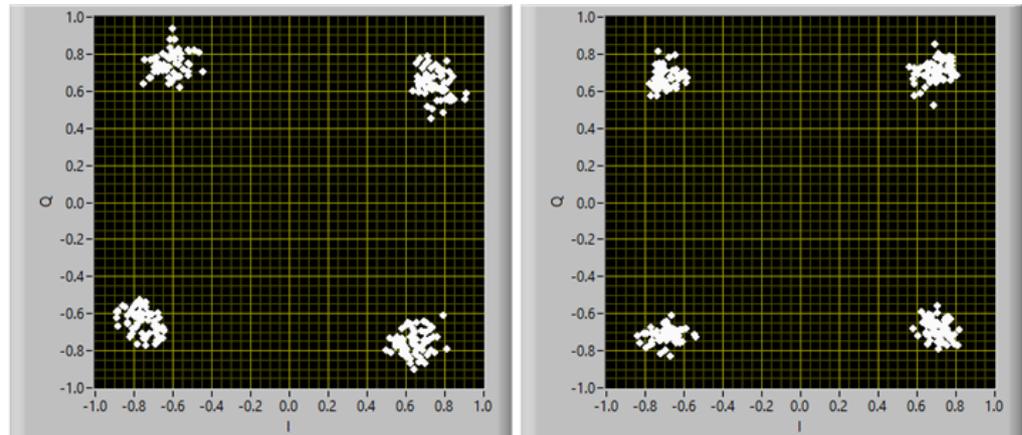
**Figura 3.9: Constelación con máxima longitud del ecualizador y estimación de canal.**

Concluyendo que con una longitud del ecualizador y de la estimación de canal de 4 no es posible estimar todas las trayectorias dentro del canal inalámbrico, en cambio con longitud de 8 si es posible estimar todas las trayectorias que se producen en el canal.

### **3.1.1 Pruebas a distancia de 10 metros**

En las pruebas realizadas para este escenario se obtienen gráficas de la constelación recibida a partir de la data enviada desde el transmisor. Se compara la constelación que se produce cuando se tiene una longitud estimada de canal de 4 y una longitud del ecualizador de 4

(figura 3.10 literal a), contra una comunicación con longitudes de valor de 8 (figura 3.10 literal b).



**a) Longitud de ecualizador = 4,  
Longitud estimada de canal = 4**

**b) Longitud ecualizador = 8,  
Longitud estimada de canal = 8**

**Figura 3.10: Comparación de Constelación Recibida 10m.**

En la figura 3.10 se muestra que con una longitud del ecualizador y estimación de canal de 8 se disminuyen las réplicas de símbolo transmitido y reduce la ligera rotación que existe al transmitir con longitudes de 4, lo que nos permite concluir que la trama enviada fue recibida de manera correcta.

Aplicando el algoritmo de Schmidl&Cox con preámbulos simétricos [20] se puede evitar interferencias producidas por el canal e incluso por ruidos externos que afecten la comunicación.

En la figura 3.11 se muestran datos interesantes como el offset ocasionado por los desplazamientos de trama a una distancia de 10m con una corrección de 1200 y a su vez corrigiendo los desplazamientos de frecuencia que se hayan ocasionado en las multitrayectorias con un valor de corrección de 30 Hz, por ello la rotación y dispersión en la constelación es casi nula.

Adicional se observa que el tiempo que se retarda la trama es de 0.0002905s con un BER y tasa promedio del error de bit de cero,

concluyendo que toda la información o trama transmitida está siendo recibida correctamente, por ende, la sincronización de red fue exitosa, provocando que no exista pérdida de paquetes en la comunicación.

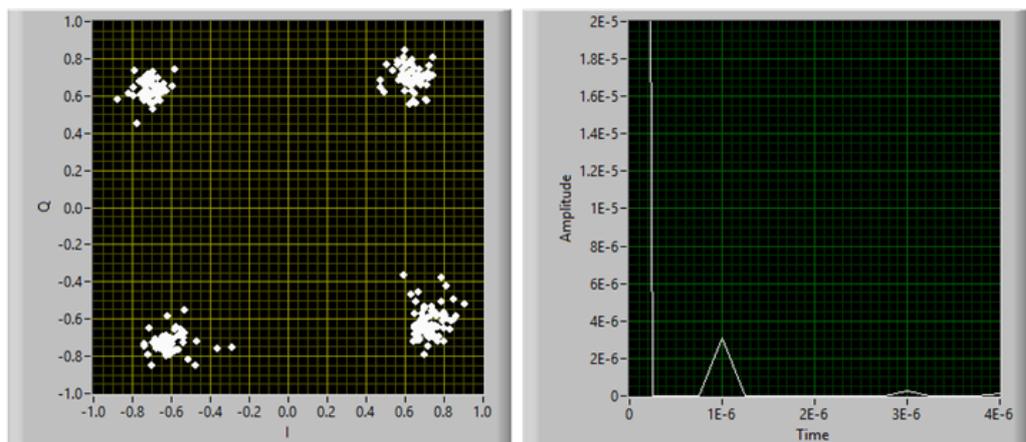


Figura 3.11: Valores en la recepción distancia 10 metros.

### 3.1.2 Pruebas a distancia de 32 metros

Alejando los equipos transmisor receptor a una distancia de 32m, la comunicación continuó siendo exitosa.

En la figura 3.12 se aprecia la constelación y el perfil de retraso de potencia para 32m.



a) Constelación

b) Perfil de retraso de potencia

Figura 3.12: Datos recibidos 32m.

La simulación de la gráfica 3.12 fue realizada con una longitud del canal y del ecualizador con valor de 8. Aún así, se aprecia en la constelación cierta rotación y dispersión de símbolos, ya que al haber mayor distancia entre el emisor y receptor provoca que exista interferencia intersimbólica pero aunque existe esparcimiento de símbolos no impide que la comunicación haya sido completada con éxito, como se muestra en la figura 3.13 el BER promedio resultante tiene un valor de 0, con corrección de trama de 1200 aproximadamente, es decir la información llega al receptor sin problemas.

