

**INFRAESTRUCTURA DE RED QUE PERMITA LA  
COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DIAGNÓSTICO  
DE FRENO DE DISCO ENTRE VEHÍCULOS, A  
TRAVÉS DE REDES VEHICULARES AD-HOC  
(VANET).**

Eduar Alfonso Celeita Diaz

Octubre de 2019.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de ciencias básicas, tecnología e ingeniería ECBTI

Ingeniería de Telecomunicaciones.

Bogotá, Colombia.

# **INFRAESTRUCTURA DE RED QUE PERMITA LA COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DIAGNÓSTICO DE FRENO DE DISCO ENTRE VEHÍCULOS, A TRAVÉS DE REDES VEHICULARES AD-HOC (VANET).**

**Autor: Eduar Alfonso Celeita Diaz**

Proyecto de investigación presentada como opción de grado para optar al título de:

Ingeniero de Telecomunicaciones

**Director: Ivan Camilo Nieto Sánchez**

Ingeniero electrónico especialista en pedagogía

Magister en ing. Electrónica

**Línea de Investigación:** Infraestructura tecnológica y seguridad en redes

**Grupo de Investigación:** Semillero de Investigación en Instrumentación y Teleinformática (SIIT)

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de ciencias básicas, tecnología e Ingeniería

Ingeniería de Telecomunicaciones

Bogotá, Colombia

2019



## RESUMEN

Las redes VANET (Vehicular Ad-hoc Networks) están compuestas a partir de nodos en movimiento, por tal razón la topología es altamente variable, que transmita los datos o información de manera eficiente y escalable en redes con topologías dinámicamente cambiantes como los son las redes. VANET, es un desafío que ha venido despertando un gran interés tanto en la comunidad científica como académica, estas redes tienen como propósito ayudar en una conducción vehicular más segura y cómoda, de tal manera que permitan reducir los índices de accidentalidad, aprovechar mejor los recursos, disminuir los tiempos de respuesta en un siniestro, mejorar la movilidad, entre muchas otras opciones. Son tantos los beneficios y oportunidades que pueden brindar las redes VANET, será fundamental para el desarrollo del proyecto sobre el diseño de una infraestructura de red que permita la transmisión de datos sensados a partir de un sistema de diagnóstico de freno de disco elaborado en cada uno de los diferentes aspectos que involucran dichas redes, uno de estos aspectos críticos es el relacionado con el enrutamiento, por tratarse de nodos en movimiento, sin soporte de infraestructura, los algoritmos diseñados o propuestos para el encaminamiento deben ser de código abierto y cuidadosamente analizados a través de métricas como el desempeño, retardo, entrega de paquetes, en entornos *unicast*, *multicast/geocast* y *broadcast*, con el fin de proveer confiabilidad al prototipo que se desea desarrollar.

**Palabras clave: VANET, IPV4, Enrutamiento, 802.11, topología.**

## ABSTRACT

VANET networks (Vehicular Ad-hoc Networks) are composed of nodes in motion, for this reason the topology is highly variable, which manages to transmit data or information in an efficient and scalable way in networks with dynamically changing topologies such as networks. VANET, is a challenge that has been awakening a great interest in both the scientific and academic community, these networks are intended to help in a safer and more comfortable driving, in such a way that reduce accident rates, make better use of resources, reduce the response times in an accident, improve mobility, among many other options. There are so many benefits and opportunities that VANET networks can offer, it will be fundamental for the development of the project on the design of a network infrastructure that allows the transmission of sensed data from a disc brake diagnostic system elaborated in each one. of the different aspects that these networks involve, one of these critical aspects is that related to routing, since they are

nodes in movement, without infrastructure support, the algorithms designed or proposed for routing must be open source and carefully analyzed to through metrics such as performance, delay, packet delivery, in unicast, multicast / geocast and broadcast environments, in order to provide reliability to the prototype to be developed.

**Keywords: VANET, IPV4, Routing, 802.11, topology.**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.</b> OBU (On Board Unit) .....	17
<b>Figura 3.</b> OBU 2 (On Board Unit) .....	17
<b>Figura 4.</b> RSU (Road Site Unit) .....	19
<b>Figura 5.</b> Placa de Arduino .....	21
<b>Figura 6.</b> Microcontrolador y hardware de Arduino .....	22
<b>Figura 7.</b> Pines modulo Arduino .....	23
<b>Figura 8.</b> Software Arduino .....	24
<b>Figura 9.</b> Diagrama de bloques de un sistema de comunicación bidireccional .....	26
<b>Figura 10.</b> Diagrama de bloques de un transmisor .....	27
<b>Figura 11.</b> Diagrama de bloques de un transmisor Heterodino .....	28
<b>Figura 12.</b> Diagrama de bloques de un Receptor .....	28
<b>Figura 13.</b> Modulación de datos analógicos de forma analógica en modo AM .....	30
<b>Figura 14.</b> Señal modulada en AM .....	31
<b>Figura 15.</b> Ejemplo de modulación en FM .....	32
<b>Figura 16.</b> Modulación en PM .....	32
<b>Figura 17.</b> Modulación ASK .....	33
<b>Figura 18.</b> Modulación FSK .....	34
<b>Figura 19.</b> Modulación PSK .....	34
<b>Figura 20.</b> Diagrama general para la propuesta .....	38
<b>Figura 21.</b> Diagrama caracterización de la red .....	39
<b>Figura 22.</b> Modulo Arduino Uno .....	40

<b>Figura 25.</b> Arquitectura y protocolo redes VANET .....	43
<b>Figura 26.</b> Diagrama diseño de la red .....	45
<b>Figura 27.</b> Modos de comunicación para los protocolos VANET .....	46
<b>Figura 28.</b> Adaptador transceptor NRF24L01 .....	47
<b>Figura 29.</b> Esquema electrónico Arduino Uno – Modulo RF .....	48
<b>Figura 30.</b> Diagrama prueba piloto .....	49
<b>Figura 31.</b> Prototipo desarrollado con adaptador NRF24L01 .....	50
<b>Figura 32.</b> Compilación código nodo emisor .....	51
<b>Figura 33.</b> Compilación código nodo receptor .....	51
<b>Figura 34.</b> Puerto COM4, Vista consola nodo transmisor .....	52
<b>Figura 35.</b> Puerto COM3, Vista consola nodo receptor .....	52
<b>Figura 36.</b> Configuración tasa de transmisión .....	53
<b>Figura 37.</b> Nodo emisor alimentado con una power bank .....	54
<b>Figura 38.</b> Perímetro de pruebas reales .....	54
<b>Figura 39.</b> Perdida de paquetes al 10% .....	55
<b>Figura 40.</b> Perdida de paquetes al 50% .....	55
<b>Figura 41.</b> Perdida de paquetes al 100% .....	56
<b>Figura 42.</b> Grafica de la potencia de señal con línea de vista .....	56
<b>Figura 43.</b> Trayecto segunda prueba .....	57
<b>Figura 44.</b> Perdida de envío de paquetes .....	58
<b>Figura 45.</b> Grafica de la potencia de señal sin línea de vista .....	58

**Figura 48.** Prototipo sin el adaptador NRF24L01 .....

60

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Programa para la metodología .....	38
<b>Tabla 2.</b> Información del canal inalámbrico V2X, IEEE 802.11p .....	44
<b>Tabla 3.</b> Principales características de las tecnologías inalámbricas para redes VANET	46
<b>Tabla 4.</b> conexión de pines modulo NRF24L01 .....	48

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>IV</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>Capítulo 1 GENERALIDADES DEL PROYECTO</b> .....	<b>12</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo General.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
1.3. JUSTIFICACIÓN	14
<b>Capítulo 2 MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>15</b>
2.1 Redes ad-hoc	15
2.2 Tipos de redes ad-hoc	15
2.3 Conceptos y generalidades redes vehiculares ad-hoc VANET	16
2.4 Dispositivos de la red VANET	18
2.4.1 OBU (On Board Unit) .....	18
2.4.2 AU (Aplication Unit).....	19
2.4.3 RSU (Road Site Unit) .....	20
2.5 Aplicaciones para redes vehiculares	22
2.5.1 Seguridad vial .....	22
2.5.2 Eficiencia vial .....	22
2.5.3 Comerciales y de información .....	22
2.6 Arduino	23
2.6.1 Hardware .....	24
2.6.2 Software .....	26
2.7 Señales de Radio Frecuencia RF	27
2.7.1 Transistor .....	28
2.7.1.1 Transistores homodinos .....	29
2.7.1.2 Transistores heterodinos.....	29
2.7.2 Receptor .....	28
2.7.2.1 Receptores homodinos.....	30
2.7.2.2 Receptores heterodinos .....	31
2.7.3 Transmisiones de datos .....	31
2.7.3.1 transmisión analógica.....	31
2.7.3.1.1 Modulación AM .....	32
2.7.3.1.2 Modulación FM.....	33
2.7.3.1.3 Modulación PM.....	34

2.7.3.1.2 Modulación ASK.....	35
2.7.3.1.3 Modulación FSK .....	36
2.7.3.1.2 Modulación PSK .....	36
2.7.2 transmisión digital .....	37
<b>Capítulo 3 PROPUESTA Y CONCEPCION PARA LA SOLUCION .....</b>	<b>39</b>
3. 1 Programa de la metodología	40
<b>Capítulo 4 METODOLOGIA DEL PROYECTO .....</b>	<b>41</b>
4.1 Caracterización de la red	41
4.1.1 Especificaciones técnicas.....	41
4.1.2 Equipos .....	42
4.1.2.1 Modulo Arduino Uno.....	42
4.1.2.2 Modulo RF .....	43
4.1.3 Protocolos	44
4.1.3.1 Estándar 802.11p.....	45
4.2 Diseño de red	46
4.2.1 Búsqueda de redes ad-hoc y redes VANET.....	47
4.2.2 Uso del módulo Arduino y del módulo RF.....	49
4.2.3 Diseño electrónico.....	50
4.2.4 Algoritmo de la solución.....	51
4.3 Prueba piloto	52
4.3.1 Pruebas iniciales y ensayo del prototipo.....	52
4.3.2 Modulación digital de la señal.....	54
4.3.3 Comunicación entre los nodos .....	54
4.4 Implementación en vehículos y corrección de errores	56
4.4.1 Pruebas de distancia.....	56
4.4.1.1 Comunicación con línea de vista .....	56
4.4.1.2 Comunicación sin línea de vista.....	60
4.4.2 Corrección de fallas .....	61
4.4.2.1 Planteamientos hacia posibles mejoras .....	63
4.4.1.2 Comunicación sin línea de vista.....	60
<b>Conclusiones.....</b>	<b>65</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo 1.....</b>	<b>70</b>

## Introducción

En la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, se está desarrollando un proyecto macro perteneciente a el semillero de investigación en instrumentación y teleinformática (SIIT), cuya iniciativa es el diseño de un dispositivo para el sensado y diagnóstico de freno de disco obteniendo una alerta temprana sobre fallas y anomalías detectadas, reduciendo la accidentalidad para vehículos particulares desde la información tomada sobre las fallas y anomalías detectadas; este desarrollo incluye varias disciplinas para completar su diseño y desarrollo, incluye algunos programas como ingeniería electrónica, ingeniería mecánica y en este caso la ingeniería de telecomunicaciones donde se realizara un gran aporte pues como lo demanda el diseño, mediante este documento se dará a conocer detalladamente cual será la infraestructura de red que necesaria para que los datos tomados del modelo de sensado a partir del sistema de diagnóstico de freno de disco sean tanto transmitidos como recibidos entre vehículos en una zona de cobertura determinada implementando redes de nueva generación (VANET), la presente propuesta que mediante este tipo de redes de telecomunicaciones especialmente en redes vehiculares, complementando el proyecto macro que pretender identificar y gestionar alertas de movilidad y tráfico en tiempo real.

Hace algún tiempo ha surgido un nuevo concepto de tecnología de nueva generación, abarcando temas como la seguridad vial, transporte eficiente y el impacto ambiental haciendo que el transporte también se incluya en programas de energías renovables, la cual busca adaptarse de manera eficaz y contundente, que a su vez logre entregar grandes utilidades que se pueden obtener planteando soluciones en áreas importantes como lo son los sistemas inteligentes de transporte relacionándose a su vez con las tecnologías de la información.