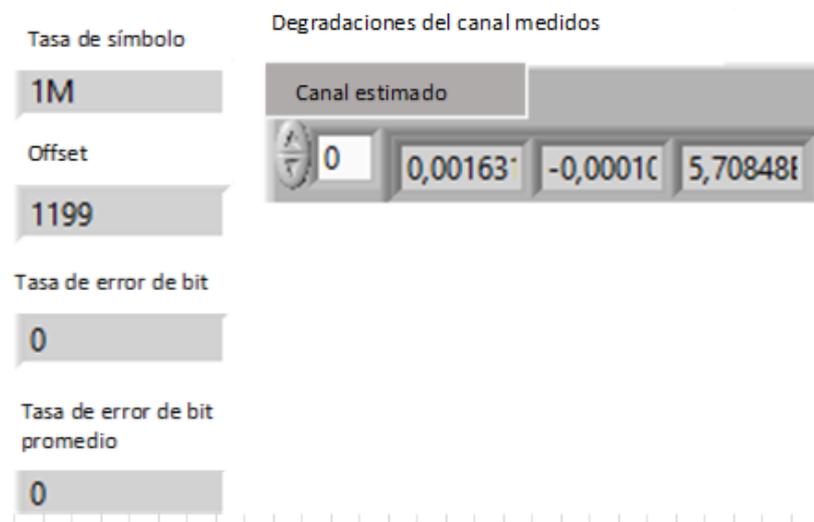
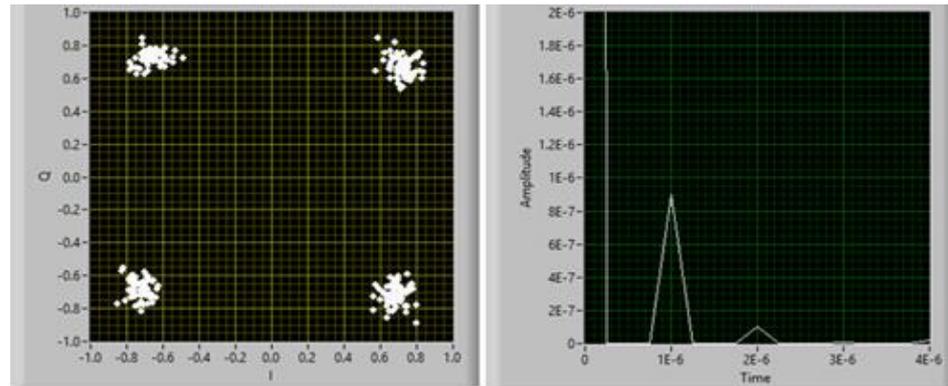


Figura 3.13: Valores en la recepción distancia 32m.

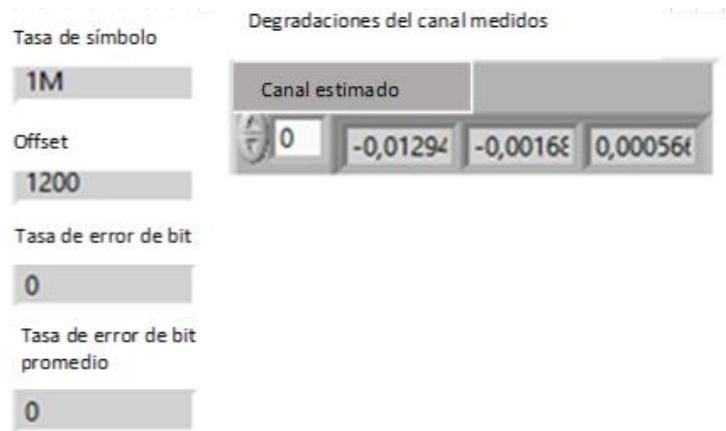
### 3.1.3 Pruebas a distancias de 80 metros

La transmisión – recepción fue exitosa hasta una distancia de 80m, cobertura máxima entre  $T_x/R_x$  sin pérdida de información con corrección de trama de 1200, es decir que existe 1200 de desplazamiento de la señal transmitida pero con el algoritmo de trama que se está usando sliding correlator ese desplazamiento es corregido. Luego de este punto, en el receptor ya no se apreciaba constelación recibida ni valores por mostrar. Gráficas como la constelación y el perfil de retraso de potencia para una distancia de 80m pueden ser apreciados en la figura 3.14.



a) Constelación

b) Perfil de retraso de potencia



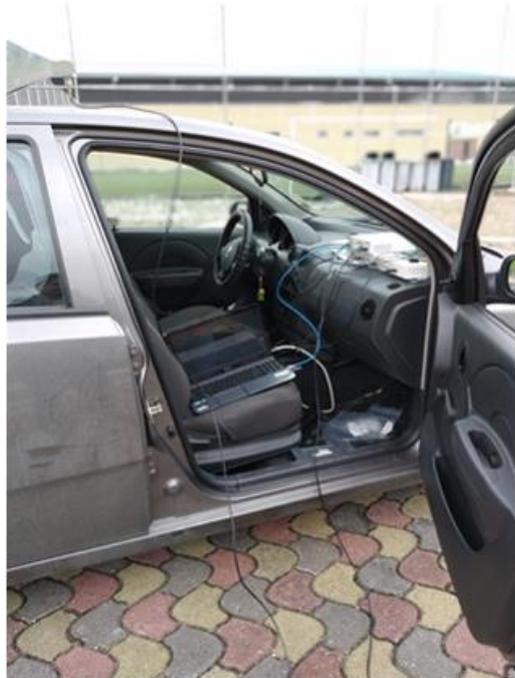
c) Valores en la recepción distancia 80m

Figura 3.14: Datos recibidos 80m, cobertura máxima.

Así como en constelaciones previamente visualizadas, se identifican claramente los símbolos graficados en cada cuadrante de modulación QPSK. En el perfil de retraso de potencia, es de resaltar una amplitud mucho menor en comparación con gráficas previas, para el primer tiempo de símbolo  $1e^{-6}$  que se traduce en un menor nivel de recepción de la señal transmitida desde 80m.

### 3.2 Comunicación en movimiento OBU vs OBU

Para las pruebas en movimiento, se han adecuado los dispositivos dentro de un vehículo simulando un OBU y es éste la parte receptora del canal de comunicación. Para el transmisor, se ha simulado un escenario de un vehículo con velocidad de 0 km/h. En la figura 3.15 se pueden apreciar las configuraciones de los equipos para el escenario previamente descrito.



a) Rx: USRP, Antena HORN octoclock, ordenador



b) Tx: USRP, Antena HORN con trípode, octoclock, ordenador

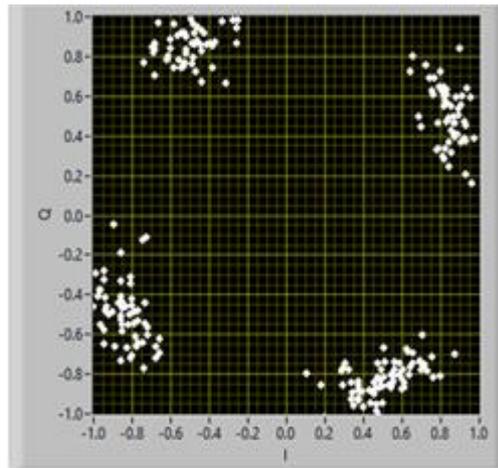
Figura 3.15: Configuración de equipos para pruebas en movimiento.

### 3.2.1 Pruebas en movimiento: 25 km/h

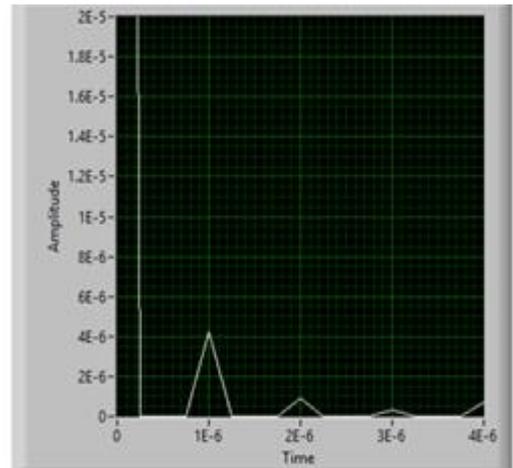
El vehículo se mantuvo con una velocidad constante de 25 km/h en dirección al OBU transmisor. Se configuró el receptor para que detecte 6 iteraciones y tener un promedio, la última iteración es recibida a 25m de separación de donde se encontraba el OBU transmisor como se aprecia en la figura 3.16.



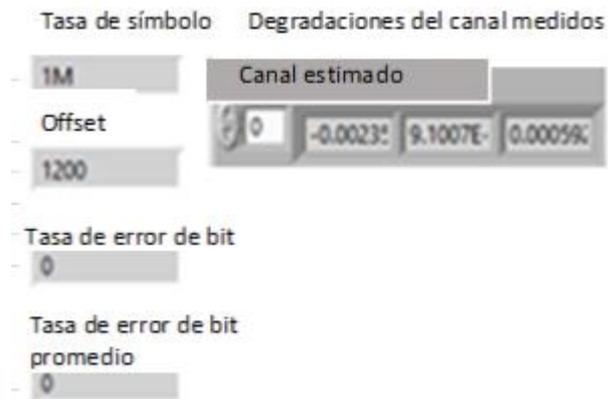
Figura 3.16: Distancia de 25m de la última iteración recibida.



a) Constelación



b) Perfil de retraso de potencia



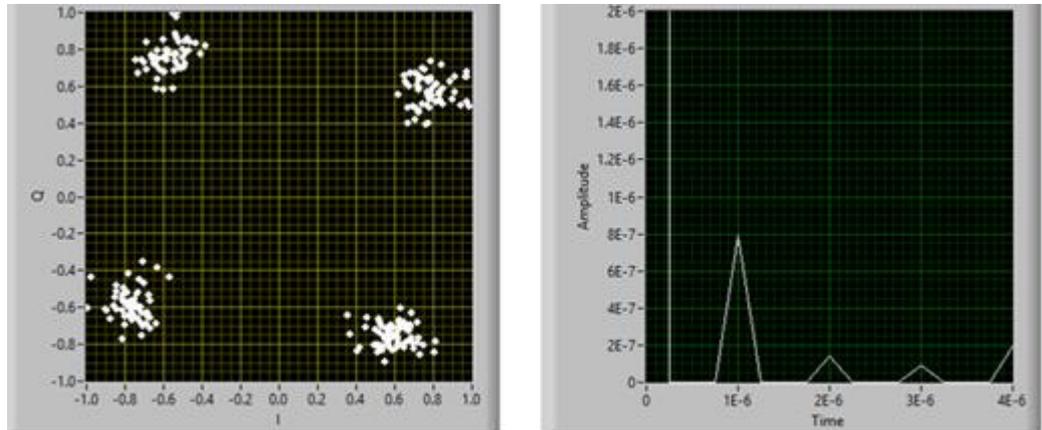
c) Valores en la recepción a 25km/h.  
 Figura 3.17: Datos recibidos a 25km/h.

En la figura 3.17 (a), la constelación recibida presenta una mayor rotación a los casos revisados de forma estática de la sección 3.1, sin embargo, se logra apreciar la cuadratura de modulación, mientras que en la figura 3.17 (c) se observan los valores de BER que permiten deducir que la comunicación entre los equipos fue exitosa. Además que en la figura 3.17 (b) los tiempos de símbolo se aprecian picos de amplitud mucho menores a los de casos estáticos, lo que produce disminución en los niveles de recepción de las diferentes trayectorias de la comunicación.