Las redes Vehiculares ad-hoc (VANET), es el concepto que ha surgido como nueva alternativa para hacerle frente y combatir problemas de movilidad; es una solución a diferentes programas de los sistemas inteligentes de transportes ambientales, mediante sus aplicaciones y servicios contribuyen a los que se reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub> y demás efectos de gases invernadero, a su vez impulsando la reducción en los consumos de energía, se presenta como una solución para el mejoramiento y optimización del uso de la infraestructura vial y poder disminuir los índices de accidentalidad y fatalidades producidas por accidentes de tránsito.

A diferencia de otras tecnologías inalámbricas, las redes VANET cuentan con características que ayudan a la utilización del ancho de banda, la confiabilidad el throughput (tasa máxima de transferencia efectiva para la entrega exitosa de paquetes) y la velocidad de los nodos, además están enfocadas a poder brindarle la mejor información al conductor apoyándose en las redes de sensores ya existentes en varios

vehículos de última tecnología como GPS, velocímetro, sensores de parqueo, etc. Con base de las características anteriormente nombradas, se han adelantado investigaciones a nivel científico y académico con el fin de desarrollar modelos de transporte que logren realizar predicciones en el comportamiento de los vehículos en las vías de Colombia y que se adapten a los escenarios de movilidad teniendo en cuenta algunas cualidades que se han observado en las carreteras colombianas como manejo ofensivo y agresivo por parte de los conductores, vehículos cuyos modelos son muy antiguos, etc. El presente proyecto forma parte de una solución real que contribuirá a la investigación para el mejoramiento de sistemas inteligentes de transporte y prevención en accidentes de tránsito mejorando la cuantificación de datos relevantes.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES DEL PROYECTO

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En una ciudad como Bogotá la cual cuenta con más de diez millones de habitantes, uno de los datos más relevantes y de gran trascendencia son los índices de accidentalidad, según la secretaria de tránsito y transporte de la ciudad indica que las principales causas son: no respetar las señales de tránsito, no respetar las distancias entre vehículos, realizar maniobras peligrosas e imprudentes y fallas mecánicas. Según el portal web [conexioncapital.co](http://conexioncapital.co), en los primeros dos meses del año 2019 se registraron más de 2.000 accidentes de tránsito, a su vez se da a conocer los corredores viales con más incidentes reportados como la Avenida NQS, Avenida 1° De mayo, Avenida Boyacá y la Avenida Ciudad de Cali.

Además de las campañas de prevención que siempre se han gestionado por parte las entidades control y las autoridades de tránsito, se vienen desarrollando sistemas preventivos, tecnológicos e inteligentes pues de acuerdo con las investigaciones realizadas por la comunidad científica y estudiantil se han establecido ciertas características de las redes VANET (Vehicular ad-hoc Network) que sean capaces de disminuir los índices de accidentalidad desde la prevención temprana y proactiva de las fallas mecánicas, dando soluciones a varios planteamientos mediante este tipo de redes con su facilidad al momento de ejecutarse un enrutamiento dinámico facilitando el intercambio de datos entrantes y salientes de los nodos en movimiento instalados en los vehículos obligando a tener que construir una topología que soporte una comunicación tan cambiante y que brinde alta fidelidad en el transporte de paquetes aleatorios, ya que por ser redes de tipo ad-hoc que no dependan de una infraestructura se convierte en redes de bajo costo y asequibles para su utilidad. Aprovechando estos avances se provee una solución al momento de implementar una infraestructura de red económica y capaz de transmitir variables y demás datos de gran importancia para los sistemas de medición que lo requieren, aportando y contribuyendo en gran medida al desarrollo de una tecnología para futuros proyectos e investigaciones sobre todo con los protocolos a nivel de capa de red que sean aprovechables y ofreciendo enormes utilidades en escenarios reales.

De acuerdo con las apreciaciones anteriores se concluye el planteamiento de pregunta de investigación:

**¿Cómo diseñar una infraestructura de red que permita la comunicación del sistema diagnóstico de freno de disco entre vehículos a través de redes VANET?**

## **1.2 OBJETIVOS:**

### **1.2.1 Objetivo general:**

Diseñar una infraestructura de red *ad-hoc* de bajo costo para que transmita la información y los datos recolectados por el sistema diagnóstico de freno de disco y así llevar a cabo su comunicación entre los vehículos a través una red VANET.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los requerimientos técnicos de la red y los elementos necesarios que permitirán la comunicación del sistema diagnóstico de freno de disco para que se identifiquen de los recursos, datos, información y presupuesto requerido.
- Codificar los datos tomados del sistema diagnóstico de freno de disco como la temperatura para su posterior análisis mediante el monitor COM del IDE de Arduino.
- Diseñar el proceso y la infraestructura de la red que permita la comunicación de los vehículos utilizando tecnología VANET (Vehicular ad-hoc) continuando con el procedimiento del montaje del sistema y sus dispositivos característicos.
- Validar el sistema en los vehículos, donde se verificará su funcionamiento mediante pruebas que faciliten la identificación y corrección posibles errores.

### **1.3 Justificación:**

Las redes Vehiculares AD-HOC (VANET) mediante los experimentos realizados e investigaciones académicas desarrolladas ha generado múltiples intereses en diversos sectores, con el apoyo de esta innovadora tecnología se desea contribuir significativamente al proyecto macro del semillero de investigación SIIT (semillero de Investigación en Instrumentación y Teleinformática) complementando la parte de las comunicaciones dentro de su desarrollo, porque se busca transmitir a través del diseño una infraestructura de redes inalámbricas con costos económicos y suficiente cobertura la información tomada de la red de sensores que compone el freno de disco, logrando compartir entre vehículos datos del estado del mismo dando a conocer variables como el desgaste, temperatura, corrosión, etc. Pues así complementar un sistema preventivo de movilidad con grandes utilidades que ayude a reducir los niveles de accidentalidad en la ciudad de Bogotá D.C, fallas mecánicas y el no respetar las distancias (al menos 2 metros según el código de tránsito de Colombia) han ocasionado alrededor de 1.100 accidentes tránsito en los primeros meses de año 2019 de acuerdo con cifras oficiales de la secretaria de tránsito y transporte de la ciudad.

El resultado del proyecto es el diseño y puesta en marcha de la infraestructura de red con la metodología seleccionada para la transmisión de los datos sensados por el sistema diagnóstico de freno de disco, que aporta al desarrollo de redes VANET dentro de entornos reales no simulados interoperables y multiplataforma. Se espera generar un impacto a nivel científico donde el resultado de la investigación orienta como modelar y diseñar una red VANET eficaz y de bajo costo que puede ser implementada a diferentes sistemas de diagnóstico contribuyendo a la movilidad y a la reducción y prevención de accidentes de tránsito.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1 Redes ad-hoc:**

Es un tipo de redes inalámbricas descentralizadas, las cuales no dependen de una infraestructura física para su funcionamiento donde cada nodo es autónomo y participe en el enrutamiento de los datos hacia demás nodos, cumplen el mismo rol dentro de la red que a su vez capaces de enlazarse con más dispositivos de en el rango de alcance, caracterizada por mantener comunicaciones y actividades de capa 2, el cual no soportan protocolo de capa 3 por ejemplo como el direccionamiento IP, el cual esta regido por el protocolo el 802.11 que define las propiedades para poder establecer conectividad entre los dispositivos inalámbricos, dicha comunicación se comprende de saltos para hacer que la información desde el emisor pueda ser recibida por el transmisor en escenarios de largas distancias, entre más lejos estén las dos partes más saltos se deberán de hacer y por ende se expone a que se aumenten los tiempos de respuesta y que la información se pierda o se corrompa en cada salto, para ello solo se requieren un par de tarjetas inalámbricas preferiblemente de la misma tecnología y con el respectivo software de configuración del fabricante de cada dispositivo.

#### **2.2 Tipos de redes ad-hoc:**

Las redes ad-hoc han demostrado ser de fácil instalación e implementación, una ventaja es la mejora de su escalabilidad con respecto a demás redes inalámbricas administradas, pero una de sus únicas limitantes es el poco rango de cobertura. Sin embargo, a este tipo de redes desde hace un tiempo se les ha sacado provecho para el desarrollo de aplicativos que contribuyan en situaciones de emergencia, desastres naturales, de información, entre otros han sido de una gran y rápida utilidad por su rápido despliegue, configuración; por sus protocolos dinámicos, adaptables y fácil uso son:

- Redes MANET (Mobile ad-hoc Networks)
- Redes VANET (Vehicular ad-hoc Networks)
- Redes inalámbrica Mesh
- Redes domésticas
- Redes Bluetooth
- Redes de sensores.

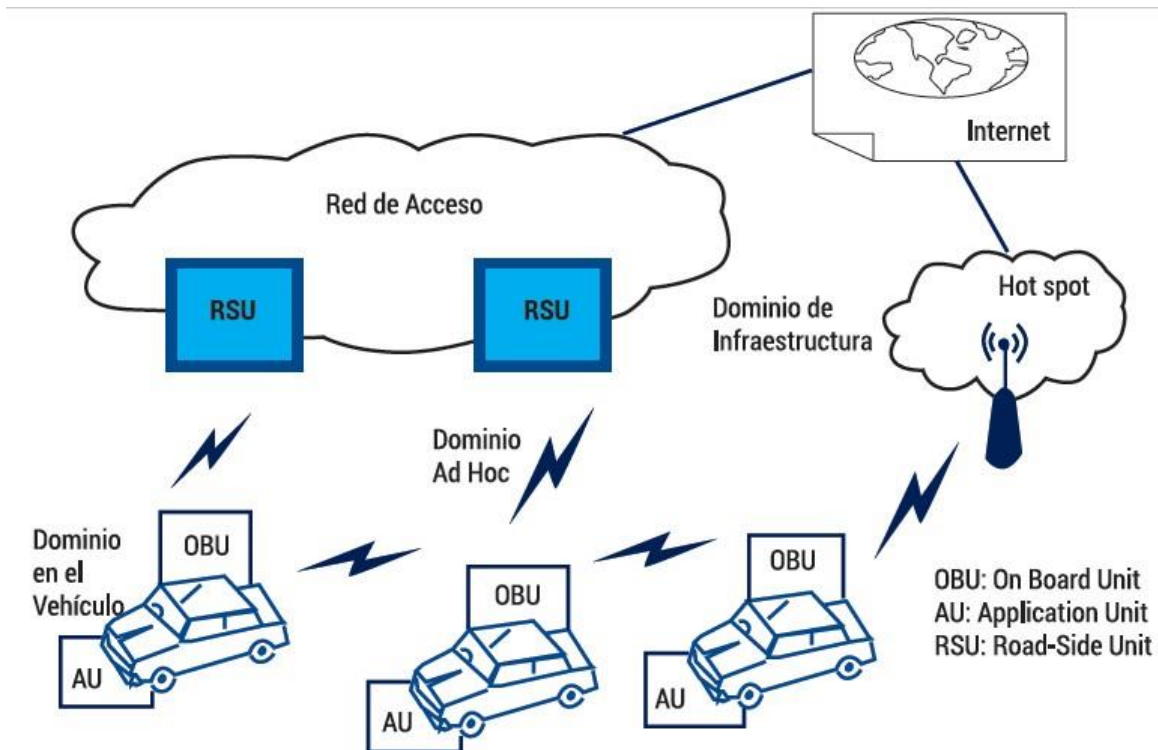
Así mismo los requisitos técnicos también suelen ser muy básicos dependiendo los recursos de los nodos, los cuales en estos casos se conectan mediante enlaces limitados por las capacidades y condiciones de la memoria, potencia de transmisión y potencia de cálculo, se le agregan también las características de conexión como la fiabilidad, la cual está muy relacionada con la duración de la conectividad, pérdidas de la señal, relación señal a ruido e interferencias, las cuales son muy comunes por la competencia de control al medio que sucede cuando se intenta transmitir dos nodos o más a la vez ocasionando colisiones.

## **2.2 Conceptos y generalidades redes vehiculares ad-hoc VANET**

Tecnología proveniente de las redes MANET (Mobile Ad-hoc network) aplicadas especialmente a las comunicaciones entre vehículos con un alcance de alrededor de los 1000 metros, pueden tener uno o más saltos y no necesitan de una infraestructura de red ni un control centralizado, es un sistema de transporte inteligente (STI) clave para el mejoramiento de la movilidad en grandes áreas urbanas, seguridad y estado de tráfico en las carreteras y se compone de un conjunto de vehículos los cuales funcionan como nodos que retransmiten datos de manera dinámica y que por su movimiento tienden a cambiar su topología cuentan con las propiedades de multisalto, conservación de la energía, la escalabilidad y la seguridad, se pueden desarrollar distintas aplicaciones que permiten la interacción entre los conductores en tiempo real intercambiando información acerca del estado de las vías, situaciones peligrosas y la prevención de accidentes. Sus aplicaciones se basan en proyectos para sistemas de transporte inteligente como la seguridad vial, la eficiencia vial, sistemas comerciales y de información colaborando con los conductores a identificar y conocer el estado del tráfico, estado de las vías, condiciones climáticas, servicios y datos que mejoran la comodidad en los viajes y toda la información de localización de los sistemas de navegación basados en GPS con el fin de optimizar la seguridad vial. Su tecnología y estandarización se basa en comunicaciones dedicadas a corto alcance, comprendiendo normas y reglas de la IEEE, donde especifica aspectos lógicos y físicos de la gestión de la red y aspectos de seguridad a tener en cuenta como la privacidad de los conductores, la autenticación de la información, la confidencialidad y la integración de los datos y de la información.

La estructura principal de las redes VANET que se encuentran en los nodos están compuestas por los siguientes elementos básicos: el primer dispositivo se trata de una OBU (On Board Unit) instalado dentro

del nodo el cual se encarga de intercambiar información con demás nodos o vehículos y con demás puntos inalámbricos estacionarios, el segundo dispositivo se trata de la AU (Aplicación Unit), funciona como una interfaz o capa de aplicación entre el usuario y el nodo el cual muestra los datos e información tomada, recibida y transmitida, como lo puede ser un display, un smartphone o pantalla incluida en el nodo que a su vez se conectan con las OBU; por último, está la RSU (Road Side Unit), se trata de los Access Point ubicados a lo largo de las carreteras o vías encargado de enlazarse con los nodos o permitir la comunicación entre ellos.



**Figura 1.** Dominios y componentes de una red vehicular.

**Fuente:** Orozco, Chavarro & Calderón, 2013.

Su comunicación se caracteriza porque puede ser transmitida Inter vehicularmente o vehículo a vehículo (V2V), de vehículo a puntos fijos o de infraestructura, la propiedad multisalto cuenta con un corto alcance de 1000 metros y sus radiocomunicaciones suelen tener cierto grado de complejidad ya que está expuesto frecuentemente a interrupciones en sus enlaces para la propagación de la señal.

Las redes VANET cuentan con una topología totalmente dinámica, es una de sus principales características para brindar una alta eficacia al conectar nodos en movimiento a diferentes velocidades y

garantizar unas comunicaciones constantes, con baja latencia y evitar cualquier tipo de interrupciones, para ello este tipo de redes brinda canales variables en tiempo y frecuencia, pues los ambientes en donde se encuentran recorriendo los nodos que las redes VANET están intentando comunicar, hay una variedad de obstáculos como edificios e infraestructura de distinta índole, que al final vienen perjudicando la calidad de las señales inalámbricas, degradando su intensidad y aumentando los tiempos de respuesta, latencia y secuencialmente también se verían altamente deteriorada. Los nodos son altamente autónomos, pues cuentan con la libertad de enviar y recibir paquetes como al momento de enrutarlos y conectarse al medio, los dispositivos como las OBU y las AU no presentan problemas de energía, pues estos están conectados a la batería del vehículo contando casi que con energía ilimitada convirtiendo la operación de los dispositivos y los nodos en un sistema interrumpible.

Como característica, la información puede ser transmitida directamente, de manera inter vehicular como vehículo a vehículo (V2V) también vehículo a infraestructura (V2I), en este caso dicha confirmación se intercambia con dispositivos fijos como peajes, puntos de acceso a internet o dispositivos como VSN (Vehicular Sensor Network) el cual registra en tiempo real datos como la temperatura, polución, movimiento, presión y demás variables que serán procesadas a través de las aplicaciones y generan un mensaje de difusión transmitida por medio de la red VANET. La topología es variable debido al cambio de velocidades de los vehículos por lo tanto son capaces de organizarse automáticamente y auto administrarse. La propiedad de multisalto cuenta con la característica de que a pesar de que las redes VANET tienen un corto alcance (*1000m*) los vehículos pueden comunicarse y transferir información, aunque estén separados por distancias considerables mediante saltos a través del enrutamiento entre los mismo nodos conectados a la red hasta llegar al dispositivo final; la radio comunicación de la red VANET suele tener cierto grado de complejidad ya que cuenta con frecuentes interrupciones de los enlaces y problemas de entorno para su propagación.

## **2.3 Dispositivos de la red VANET**

**2.4.1 OBU (On Board Unit):** es el dispositivo que se encarga de recopilar la información, es capaz de procesar los datos y a su vez tiene la característica de transmitirlos de manera inalámbrica a otros nodos o a otros dispositivos de la red VANET como las RSU o estaciones centrales lo que se conoce como comunicaciones (V2V) teniendo en cuenta la aplicación y utilidad que se le esté dando en el momento según la infraestructura; en su composición tiene varios módulos que conjuntamente logran su correcto

funcionamiento, en primer lugar, cuenta con el módulo central, luego está el módulo de comunicaciones inalámbricas, el módulo GPS y por último está el módulo de interfaz donde se realiza la interacción del conductor con el dispositivo y por último cuenta con una moderna plataforma que funciona con software basado en Linux como sistema operativo.

Posee una alta capacidad computacional, preparado para algunas ocasiones donde pueda recibir alto flujo de tráfico de red, realizar a la vez distintas tareas de manera simultánea, como streaming de video, enrutamiento y conexiones con latencia lo posiblemente bajas sobre todo al momento de ejecutar aplicaciones críticas como de seguridad entre otras.



**Figura 2.** OBU (On Board Unit)

**Fuente:** Orozco, Chavarro & Calderón, 2013.

**2.4.2 AU (Application Unit):** el nivel de complejidad de este dispositivo comparado con el OBU es mucho más sencillo, pues este solo se encarga de mostrar toda la información que se está procesando en el momento, como estadísticas y probabilidades según la ocasión; también las tareas computacionales y de servicios que en el momento la OBU está realizando. Es importante la configuración que se le pueda dar al AU, pues puede estar presta a la comodidad, gustos y utilidad que le pueda dar el usuario, estamos hablando de tan solo un display que se puede conectar y adaptar al vehículo, puede ser una pantalla led de diferentes dimensiones o hasta un teléfono móvil todo con el fin de que el usuario logre observar la

información.



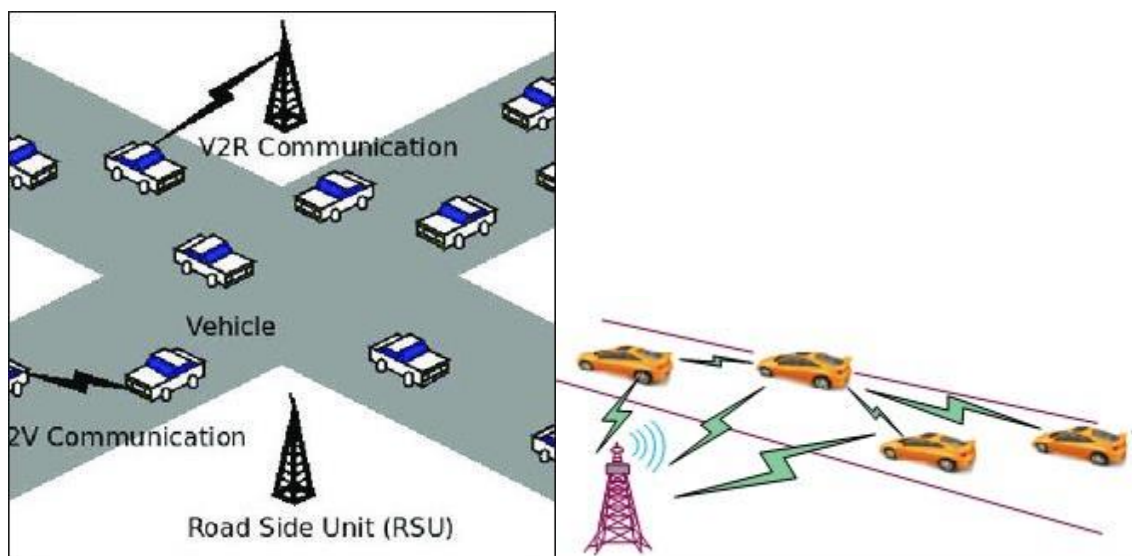
*Figura 3.* OBU 2 (On Board Unit)

*Fuente:* Orozco, Chavarro & Calderón, 2013.

**2.4.3 RSU (Road Site Unit):** forma parte del dominio de la infraestructura de las redes VANET, a comparación con las OBU, estos dispositivos se encuentran ubicados sobre las carreteras o vías por donde transiten los nodos, capaz de realizar conexiones V2V y V2I de manera inalámbrica, estos dispositivos son utilizados para enrutar paquetes de manera eficiente y confiable en. El sistema funciona mediante el uso de vehículos para transportar y reenviar mensajes desde un vehículo de origen a una RSU cercana, y luego, si es necesario, enrutar estos mensajes a través de la red, y finalmente enviarlos desde una RSU al vehículo de destino, es fundamental para usuarios muy distantes que desean comunicarse utilizando sus OBU. Se lleva a cabo un extenso análisis matemático para estudiar el rendimiento del sistema en diferentes condiciones de red.

La RSU se usa para comunicaciones de múltiples saltos en beneficio del incremento del rango y confiabilidad de las comunicaciones debido a la mayor altura de la antena. El papel utiliza el protocolo de enrutamiento GSR compatible con la topología. Inicialmente, con este enfoque, se obtiene una topología de mapa de ruta donde los nodos están conectados y las intersecciones son puntos de anclaje. Siguiendo la métrica empleada por el considerado protocolo de enrutamiento compatible con la topología, se calculan los pesos de la gráfica. Las RSUs son conectadas directamente a través de una red troncal, las RSU pueden realizar la representación de los nodos de infraestructura donde cuenta con la función en el cálculo de la ruta más corta, mientras que los vehículos perciben todas las RSU como un nodo gráfico. Al final, cuando una RSU recibe un paquete, este último será transferido a la siguiente

RSU. La nueva RSU reenviará el paquete al nodo. Por otro lado, esta técnica no garantiza encontrar la ruta corta desde el origen hasta el destino utilizando una Red de gráficos que incluye todas las RSU como nodo gráfico. Los nodos estáticos en las intersecciones de las carreteras para ayudar a transmitir datos. Estos nodos estáticos tienen un mapa de calles digital, basado en el cual se calcula la trayectoria para el reenvío de paquetes. Se obtiene el camino, debido a un gráfico del mapa de calles, donde tenemos el conjunto de los nodos estáticos y el conjunto de las carreteras dirigidas. SADV está compuesto por tres módulos SNAR (enrutamiento asistido por nodo estático): maneja para almacenar y reenviar datos a través de una ruta óptima hasta la eliminación de vehículos para reenviar el paquete al siguiente nodo estático. LDU (Link Delay Update): mide el retraso entre las intersecciones. Para darse cuenta de esto, se inserta un solo campo en el encabezado del paquete. La información se encapsulará en el mensaje de actualización de demora, y se difundirá a los demás nodos mediante un nodo estático solamente. MPPD (Difusión de datos de rutas múltiples): cuando el paquete llega a una intersección, este último lo envía a sus nodos estáticos adyacentes. Las RSU son capaces de proporcionar el acceso a Internet, además tienen el potencial de brindar una oportunidad para mejorar el enrutamiento en redes vehiculares debido a la mayor altura de la antena, lo que aumenta el alcance y la confiabilidad de las comunicaciones V2I. Estas son las características se pueden utilizar estableciendo una ruta sólida para el reenvío de paquetes y pueden desempeñar un papel para la carga y el equilibrio del tráfico para evitar la congestión de la red, principalmente en el caso de mensajes de emergencia. El uso de RSU demuestra ser muy importante y merece ser desarrollado para aprovechar al máximo su potencial en el proceso enrutamiento.