### 3.2.2 Prueba en movimiento: 30 km/h

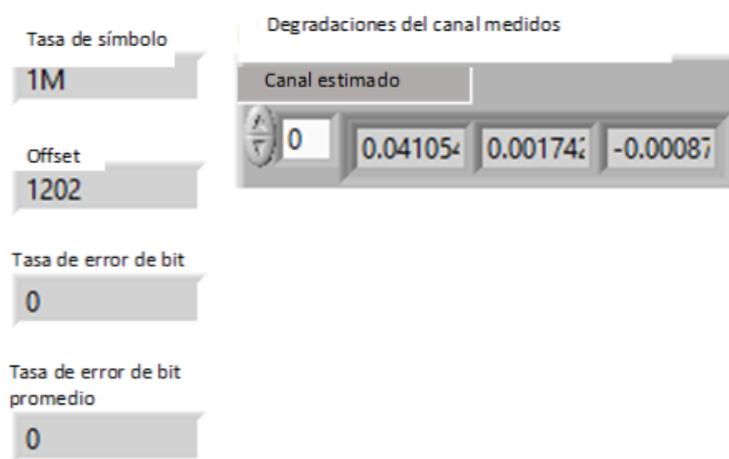
El vehículo fue manejado a una velocidad constante de 30 km/h en dirección hacia el dispositivo USRP simulando el OBU a 0 km/h.

Durante este escenario la última iteración en el receptor se dió a 20 metros de distancia entre las antenas.



a) Constelación

b) Perfil de retraso de potencia



c) Valores en la recepción a 30km/h  
 Figura 3.18: Datos Recibidos a 30km/h.

En la figura 3.18 (a), se observa una pequeña rotación y poco esparcimiento de símbolos, es decir que aunque la velocidad se aumentó en comparación al escenario de la figura 3.17 la interferencia intersimbólica disminuyó, esto es debido a que la separación entre  $T_x$  y  $R_x$  es de 20m. Además en la figura 3.18 (c) se muestra un BER de cero afirmando que la información llega al receptor en perfecto estado.

### 3.3 Tiempos

En la tabla 3.1 se presentan los tiempos calculados involucrados en todo el proceso de comunicación con el canal implementado DSRC.

**Tabla 3.1: Tiempos y Distancia Calculados.**

Estimación de tiempos para prevenir colisión	
Proceso de transmisión	1.94937 [s]
Proceso de recepción	2.185445 [s]
Propagación vías urbanas	53.33 [ns]
Comunicación	4.1348150 [s]
Reacción humana	1.8 [s] – 2.3 [s]
Reacción mecánica	0.5 [s] – 0.9 [s]
Frenado	3.607 [s]

La tabla 3.1 muestra el promedio de cada uno de los tiempos que se deben tomar en cuenta para prevenir una colisión, desde el proceso de transmisión, propagación de la señal en el medio, proceso de recepción, rango del tiempo en que se demora en reaccionar el conductor, rango de reacción mecánica, dependiendo del estado del vehículo y tiempo de frenado.

### 3.4 Desplazamiento de frecuencia

Para efecto Doppler el desplazamiento de frecuencia se calcula usando la ecuación (2.6). Y para calcular la frecuencia Doppler máxima el ángulo es de  $\beta = 0$ . La tabla 3.2 resume los valores obtenidos para desplazamiento de frecuencia.

**Tabla 3.2: Desplazamiento de Frecuencia por efecto Doppler.**

Velocidad relativa	Desplazamiento de frecuencia
40 km/h	214.81 Hz
30 km/h	187.96 Hz
25 km/h	134.26 Hz

Analizando estos resultados y comparando con el trabajo [27], podemos concluir que en un ambiente vehicular, existe un cambio positivo de efecto

Doppler que va incrementando a medida que la velocidad relativa entre los 2 objetos en movimiento va en aumento.

## CAPITULO 4

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- La distancia mínima a la que se debe de comunicar para que no exista un accidente de tránsito en el momento que un vehículo se aproxima al otro en calzadas secas de vías urbanas debe ser de 78,55m, valor se duplica aproximadamente si se analiza en asfalto mojado.
- El tiempo necesario para establecer un enlace en el sistema DSRC y que no exista colisión entre 2 vehículos que viajan en línea recta en vías urbanas es de 4,15s.
- A medida que los ITS avanzan, requieren aplicaciones de mayor seguridad para reducir la cantidad de accidentes, lo conlleva a reducir la cantidad de muertes o lesiones causadas por accidentes. Además, los avances en ITS reducen los costos de accidentes. La comunicación V2V es una aplicación vital de ITS para permitir que los vehículos intercambien información de vehículos o carreteras con los vehículos o la infraestructura circundantes. Este proyecto integrador provee un estudio comprensivo de la comunicación DSRC a 5.9 GHz e identifica los desafíos que se pueden encontrar en los diferentes escenarios analizados.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda usar antenas omnidireccionales para tener comunicación en todos los sentidos y poder percibir ya no solo vehículos en línea recta, sino en 360 grados a la redonda, para cuando exista choques en curva o en intersecciones.
- Luego de la recepción de la información en vez de que el usuario o conductor realice el frenado del vehículo sería mejor implementar de alguna manera que el carro que se está aproximando a la colisión vaya desacelerando por cuenta propia hasta alcanzar la misma velocidad que tiene el vehículo de enfrente.
- Ubicar la antena en la parte superior del vehículo para que exista fresnel y además para que esté libre de daño si es que existe algún golpe con un objeto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Uhlemann, «The United States and Europe Advances,» *IEEE vehicular technology magazine*, pp. 18-22, Junio 2017.
- [2] J. Hansen, «Wireless USRP Test-bed for DSRC Applications,» Norway, 2016.
- [3] National Instruments Corporation, «¿Qué es Labview?,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>.
- [4] El universo, «Tasa de fallecidos por accidentes de tránsito en Ecuador ha aumentado en el 2018,» [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/08/17/nota/6908768/tasa-mortalidad-accidentes-transito-ecuador-ha-aumentado-2018>. [Último acceso: 26 01 2019].
- [5] Agencia Nacional de Tránsito, «Fallecidos in situ por provincia a nivel nacional - Septiembre 2018,» [En línea]. Available: <https://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/file/5873-fallecidos-septiembre-2018>. [Último acceso: 26 01 2019].
- [6] J. b. Kenney, «Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States,» *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, nº 7, pp. 1162-1182, 2011.
- [7] R. Bera, J. Bera, S. Sil, S. Dogra, N. B. Sinha y D. Mondal, «Intelligent Transportation System(ITS): Concept, Challenge and Opportunity,» [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7980336>. [Último acceso: 24 01 2019].
- [8] P. R. M. Hafez y R. Sabouni, «Performance of DSRC for V2V communications in urban and highway environments,» 22 10 2012. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/261400482\\_Performance\\_of\\_DSRC\\_for\\_V2V\\_communications\\_in\\_urban\\_and\\_highway\\_environments](https://www.researchgate.net/publication/261400482_Performance_of_DSRC_for_V2V_communications_in_urban_and_highway_environments). [Último acceso: 26 01 2019].
- [9] Infocomm Media Development Authority, «Dedicated ShortRange,» © Copyright of IMDA, Singapur, 2017.
- [10] J. Sánchez-Martínez, A. Vallejo-Mora, J. Cortés, F. Cañete y L. Díez,