**Figura 4.** RSU (Road Site Unit).

## **2.5 Aplicaciones para redes vehiculares:**

Las redes VANET suponen una oportunidad para el desarrollo de las aplicaciones que permiten mejorar las condiciones de transporte y tráfico vehicular mediante sistemas colaborativos basados en comunicaciones V2X. Según la función, las aplicaciones vehiculares se clasifican en tres (3) categorías:

**2.5.1 Seguridad vial:** su prioridad consiste en reducir los accidentes, daños y lesiones notificando mediante mensajes de alarma los eventos que se presenten en las vías y en las carreteras, además de brindar información de los vehículos cercanos; previene colisiones ya que la ESU detecta el riesgo y advierte a la OBU de cada vehículo cercano, brinda alarmas de ubicación peligrosa movimientos de los vehículos como cambio de línea y por otra parte realiza las notificaciones al conductor sobre señales de tránsito y brinda asistencia al conductor mediante el recorrido.

**2.5.2 Eficiencia vial:** tiene como prioridad mejorar las condiciones de tráfico de las vías, gestionando y monitoreando el tránsito de los vehículos y el estado de las vías; algunas de sus utilidades son la gestión del tráfico que a partir de las RSU informa acerca del flujo vehicular y los sistemas de transporte como semáforos y peajes. El monitoreo del tráfico es otra de sus principales aplicaciones, pues se encarga de procesar y enviar la información tomada acerca de cualquier novedad a los conductores y a las autoridades de tránsito sobre el estado y condiciones de las vías, control de velocidad, guía de ruta y navegación en el seguimiento y localización de los vehículos.

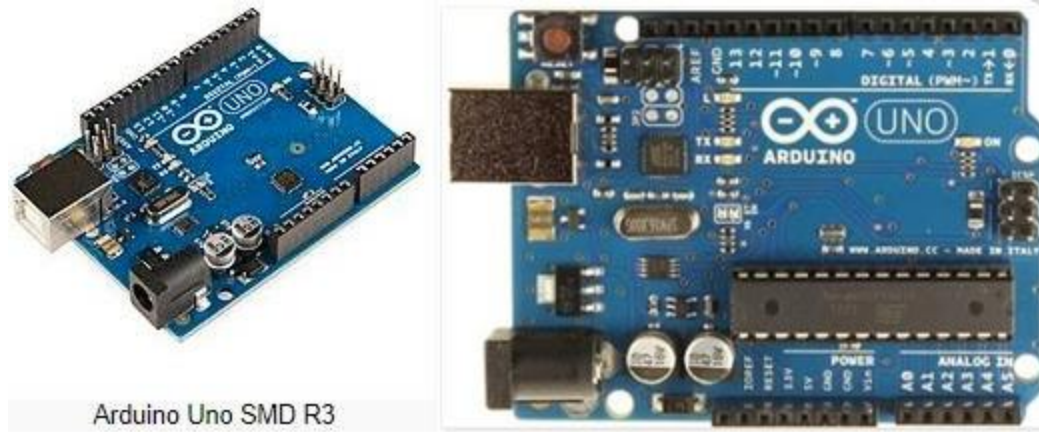
**2.5.3 Comerciales y de información:** estas aplicaciones se encargan de brindarles servicios de entretenimiento y de información tanto a los pasajeros como a los conductores. Con los recursos de la red VANET y a través de los puntos de acceso WIFI o de redes de datos de telefonía celular, algunos de sus más relevantes servicios son poder acceder a contenido multimedia, navegar en internet y jugar en línea, además de ofrecer servicios de información sobre sitios de interés, actualización, ubicación y descargas de mapas.

## 2.6 Arduino:

Es una plataforma con la cual se pueden realizar múltiples proyectos electrónicos con una gran cantidad de ventajas, su fuente y su hardware son de tipo abierto facilitando la programación en sistemas y el uso de la electrónica haciendo asequible para todo público, ayudando al desarrollo de diversas ideas mediante unas placas programable y reutilizables, tanto su hardware como su software son libres permitiendo su distribución de manera gratuita y haciéndolo más comercial, se puede encontrar en kits como también en pequeñas plaquetas.

Cada placa de circuito impreso está compuesta por microcontroladores y microprocesadores, además de traer en su hardware microprocesadores según el modelo del Arduino como el AVR de 8 bits, el ARM Cortex-M0, ARM Cortex-M3 de 32 bits cada uno o el Intel Quark que puede venir de 64 bits y 2 bits, cuenta con una memoria tipo SRAM y su almacenamiento es tipo flash o EEPROM, en su gran variedad de placas estas se energizan mediante un puerto USB, el mismo medio por donde se carga el código que se elabora en el entorno de desarrollo (IDE), a su vez el software cuenta con un bootloader o cargador de arranque que se ejecuta de inmediato y de manera automática a través del microcontrolador apenas este se enciende.

El proyecto Arduino surge como una gran necesidad de poder crear dispositivos capaces de conectarlos a las redes de sensores y actuadores con el fin de poder brindar cuantiosas utilidades y beneficios a diversos escenarios y líneas de negocio que las requieran primordialmente de una manera muy económica y de fácil acceso; la primera placa de circuito impresa de Arduino fue lanzada al mercado en el año 2005 en Italia, no sin antes resaltar que dicho proyecto en sus inicios fue diseñado exclusivamente para los estudiantes del instituto IVREA, el cual en años anteriores se venía desarrollando mediante una plataforma desarrollo llamada *wiring*, agregando a su soporte un microprocesador ATmega8, cuyo objetivo surgió como la idea de poder crear una gran herramienta que ayudara a la creación de proyectos digitales y sobre todo que sea incluyente hacia las personas que no tuvieran el perfil ni notables conocimientos técnicos de ingeniería, ni de sistemas y mucho menos de electrónica.



**Figura 5.** Placa de Arduino

**Fuente:** Arduino (2019) Visible body: Arduino uno, Recuperado de: <https://www.arduino.cc/>

Para producir una sola placa de Arduino, no se iba más allá de los 30 Euros, tan simple como ensamblar una pequeña placa de color azul, soportable con todas las plataformas para su cómodo trabajo como Windows, IOS, MacOSX y GNU\Linux. Donde los primeros prototipos los utilizaron los estudiantes del Instituto IVREA con fines de pasar por una etapa de pruebas y a su vez el diseño de los primeros proyectos con Arduino.

### **2.6.1 Hardware:**

Su composición es básica y flexible, cada placa trae consigo un microprocesador (AMTmega168, AMTmega328, AMTmega1280 o AMTmega2560), ahora cada microcontrolador está compuesto por una cierta configuración y variedad de pines tipo hembra de una o dos hileras haciendo posible la integración de otros circuitos y demás conexiones según lo demande el proyecto, capaz de ejecutar las ordenes escrita en código guardadas en la memoria que a su vez lo conforma una cantidad de bloques funcionales que desempeñan un papel específico, caracterizado por partes como:

- Tamaño de caracteres
- Memoria RAM, Flash
- Memoria ROM
- Entradas y salidas analógicas
- Conversor Analógico a digital
- Conversor Digital a análogo

- Buses de datos, entre otros.

Finalmente, cuenta con un regulador de voltaje de 5V lineal y un oscilador de 16 MHz.

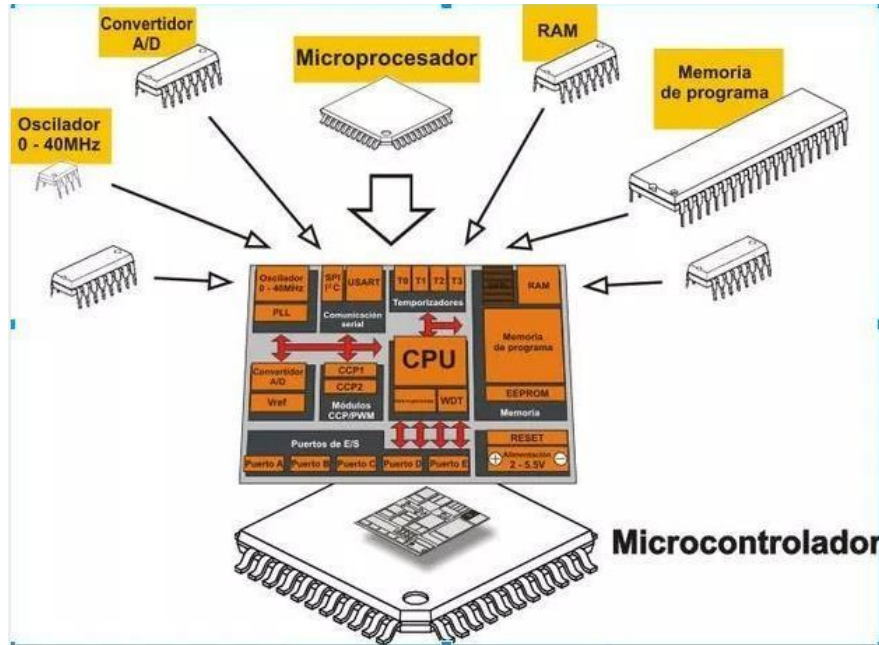


Figura 6. Microcontrolador y hardware de Arduino

Fuente: Arduino (2019) Visible body: Arduino uno, Recuperado de: <https://www.arduino.cc/>

Cada placa tiene una forma estándar, cuyo espacio de pines permiten la integración y comunicación con otras placas, ya se mediante los pines digitales, analógicos o el puerto serial.

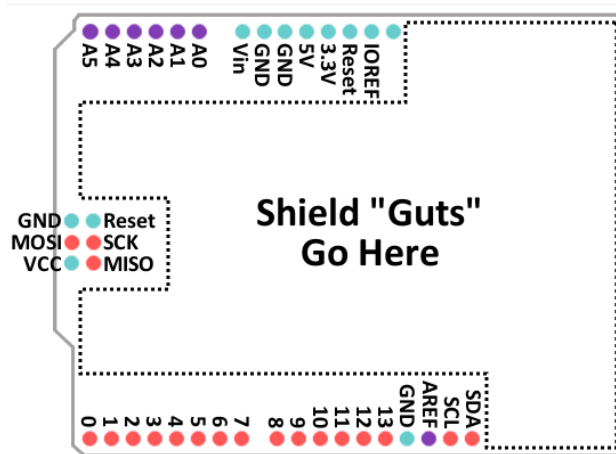
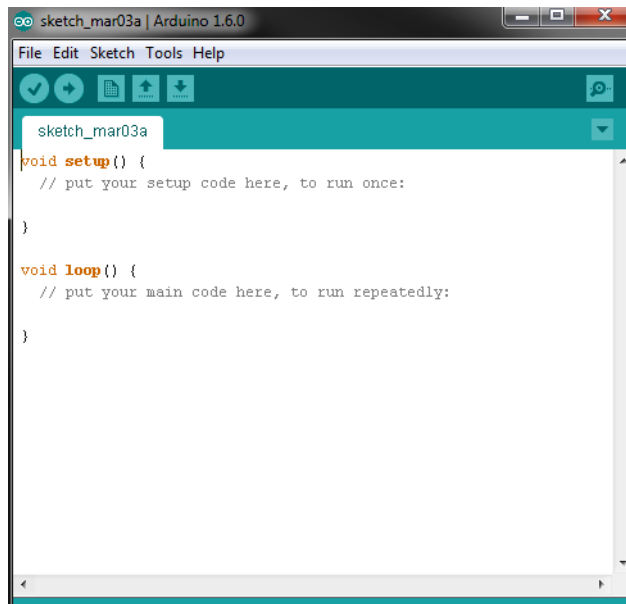


Figura 7. Pines modulo Arduino

Fuente: Arduino (2019) Visible body: Arduino uno, Recuperado de: <https://www.arduino.cc/>

## 2.6.2 Software:

Es un programa informático tipo IDE, entorno de desarrollo integrado, mediante el cual se desarrolla el código con la ayuda de varias herramientas para su programación, compuesto por un editor de código, un compilador, depurador y además trae su propia interfaz gráfica o GUI. Finalmente posee la propiedad de cargar y compilar el código ya compilado en la memoria del hardware. Compatible con la gran mayoría de lenguajes de programación como C#, Java, C++, Matlab, php, Python, Ruby, entre otros.



**Figura 8.** Software Arduino

**Fuente:** Arduino IDE

Cuenta con la gran característica de integrar y gestionar librerías, las cuales consisten en códigos prescritos o colección de programas realizados por terceros que son reutilizables con el fin de facilitar el trabajo al momento de la ejecución de diferentes funciones, como por ejemplo cálculos matemáticos, sistemas de posicionamiento, escritura e impresión de caracteres en pantallas LED o LCD según corresponda, etc. En su mayoría estas librerías vienen comprimidas en formatos .ZIP o dentro de un directorio, las cuales están compuestas por un archivo .ccp (Código C++), un encabezado .h, archivo .txt que trae palabras clave para el IDE, la enorme cantidad de librerías que existen actualmente puede ser integradas muy fácilmente desde el entorno de desarrollo de Arduino y a su vez se puede utilizar en dos más códigos o proyectos.

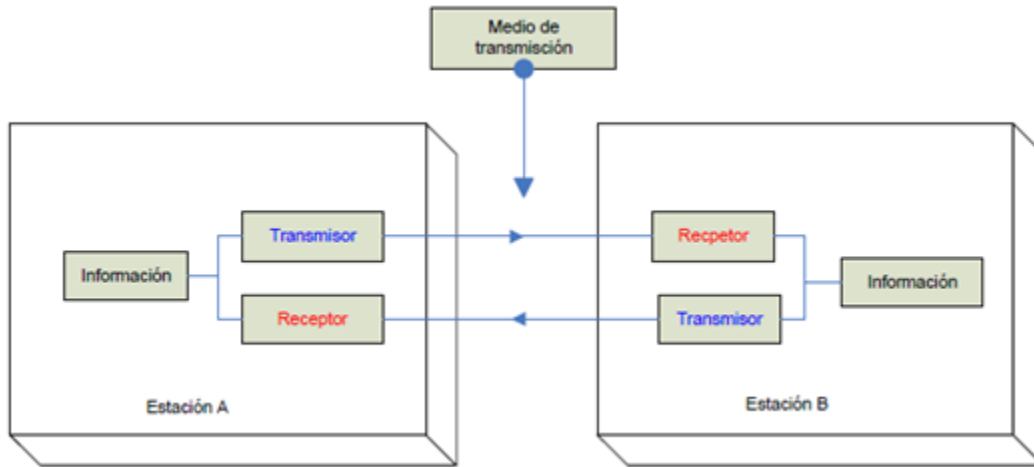
Hay dos tipos de librerías de acuerdo con sus características y propiedades, la primera es la librería de

Base o Core library, forma parte del IDE de Arduino y ejecuta las tareas más complejas que puedan existir al momento de trabajar con un microprocesador, donde incluye las funciones más corrientes como por ejemplo la lectura y escritura de variables y valores tomadas desde los pines de la placa. Por otro lado, están las librerías Estándar son aquellas que en muchas ocasiones no vienen incluidas en el IDE pero a su vez son muy utilizadas por los usuarios y deben ser instaladas haciendo la respectiva declaración (*#include*) al comienzo del código, consumiendo algo de memoria del Arduino, haciendo la diferencia con la librería Core, ya que en este caso son librerías que solamente se van a utilizar específicamente en cada proyecto, como por ejemplo: Librería SD, Ethernet, Servo, Liquid Cristal, etc.

## **2.7 Señales de Radio Frecuencia RF:**

Las comunicaciones por radio se han vuelto tan indispensables en la vida del ser humano las cuales ha venido evolucionando mediante varios sucesos importantes en la historia como por ejemplo: en el año de 1752, Benjamín Franklin logra descubrir la electricidad a partir de los rayos deduciendo que son grandes chispas eléctricas, hasta que el físico alemán Heinrich Hertz descubre las ondas electromagnéticas en el año de 1887, permitiendo la evolución de la transmisión de mensajes sin la utilización de los cables. Por último, en el siglo XX, con el surgimiento de la electrónica gracias a varios avances y estudios científicos, se inventa el radio, donde ocurre la primera transmisión ocurrió en Estados Unidos en el año de 1906. De este modo se llegan a las comunicaciones inalámbricas sin utilizar cables, logrando la transmisión de mensajes y datos a través del vacío llegando a grandes distancias, este fenómeno obligo al desarrollo de la electrónica, realizando elementos que fueran capaces de poder transmitir y recibir mensajes sin estar conectados por medio físicos, como transmisores y receptores, la cual consiste en transmitir, recibir y procesar la información mediante circuitos electrónicos convirtiéndola en energía electromagnética para poder ser propagada por un sistema de comunicaciones electrónica. De este modo las comunicaciones a través de señales RF contribuyen de una manera significativa e importante para el desarrollo del prototipo que conducirá a la solución al problema planteado, facilitando la transferencia de la información suministrada por los sensores instalados en el sistema de diagnóstico de freno de disco, que sea capaz de adaptarse a la topología dinámica requerida por la red vehicular ad-hoc (VANET) que sea capaz de establecer enlaces con vehículos en movimiento a diferentes velocidades sin perder la comunicación entre ellos; las señales de radiofrecuencia RF ayudaran a que el sistema a desarrollar pueda realizar difusiones compartiendo paquetes de datos a varios nodos y sistemas de recepción con la calidad suficiente para lograr una comunicación efectiva

ahorrando costos en infraestructuras físicas y en suscripciones a planes de empresas proveedoras y prestadoras de servicios, complementando el diseño de un sistema autónomo y descentralizado.



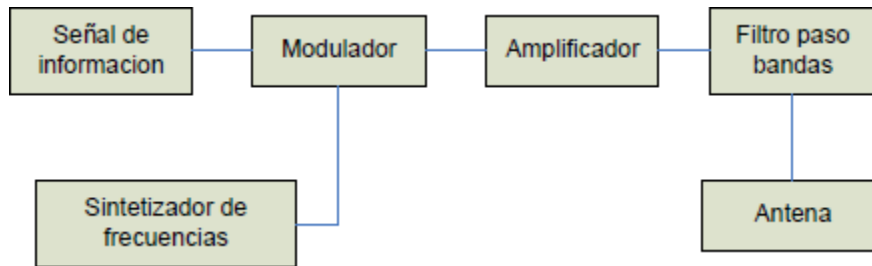
**Figura 9.** Diagrama de bloques de un sistema de comunicación bidireccional.

**Fuente:** Capítulo IV – Transmisión de datos por RF, UNAM, 2016.

Este es el sistema que compone las comunicaciones electrónicas, basados en elementos como receptores y transmisores, que se interconectan a través de los gases existentes en la atmosfera, funcionando como medio de transmisión para que se puedan propagar las ondas de radiofrecuencia.

### 2.7.1 Transmisor:

Es la fuente de información, como su nombre lo indica, se encarga de difundir los mensajes y la información que se desee transmitir. Es un dispositivo que permite la propagación de ondas RF en forma de ondas electromagnéticas con un rango de frecuencia desde los 3Hz hasta los 300GHz, sus funciones se centran en generar la señal portadora, modularla con el mensaje, amplificar la señal hasta el punto necesario de llegar al receptor y por último filtra la señal modulada para ser radiada por la antena



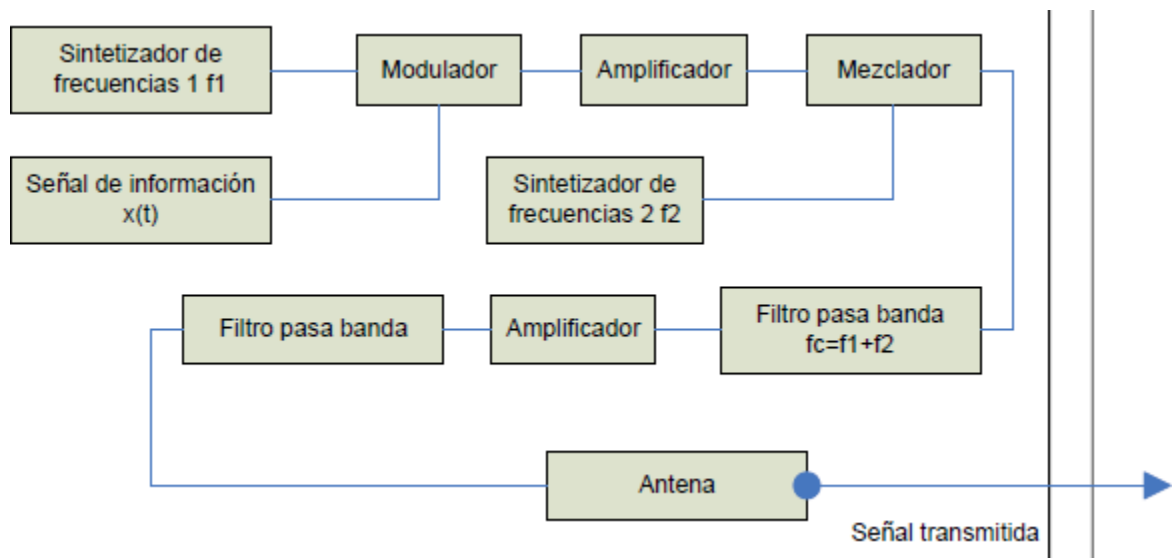
*Figura 10. Diagrama de bloques de un transmisor*

*Fuente:* Autor.

Existen dos tipos de transmisores:

**2.7.1.1 Transmisores Homodinos:** también conocidos como de modulación directa, realizan la modulación sobre la frecuencia portadora, después realizan el proceso de filtrado; estos transmisores son utilizados para realizar emisiones en AM.

**2.7.1.2 Transmisores Heterodinos:** debido a que se modula en frecuencias diferentes en comparación a la que se irradia por la antena, trae varias ventajas con respecto al transmisor homodino, pues su filtrado es fácil debido a que la frecuencia de salida tiende a cambiar la modulación, siempre se mantendrá sobre la misma frecuencia, esta frecuencia de salida se puede modificar cambiando al señal generada por el oscilador y las amplificaciones se realizan sobre distintas frecuencias, cuyo transmisor es utilizado para las transmisiones en frecuencia modulada FM.

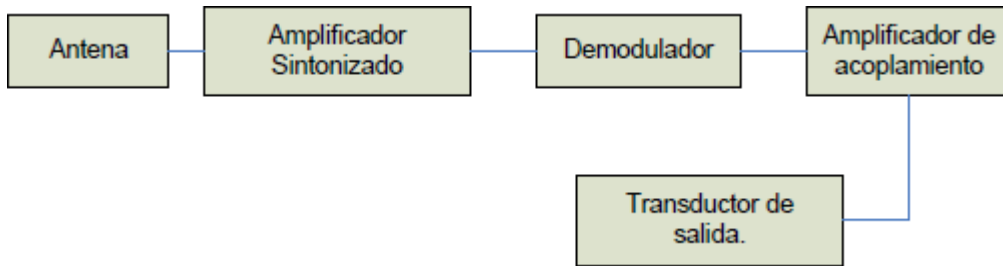


**Figura 11.** Diagrama de bloques de un transmisor Heterodino.

**Fuente:** Autor.

## 2.7.2 Receptor:

Es aquel dispositivo electrónico que se encara de interceptar señales de radio emitidas por el transmisor a través de la antena, luego la amplifican, la demodulan para ser reproducida del mismo modo que fue enviada por nodo distante.



**Figura 12.** Diagrama de bloques de un Receptor.

**Fuente:** Autor.

Igual que los transmisores, los receptores se subdividen en:

**2.7.2.1 Receptores Homodinos:** el primer receptor de esta clase es el receptor de Galena, recibe señales de amplitud modulada AM, compuesta por una piedra de galena conectada a la antena mediante un circuito que se encargaba de seleccionar las frecuencias dentro de una banda de frecuencias, además estos receptores no requieren amplificadores, pues la energía necesaria proviene de los transmisores.