- «Performance analysis of OFDM modulation on in-vehicle channels in the frequency band up to 100 MHz,» 2010.
- [11] Y. R. Gallo Guerra, «Moduladores digitales para la radio definida por software utilizando herramientas de diseño de FPGA,» 2013. [En línea]. Available: <http://dSPACE.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6812/Yakdiel%20Rodr%C3%ADguez-Gallo%20Guerra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 06 02 2019].
- [12] H. Rioja, «Modulación QAM,» [En línea]. Available: <https://aholab.ehu.es/users/inma/psc/tema3.pdf>. [Último acceso: 06 02 2019].
- [13] S. S. M. I. R. G. R. G. W. S. M. I. Xinzhou Wu, «Vehicular Communications Using DSRC: Challenges, Enhancements, and Evolution,» *EMERGING TECHNOLOGIES IN COMMUNICATIONS*, vol. 31, nº 9, pp. 399-407, 2013.
- [14] M. H. S. M. N. Okada, «Bit Error Rate Performances of Orthogonal Multicarrier Modulation Radio Transmission Systems,» *IEICE*, Vols. %1 de %2E76-B, nº 2, pp. 113-119, 1993.
- [15] Autotalks, «DSRC Technology,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.autotalks.com/technology/dsrc-technology/>. [Último acceso: 20 01 2019].
- [16] P. Security, «Car to car: coches conectados a Internet. ¿Serán la principal causa de accidentes del futuro?,» [En línea]. Available: <https://www.pandasecurity.com/spain/mediacenter/seguridad/car-car-coches-conectados-internet-seran-la-principal-causa-de-accidentes-del-futuro/>. [Último acceso: 23 01 2019].
- [17] K. Bilstrup, «A Survey Regarding Wireless Communication Standards Intended for a High-Speed Vehicle Environment,» Halmstad University, Sweden, 2007.
- [18] P. V. D. Khiarnar y D. K. Kotecha, «Performance of Vehicle-to-Vehicle Communication using IEEE 802.11p in Vehicular Ad-hoc Network Environment,» *International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA)*, vol. 5, nº 2, pp. 144-147, 2013.
- [19] K. Pahlavan y A. H. Levesque, *Wireless Information Networks*, USA: John Wiley & Sons, 2005.
- [20] Z. Zhongshan, Haiyan, Z. Haiyan, L. Yuanan, Member, IEEE y G. Jinchun,

- «Frequency Offset Estimation With,» *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, vol. 8, nº 3, pp. 171-173, 2004.
- [21] G. T. RAMOS LEÓN, «Diseño, implementación y simulación del algoritmo de Moose y Sliding Correlator a sistemas de portadora única en un canal inalámbrico para transmisión de imágenes,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/37262/D-103480.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [Último acceso: 03 02 2019].
- [22] J. M. Blacio Romero y D. I. Torres Morán, «Sincronización para comunicación D2D (device to device) en una red LTE implementado en USRP (Universal Software Radio Peripheral),» 2017. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/44801/D-CD106492.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [Último acceso: 13 01 2019].
- [23] D. V. McGehee , E. N. Mazzae y G. S. Baldwin, «DRIVER REACTION TIME IN CRASH AVOIDANCE RESEARCH: VALIDATION OF A DRIVING SIMULATOR STUDY ON A TEST TRACK,» [En línea]. Available: [https://copradar.com/redlight/factors/IEA2000\\_ABS51.pdf](https://copradar.com/redlight/factors/IEA2000_ABS51.pdf). [Último acceso: 24 01 2019].
- [24] S. T. Janssen, «The Determinants of Reaction Times: Influence of Stimulus Intensity,» 2015. [En línea]. Available: [https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/10032/Janssen\\_Scott.pdf;sequence=3](https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/10032/Janssen_Scott.pdf;sequence=3). [Último acceso: 24 01 2019].
- [25] I. M. G. Berardo y I. V. A. Irureta, «INFLUENCIA DE LA CORRECTA EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE PERCEPCIÓN Y REACCIÓN,» [En línea]. Available: [http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/spicologicos\\_fisiologicos\\_fp/Maria\\_Berardo.pdf](http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/spicologicos_fisiologicos_fp/Maria_Berardo.pdf). [Último acceso: 24 01 2019].
- [26] Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito, «Seguridad Vial: Velocidad y Distancias,» [En línea]. Available: <https://www.conaset.cl/programa/prepara-examen-conducir/seguridad-vial-velocidad-y-distancia/>. [Último acceso: 24 01 2019].
- [27] S.-K. Noh, P.-j. Kim y J.-H. Yoon, «Doppler effect on V2I path loss and V2V channel models,» 2016. [En línea]. Available:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7763324>. [Último acceso: 6 Febrero 2019].

# ANEXOS

## A. ANTENA

Antena tipo bocina en la frecuencia de operación 5.8GHz con una ganancia de 20dBi y un HBPW de menos de 10 grados con los materiales y mediciones usados para la estructura de aluminio



a. Antena en campo.

Variable name	Simulated Values	Real Values
da	43.35 mm	42 mm
db	25 mm	32 mm
H	32.2 mm	31 mm
dAA	318.86 mm	315.9 mm
dBB	260.36 mm	217.8 mm
RMH	450 mm	444.3 mm
altCoax	11mm	11.5 mm
thickness	1 mm	1 mm
Weight		0.8618 kg

b. Valores usados en su construcción

Medición real y simulada del S11 de la antena HORN (valor debe de ser menor a -10dB para concluir que efectivamente la antena trabaja a la frecuencia donde esté ubicado el sensor). En este caso la antena trabaja bien para las frecuencias de 5.8 Ghz y 6.1 Ghz.

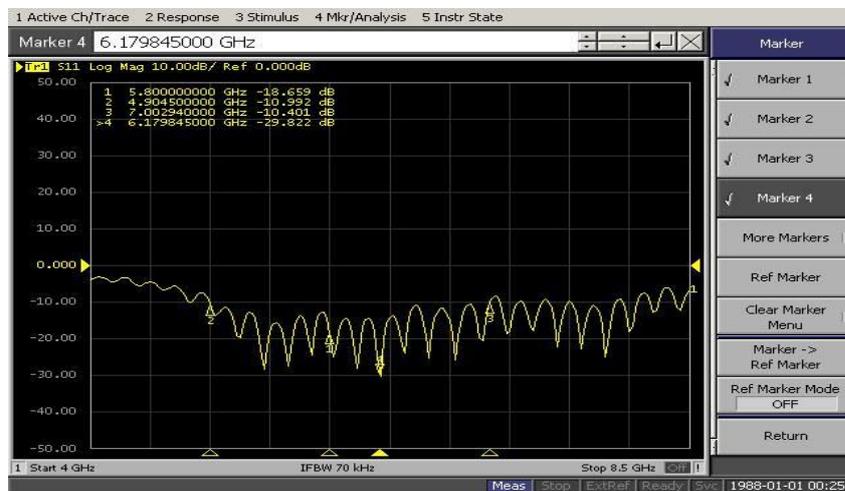


Figura: Medición de valores de la antena Horn

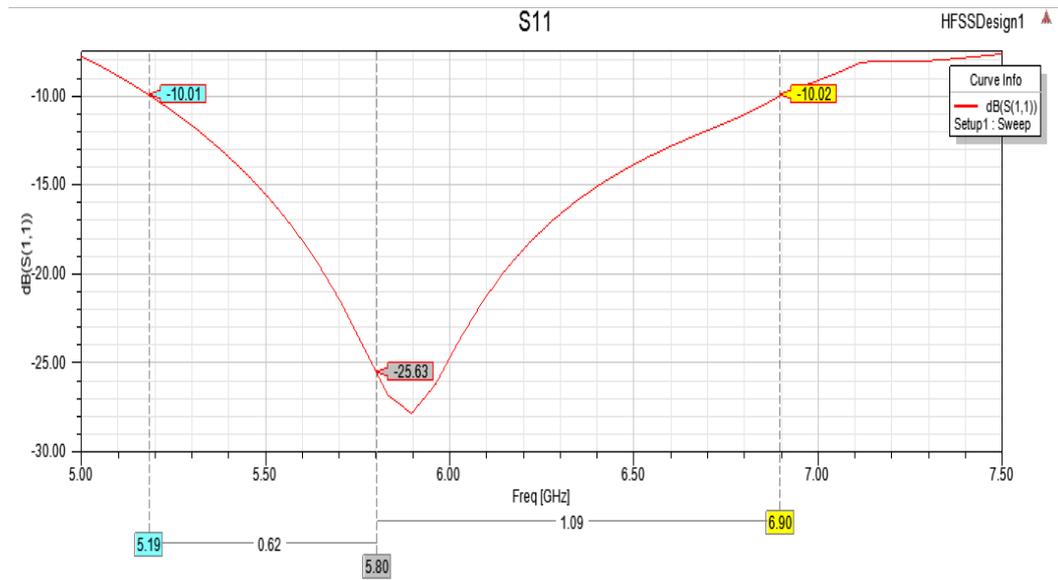


Figura: Valores simulados antena Horn

Medición real y simulada del ROE de la antena HORN (valor debe de ser menor a 2 para concluir que la antena está operando de manera correcta, tiene poca energía reflejada y no existe demasiadas pérdidas). Se observa que en la frecuencias de 5.8 Ghz es donde existen menos pérdidas – cursor 1.