El segundo receptor es el de radiofrecuencia sintonizada, contiene varios bloques para poder amplificar las señales sintonizando las frecuencias de manera simultánea a la frecuencia de recepción que prontamente será remplazado por el receptor neutrodino, el cual se le aplico un método de neutralización en las etapas de amplificación evitando oscilaciones indeseadas.

El tercer receptor, es el receptor regenerativo, consiste en reinyectar la señal recibida de la salida en un amplificador de radiofrecuencia, de nuevo en la entrada para volverla a amplificar varias veces. En comparación con el receptor regenerativo amplifica la señal miles de veces hasta llegar al punto de la oscilación para luego apagar la auto oscilación repitiendo el ciclo muchas veces.

### **2.7.2.2 Receptores Heterodinos:**

El receptor superheterodino tiene la propiedad de combinar señales con otras provenientes de algún oscilador, para establecer una banda de frecuencias fija llamada frecuencia intermedia, dentro de esta banda se es posible realizar tareas de amplificación, control y selección de las señales. Posee un filtro que se encarga de seleccionar una banda de frecuencias del espectro, luego trae un amplificador a esto le sigue un mezclador como etapa clave característico de este tipo de receptores que lo que hace es trasladar la banda de frecuencias, a la salida se obtiene como resultado la banda de frecuencia intermedia FI. Pasa después por el detector que demodula la señal y finalmente dicha señal ya demodulada pasa a un amplificador de audiofrecuencia conectado a un parlante.

### **2.7.3 Transmisiones de datos:**

A medida que va avanzando la tecnología para las comunicaciones, así mismo van evolucionando los dispositivos electrónicos para lograr dicho propósito, los cuales se encuentran dos vías como las comunicaciones analógicas y las comunicaciones digitales, trabajan de la mano, son solo maneras distintas de comunicaciones que traen sus ventajas y desventajas de una en frente a otra, en cuanto

#### **2.7.3.1 transmisión analógica:**

Trata de emitir información en forma de ondas y señales electromagnéticas continuas a través de un medio físico, dicha información viaja mediante una onda portadora cumpliendo con su objetivo es poder llevar los datos de un lado a otro modificando ya sea la amplitud, frecuencia o fase.

Dentro de los tipos de transmisión analógica se tiene los siguientes, según el tratamiento que se le da a la onda portadora:

- Transmisión por modulación de amplitud (AM)
- Transmisión por modulación de frecuencia (FM)
- Transmisión por modulación de fase (PM)

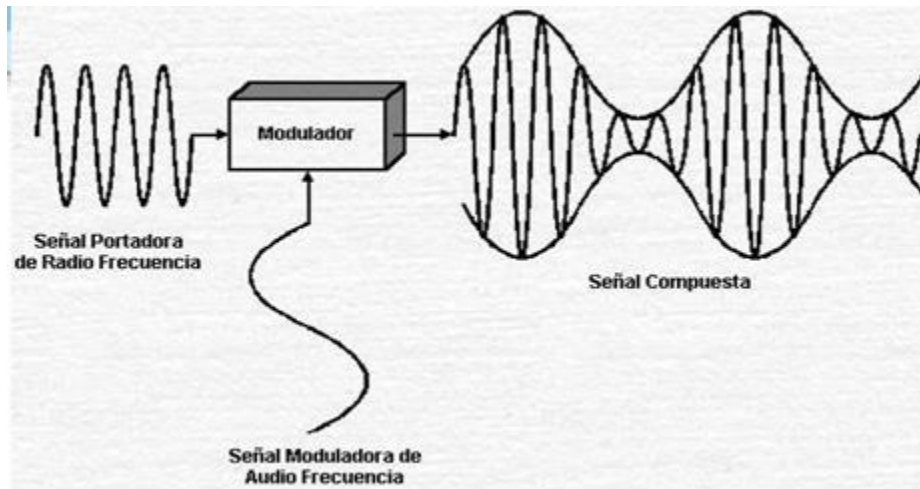
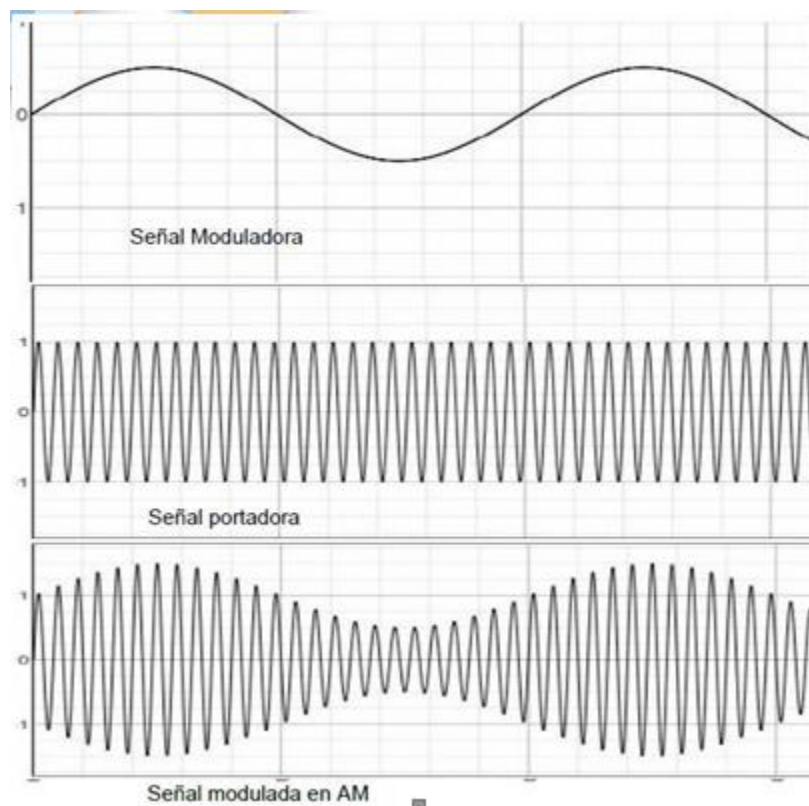


Figura 13. Modulación de datos analógicos de forma analógica en modo AM

Fuente: Capítulo IV – Transmisión de datos por RF, UNAM, 2016.

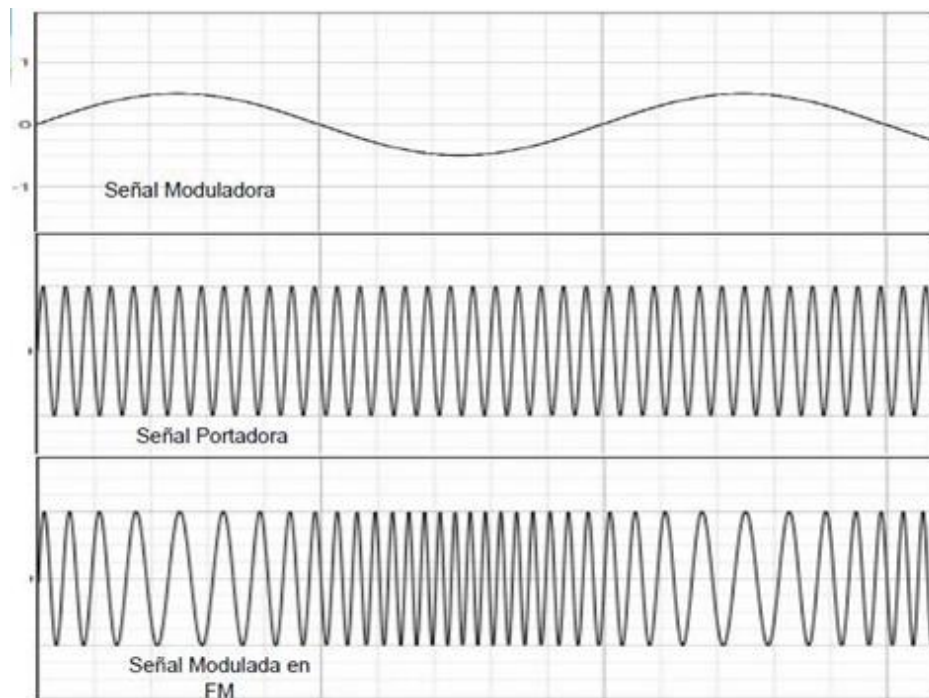
**2.7.3.1.1 Modulación AM:** el modulador AM cuenta con dos señales de entrada, la primera es la señal de portadora de amplitud y frecuencia constante, la segunda señal es de información o moduladora. En efecto la amplitud es modificada por la moduladora, donde la constante de modulación puede variarse de 0% al 100% sin que haya sobre modulación ni distorsión.



**Figura 14.** Señal modulada en AM

**Fuente:** Capítulo IV – Transmisión de datos por RF, UNAM, 2016.

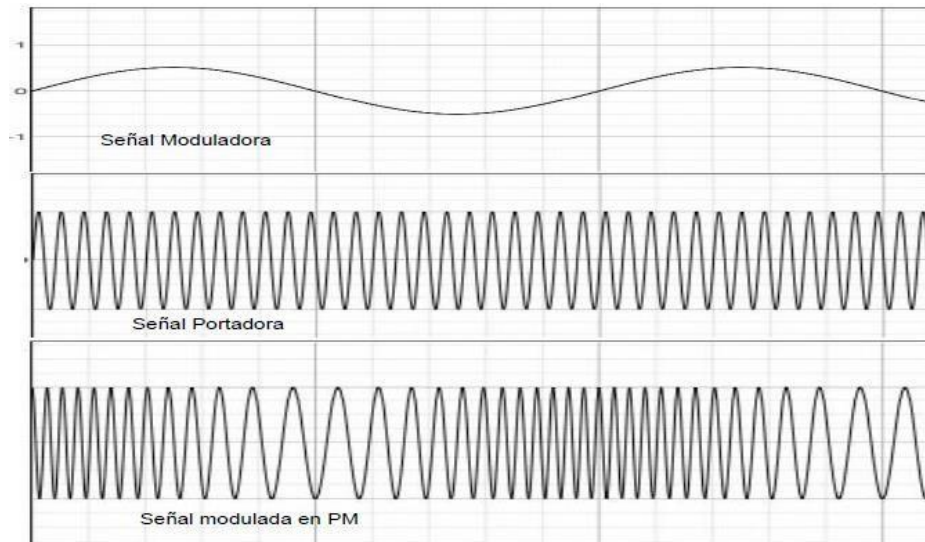
**2.7.3.1.2 Modulación FM:** en este tipo de modulación, la amplitud no varía, se mantiene fija pero el parámetro que se modifica es la frecuencia a partir de la variación de la amplitud en la señal moduladora; donde se da una propiedad llamada oscilación y es cuando se obtiene la variación mínima y la variación máxima proporcionándole a la señal moduladora picos negativos como picos positivos tal cual como una onda sinusoidal pura.