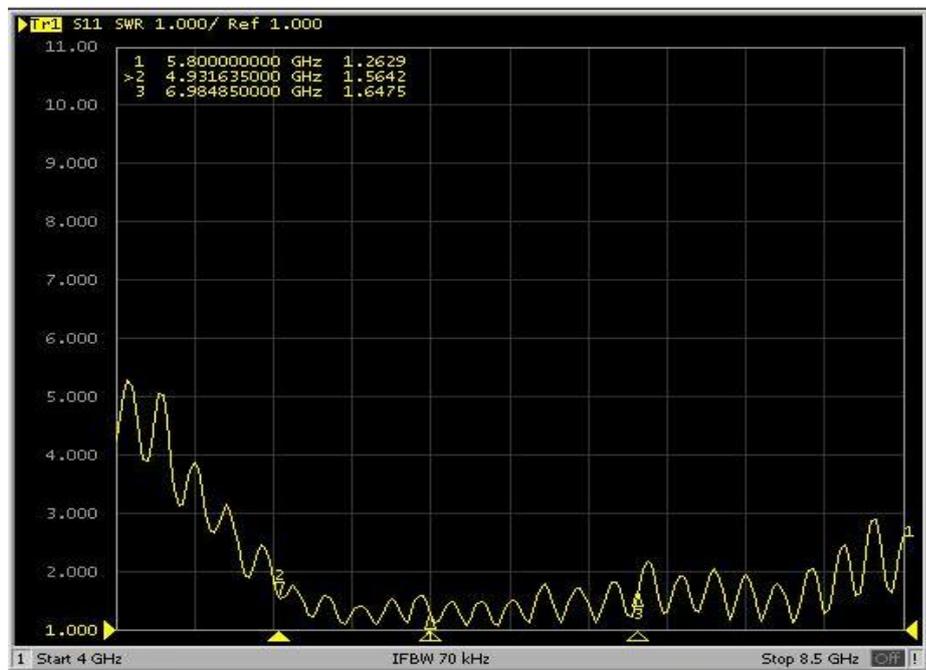


Figura: Medición ROE antena HORN

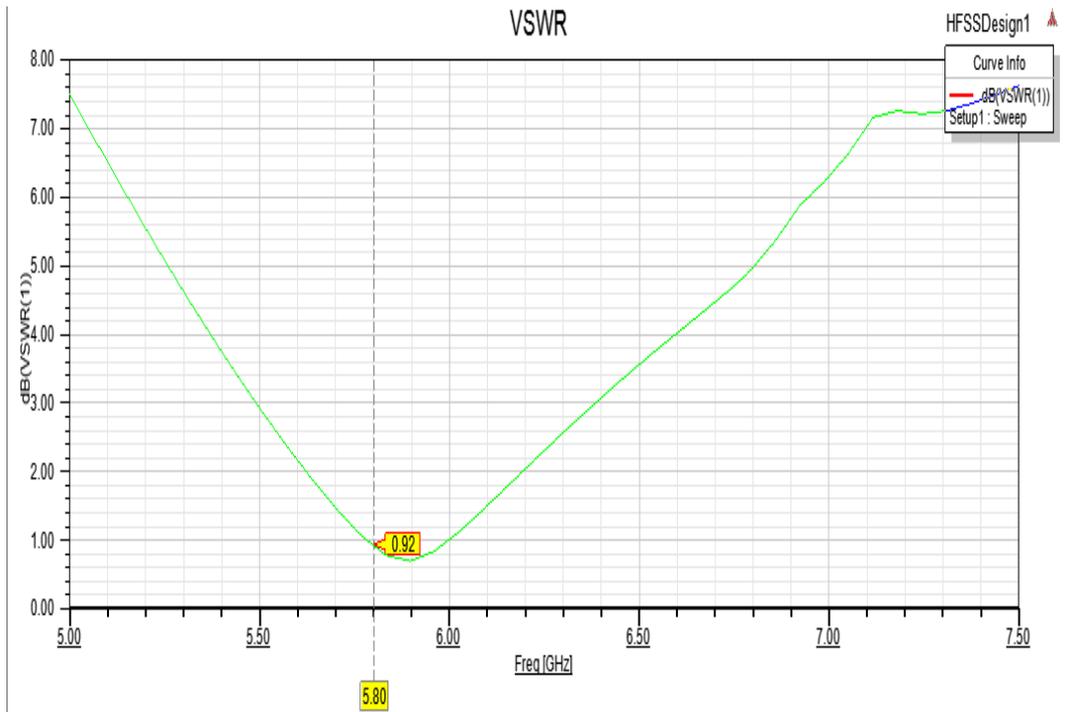


Figura: Medición ROE simulada de antena HORN

Rangos de frecuencias (el proyecto se realiza dentro de la banda SHF con 5.8GHz)

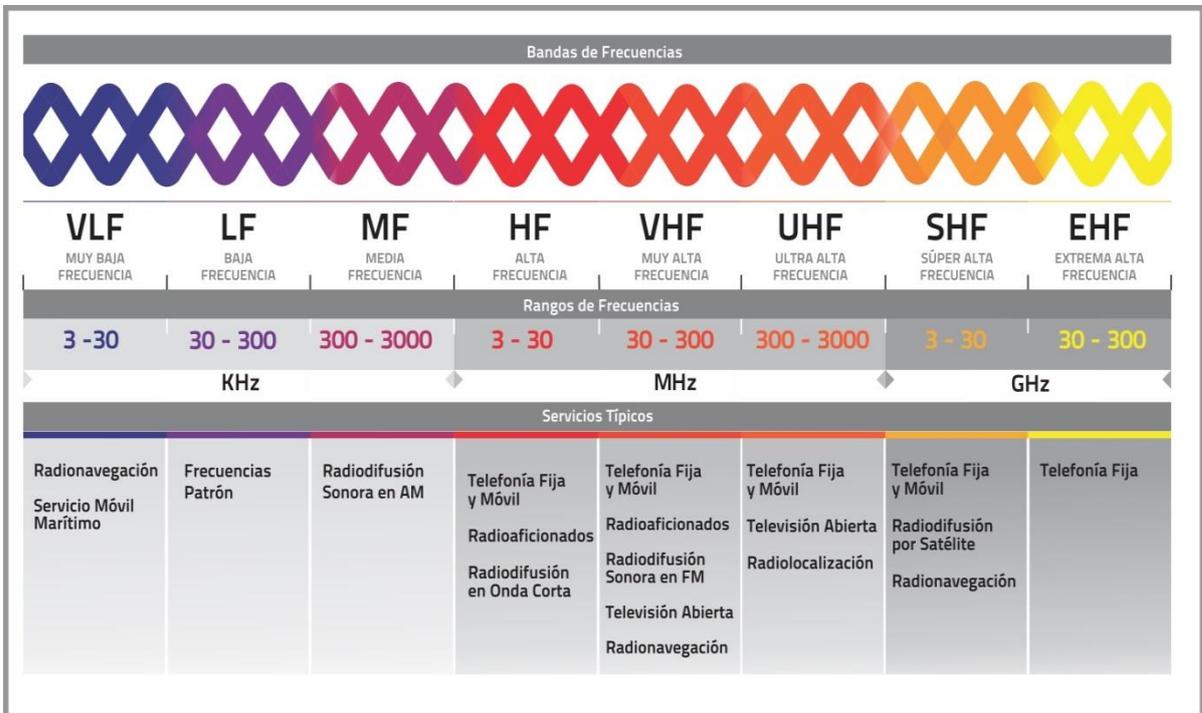


Figura: Rango de frecuencias

## B. Ficha de Datos USRP

### Transmisor

Rango de frecuencia	2.4 Ghz a 2.5 Ghz y 4.9 Ghz a 5.9 Ghz
Paso de frecuencia	<1 KHz
Máxima potencia de salida ( $P_{out}$ )	
2.4 Ghz a 2.5 Ghz	50 mW a 100 mW (17 dBm a 2. dBm)
4.9 Ghz a 5.9 Ghz	50 mW a 100 mW (17 dBm a 2. dBm)
Rango de ganancia <sup>1</sup>	0 dB a 35 dB
Rango de paso	0.5 dB
Exactitud de frecuencia <sup>2</sup>	2.5 ppm
Ancho de banda máximo instantáneo de tiempo real <sup>3</sup>	
Ancho de muestra de 16-bits	24 Mhz
Ancho de muestra de 8-bits	48 Mhz
Frecuencia de muestra I/Q máxima <sup>4</sup>	
Ancho de muestra de 16-bits	25 MS/s
Ancho de muestra de 8-bits	50 MS/s
Convertidor digital-analogo (DAC)	2 canales, 400 MS/s, 16 bit
DAC Rango dinámico sin espurio (sFDR)	80dB

### Receptor

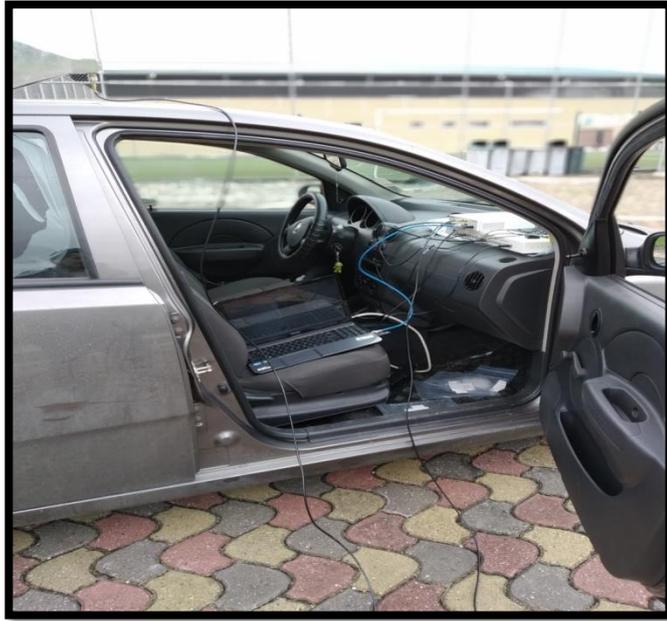
Rango de frecuencia	2.4 Ghz a 2.5 Ghz y 4.9 Ghz a 5.9 Ghz
Paso de frecuencia	<1 KHz
Rango de ganancia <sup>1</sup>	0 dB a 92.5 dB
Rango de paso	2 dB
Máxima potencia de salida ( $P_{out}$ )	-15 dBm

1. La potencia de salida resultante de la configuración de ganancia varía en la banda de frecuencia y entre los dispositivos.
2. La precisión de la frecuencia se basa en las especificaciones del vendedor del oscilador de cristal compensando por temperatura (TCxo) y no se mide. Alternativamente, puede incorporarse una fuente de referencia externa para proporcionar un reloj de referencia de frecuencia más preciso y lograr un mejor registro de frecuencia.
3. El ancho de banda instantáneo depende de muchos factores que incluyen, entre otros, la configuración de la red y el rendimiento de la computadora host. El rendimiento real de los datos puede depender del conjunto de chips.
4. La frecuencia de muestreo de I/Q depende de muchos factores incluidos entre otros, la configuración de la red y el rendimiento del equipo host. El rendimiento real de los datos puede depender del conjunto de chips.
5. La amplitud de la señal recibida que resulta del ajuste de ganancia varía en la banda de frecuencia y entre los dispositivos.

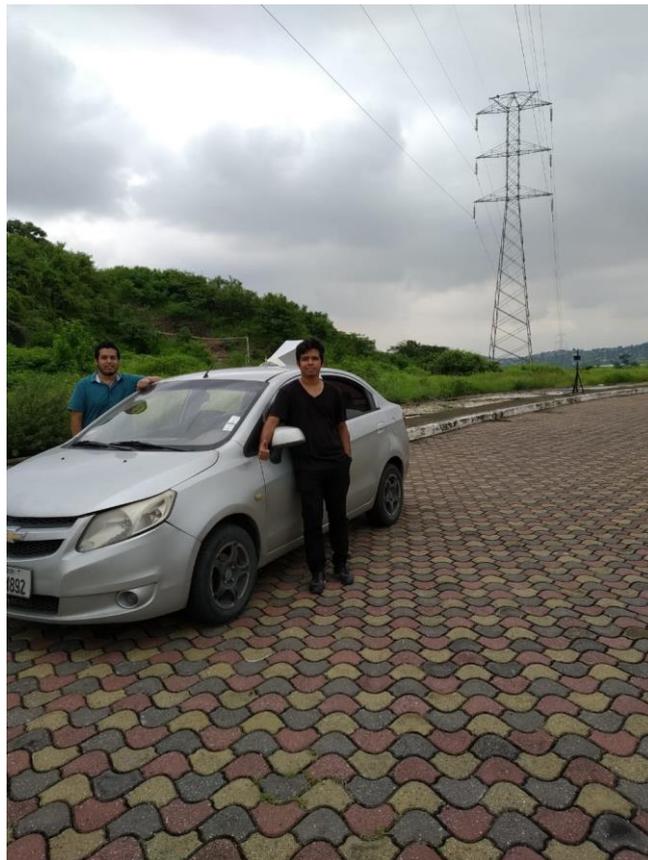
## C. FOTOS



**Figura: Configuración de equipos para pruebas de transmisión estática.**



**Figura: Adecuación de los equipos para la comunicación vehicular**



**Figura: Vehículo utilizado para las diferentes pruebas.**



**Figura: Pruebas de transmisión-recepción en movimiento.**



**Figura: Adecuación de la antena Horn para las diferentes pruebas.**