**Figura 15.** Ejemplo de modulación en FM

**Fuente:** Capítulo IV – Transmisión de datos por RF, UNAM, 2016.

**2.7.3.1.3 Modulación PM:** en ese método se modifica la propiedad de la fase en la onda portadora con respecto a la onda moduladora, esta forma de modulación no es muy común ni muy utilizada, pues la adquisición de los equipos para la recepción de este tipo de señales resulta ser muy costosa, compleja y complicada

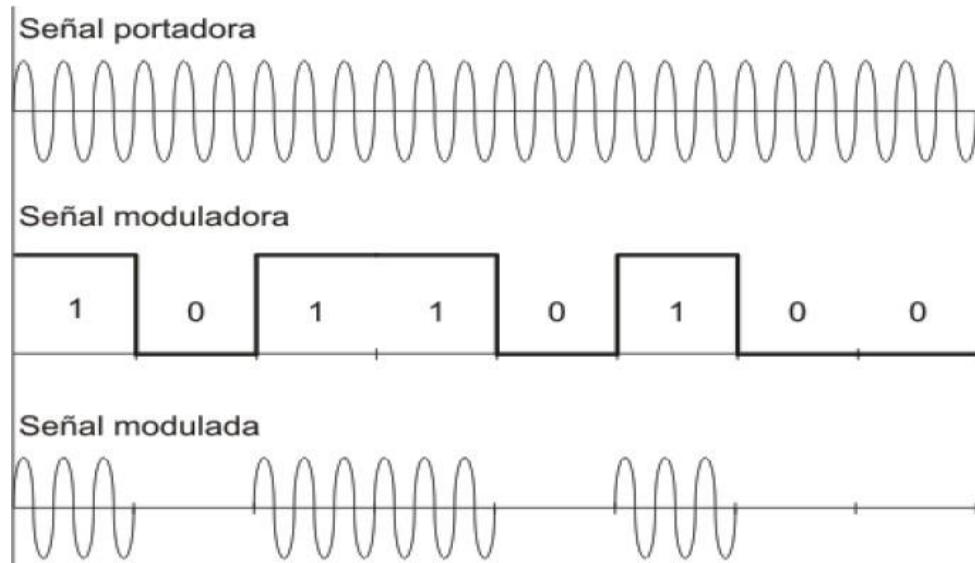


**Figura 16.** Modulación en PM

**Fuente:** Capítulo IV – Transmisión de datos por RF, UNAM, 2016.

En el momento que aparecen los datos digitales, surge la necesidad de encontrar los modos de poder transmitir la información bajo este formato, cuya solución hallada es el modem, dispositivo capaz de en el momento de la transmisión convierte datos digitales en datos analógicos (*modulación*) y en el momento de la recepción convierte las señales recibidas en modo analógico a señales digitales (*demodulación*). Las siguientes son técnicas de modulación y codificación según la propiedad de la onda portadora a modificar:

**2.7.3.1.4 Modulación ASK:** Sus siglas en ingles traducen Amplitudes-shift keying, es la modulación de la amplitud donde la onda moduladora es digital, hay dos valores distintos de amplitud representado en 1 y 0

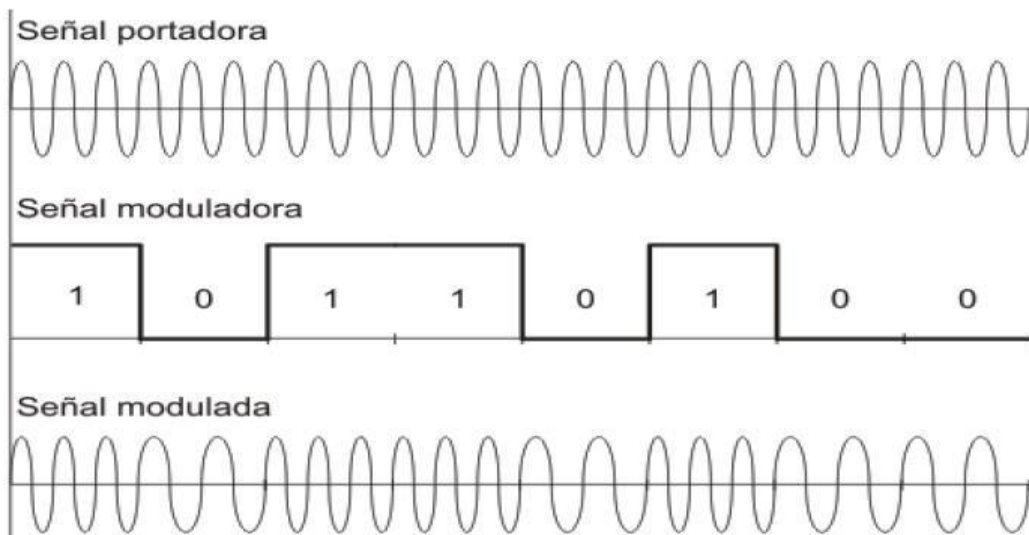


**Figura 17.** Modulación ASK

*Fuente:* Capítulo IV – Transmisión de datos por RF, UNAM, 2016.

**2.7.3.1.5 Modulación FSK:**

Frecuency-shift keying, modulación de la frecuencia cuya señal moduladora es digital, los dos valores binarios se representan en dos frecuencias diferentes.



**Figura 18.** Modulación FSK

*Fuente:* Capítulo IV – Transmisión de datos por RF, UNAM, 2016.

### 2.7.3.1.6 Modulación PSK:

Phase-shift keying, modulación cuya señal moduladora es digital, cuenta con dos métodos, el primero es el convencional donde se tienen en cuenta los desplazamientos y la diferencial es donde se centralizan en las transiciones.

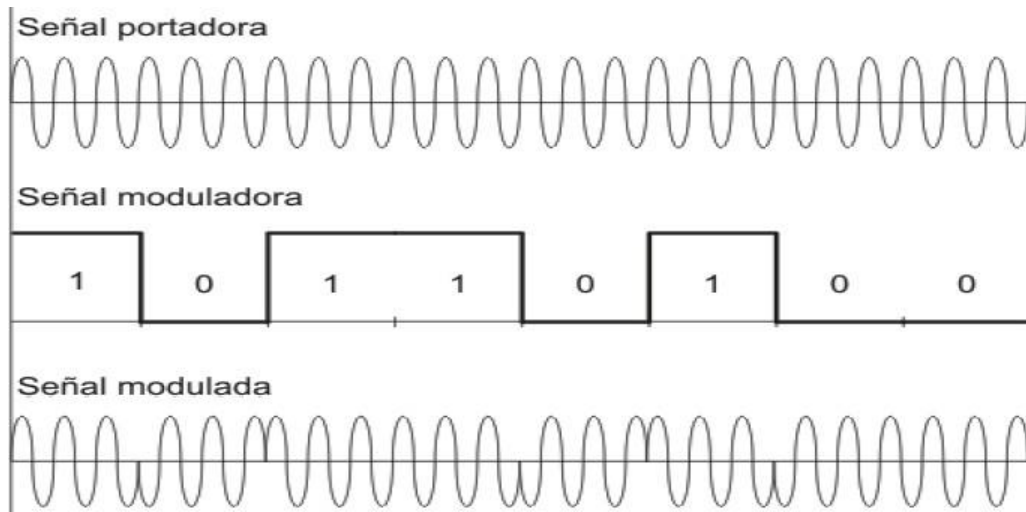


Figura 19. Modulación PSK

Fuente: Capítulo IV – Transmisión de datos por RF, UNAM, 2016.

### 2.7.3.2 transmisión digital:

Este tipo de transmisión trata de enviar información digital sobre medios físicos en forma de señales digitales, no sin antes codificarlas con respecto a los niveles de voltaje con relación a la conexión a tierra, con la diferencia de voltaje entre dos cables, presencia y ausencia tanto de corriente y luz en un cable, donde el DCE (decodificador de banda base) hace posible la transformación de una señal con dos estados a información binaria, esta transmisión cuenta con ventajas como por ejemplo los ruidos no se acumulan en los repetidores y el formato digital se adapta de manera satisfactoria en circuitos integrados. Actualmente existen cuatro maneras de enviar información digital de datos analógicos:

- Transmisión asíncrona
- Transmisión síncrona
- Transmisión de datos en serie
- Transmisión en paralelo

Con el fin de llevar a cabo transmitir señales de manera digital cuyo origen son señales analógicas, para

ello se requiere una serie de técnicas y métodos llamados modulación dirigidos para los sistemas de comunicaciones analógicos, como lo son:

- Modulación de longitud de pulso PWM
- Modulación por pulso de ancho constante PPM
- Modulación por amplitud de pulso PAM
- Modulación por codificación de pulso PCM
- Modulación Delta.

Debido a que las transmisiones digitales de señales analógicas han presentado una serie de desventajas, surge como respuesta a estos inconvenientes un nuevo modo de transmisiones de señales digitales, pero en esta ocasión en forma digital ya que ahora en este método las señales son inmunes al ruido más tolerables a las pulsaciones de frecuencia, variaciones de fases y amplitudes no deseadas, el procesamiento de los pulsos digitales cuentan con mejor procesamiento, los sistemas digitales tienen la propiedad de la regeneración de la señal produciendo un sistema protector contra el ruido y cuentan con sistemas equipados para la detección y corrección de errores mejorando su rendimiento de error.

La codificación de este tipo de señales analógicas conoció como codificación de banda base, donde se encarga de adaptar al sistema de transmisión utilizado, cuyos códigos son:

- NZR
- RZ
- Codificación diferencial
- Código Manchester
- Código Manchester Diferencia
- Código HDB3.

Estos códigos se acoplan a unos métodos de transmisión por el cual fluyen los datos:

- El primero es el método Simplex, por el cual la información circula en un solo sentido haciéndola unidireccional permanentemente, lo que quiere decir que los roles de emisor y receptor que adopta cada dispositivo no cambian, como por ejemplo la radio o la televisión.
- El segundo es el Half dúplex, similar al método anterior, pero en este caso la información puede fluir en ambos sentidos, turnándose los roles de transmisión como por ejemplo los walkie-talkies.

- El tercero es llamado full dúplex, posee las ventajas y cualidades que el modo simplex y half-duplex no tienen, y es que la comunicación se puede dar en ambos sentidos y de manera simultánea, haciendo más fácil la detección de errores en tiempo real, como por ejemplo el teléfono.

## **CAPÍTULO 3**

### **PROPUESTA Y CONCEPCIÓN PARA LA SOLUCIÓN**

De acuerdo con el problema planteado y ya teniendo identificado el mismo, ahora se procede con el modo, propuesta y solución para lograr el diseño de la infraestructura de red con el objetivo transmitir los datos y variables tomadas del sistema de diagnóstico de freno de disco mediante una red segura, confiable, económica, de fácil acceso y adquisición.

Basándose en precedentes investigativos e información consultada acerca de las redes ad-hoc y sobre todo las redes VANET, cuya tecnología es la más apropiada y que a su vez se ajusta perfectamente a las necesidades de la problemática del proyecto tal cual como se pudo observar en las características y propiedades expuestas sobre el marco referencial del presente documento.

Ahora bien, se desea diseñar un prototipo de transmisión de datos de bajo costo utilizando dos placas de Arduino y dos módulos RF, llevar el sistema diagnóstico y llevarlo a la nube mediante redes VANET, luego ingresa el dato de las variables sensadas y codificadas a las entradas analógicas de las placas Arduino.

El proceso para el diseño de la red, identificar características de red: como la temperatura, diseño de red ad-hoc, equipos, velocidad de transmisión, potencia de la de señal, tipo de antenas y protocolos, observar su funcionamiento; teniendo en cuenta las características de la red ad-hoc para salir a la red VANET, Arduino y dispositivos de red. (referencia: NRF24L01 - modulo RF), como prueba piloto, el prototipo se instalará en un par de vehículos y probar que la comunicación se ha establecido, determinando su eficacia al momento de la conexión, detección y corrección de errores, toma de estadísticas y datos relevantes que aporten al consenso como una respuesta a los objetivos planteados, que contribuya a la investigación y determinar las utilidades que ayudaran a complementar al proyecto macro del sistema de diagnóstico de freno de disco. se tiene como meta poder trascender a nivel de investigaciones y mejorar el estado del arte sobre los trabajos que se han hecho a nivel de redes ad-hoc

porque esta vez se va a realizar el diseño de la red y las respectivas pruebas piloto de manera física y con equipos electrónicos y de comunicaciones, en esta ocasión se quiere lograr pasar de un entorno simulado a un entorno real.

El siguiente esquema cuenta con el resumen de la solución y el diseño de la red VANET para la transmisión y comunicación de los datos tomados del freno de disco:

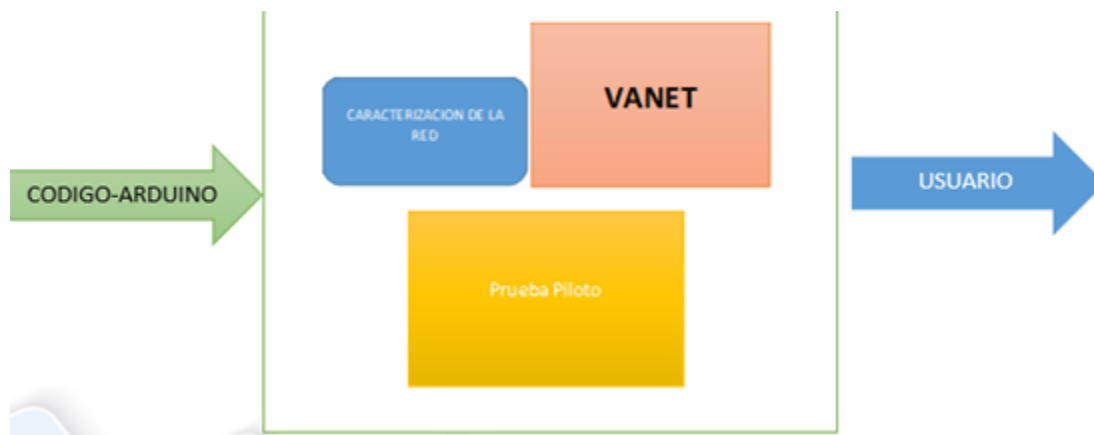


Figura 20. Diagrama general para la propuesta

Fuente: Autor

### 3.1 Programa de la metodología

Para iniciar con el desarrollo del prototipo se realiza un cronograma en base a la organización para la planeación y así poder trabajar en la ejecución del proyecto:

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3
Caracterización de red	X		
Alistamiento de recursos y herramientas		X	
Programación código de modulo Arduino (ver anexo 1)		X	
Instalación de los módulos RF		X	
Probar comunicación red VANET			X
Toma de resultados y estadísticas			X

Tabla 1. Programa para la metodología

Fuente: Autor

## CAPÍTULO 4 METODOLOGIA DEL PROYECTO

### 4.1 Caracterización de la red:

El diseño y puesta en marcha de la infraestructura de red cuya metodología seleccionada para la transmisión de los datos sensados por el sistema diagnóstico de freno de disco, cuenta con un estudio y análisis de los dispositivos y equipos necesarios para cumplir a cabalidad con cada uno de los objetivos planteados, para ello se detalla a continuación la primera etapa del proyecto que cumple con tener claro y preparados los requerimientos técnicos según demanda el proyecto:

#### 4.1.1 Especificaciones técnicas:

Se Definen las especificaciones técnicas de la solución, detalladas en etapas o componentes como alimentación, visualización, control, instrumentación y protocolo de comunicación.

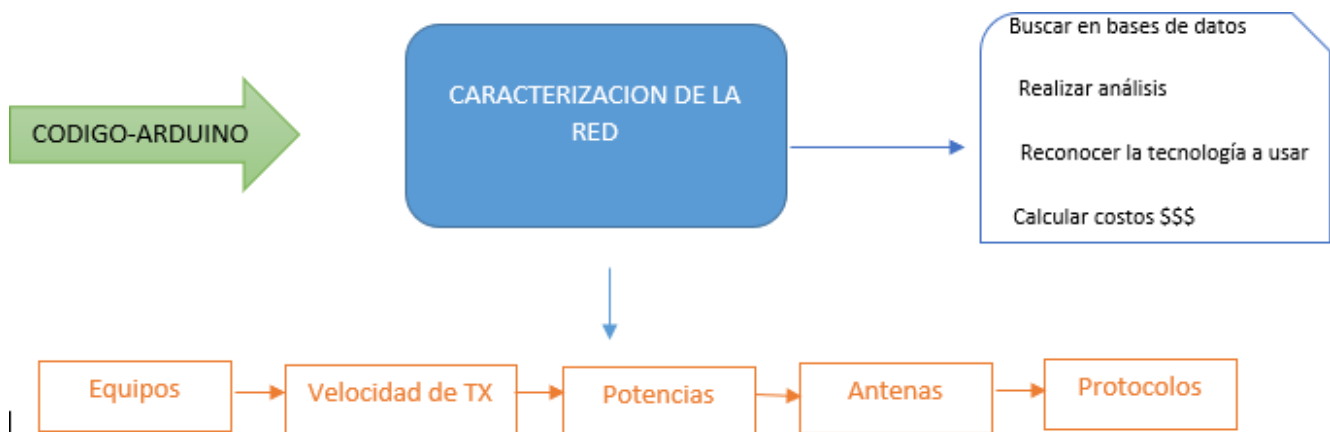


Figura 21. Diagrama caracterización de la red

Fuente: Autor

## 4.1.2 Equipos:

En seguida se listan los dispositivos con sus características físicas y electrónicas que serán parte del diseño para la solución:

**4.1.2.1 Modulo Arduino Uno:** en primer lugar y para comenzar el diseño de red para la propuesta se eligen 2 placas Arduino cuya referencia es R3 Mega328p Ch340g, una placa hará el rol de transmisor y la otra placa de receptor básicamente, esta es una tecnología multiplataforma con software libre el cual de unos años a la actualidad ha venido convirtiéndose en protagonistas de múltiples proyectos interdisciplinarios facilitando su uso en áreas como la electrónica y las telecomunicaciones, en este caso y con el objetivo de que el proyecto sea económico y asequible, se ha escogido este modelo que cuenta con el conversor USB a TTL gracias al chip integrado Ch340g haciéndolo más barato en comparación con otras referencias de Arduino, además cuenta con un minipuerto USB sin necesidad de un programador externo.

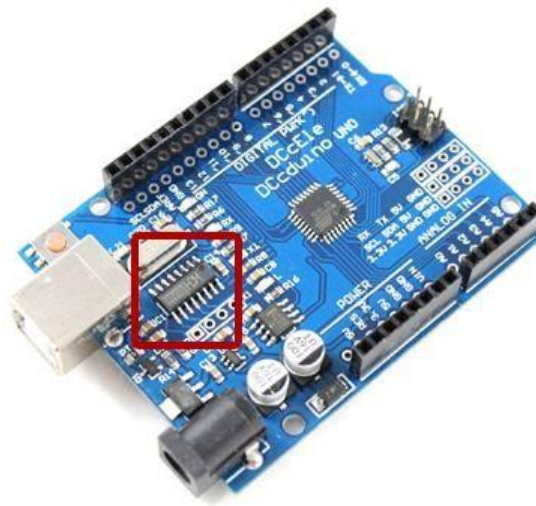


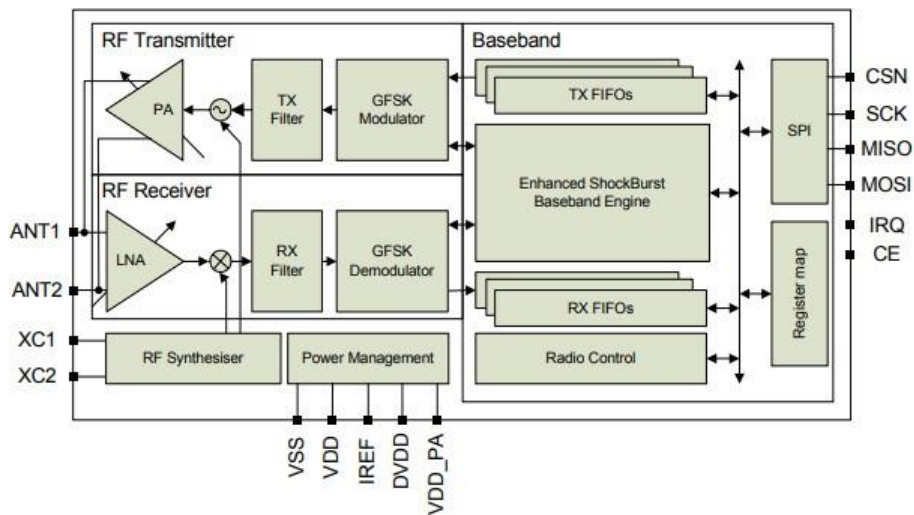
Figura 22. Modulo Arduino Uno.

Fuente: Arduino (2019) Visible body: Arduino uno, Recuperado de: <https://www.arduino.cc/>

Para que la tarjeta sea usada a su correcta utilidad, en el ordenador se debe tener instalado en el driver para el chip Ch340g que se puede obtener totalmente gratis de la página <http://www.5v.ru/ch340g.htm>, su microprocesador es el AMTEGA328 de 28 pines con bootloader o sistema de inicio preinstalado, reprogramable y en caso que este falle puede ser reemplazado, la flash memory la cual donde almacena las variables y sus valores de los programas es de 32 Kb cuenta con un cristal o clock de 16 MHz que son la cantidad de pulsos de reloj a la que funciona el microprocesador además, trae integrado una

entrada de alimentación externa DC a 5 Voltios, los puertos utilizados para la programación del proyecto son digitales tanto de entrada como de salida, en la tarjeta se pueden ubicar del pin 0 al pin 14 con una corriente de 40mA cada uno, más sin embargo vale aclarar que los puertos analógicos están al costado contrario de la placa, se pueden reconocer como los pines que van del A0 al A5, los pines 1 y 0 son los puertos seriales para comunicaciones externas la cuales son de transmisión y de recepción

**4.1.2.2 Modulo RF:** señales de radio frecuencia, este es el método a utilizar para poder establecer comunicación de manera inalámbrica y lograr la transmisión de datos entre las placas Arduino del proyecto, se trata del módulo de radio frecuencia cuya referencia es el NRF24L01, trae consigo su antena integrada, cuenta con la capacidad de trabajar como transceptor es decir, transmisor y receptor a la vez, trabaja en la frecuencia de los 2.4 GHz, diseñado para entregar una comunicación robusta y con capacidades de corrección de errores y reenvío de paquetes, cuenta con un bus PSI que permite que sea controlado desde un procesador como Arduino, trabaja en una banda de frecuencia desde los 2400 MHz hasta los 2525 con 125 canales seleccionables de 1 MHz de espacio, frecuentemente se utiliza entre las frecuencias de 25501 a 2525 MHz y así se evitan las interferencias con redes WIFI. Su tensión de alimentación oscila entre los 1.9 V y los 3.6V, aunque es tolerable a los 5V y su consumo eléctrico durante la transmisión y recepción de datos es de 15mA.



**Figura 23.** Composición electrónica modulo RF

**Fuente:** nRF24L01 Preliminary Product Specification, Nordic semiconductor, 2019.

Utiliza una modulación GFSK, con una potencia inicial de salida variable y programables de 0, -6, -12 y -18dBm y una potencia máxima soportada de 4dBm, con interesantes tasas de velocidad que soporta transferencia de datos a 250 Kbps, 1Mbps y 2Mbps. En cuanto a su operación de recepción tiene una señal máxima de recepción del 0.1% BER (Bit Error Ratio) a lo que traduce a la tasa de error binario, cuenta con propiedades de sensibilidad en la recepción de acuerdo con la tasa de transferencia utilizada, para la tasa de los 2Mbps tiende a tener una sensibilidad de -82dBm, en la tasa de 1Mbps una sensibilidad de -85dBm y finalmente con la tasa de los 250Kbps una sensibilidad de -94dBm.



**Figura 24.** Modulo físico nRF24L01 + antena

**Fuente:** nRF24L01 Preliminary Product Specification, Nordic semiconductor, 2019.

Su antena hace posible tanto la recepción como la transmisión sea más potente, tolerable a interferencias y sobre todo capaz de poder operar en ambientes cerrados y con obstáculos a grandes distancias, se trata de una antena tipo SMA, cuenta con la gran cualidad de poseer una alta ganancia de 9dBi y una impedancia característica de  $50\Omega$ , conector tipo RP-TNC, irradia de una manera omnidireccional con un máximo de 15.2 pulgadas, cumple con la norma IEEE 802.11 también muy utilizada en redes de microondas y redes inalámbricas Wifi.

#### **4.1.3 Protocolos:**

En el año de 1999, la Comisión Federal de Comunicaciones de EEUU asignó para las redes vehiculares VANET un ancho de banda de 75 MHz con una frecuencia de 5.9 GHz, a su vez estableciendo un único estándar para la capa MAC y para la capa física. Basándose en el estándar de las redes locales IEEE 802.11, más adelante se crea la norma IEEE 802.11p, tiempo después el mismo grupo del trabajo crea

el estándar IEEE 1609 en donde se desarrollan una serie de especificaciones para las capas de red, transporte y de aplicación dirigida para las redes de comunicaciones vehiculares.

Los estándares 802.11p e IEEE 1609 definen el acceso inalámbrico para las redes vehiculares teniendo como protocolos *WAVE* (*Wave Access Vehicular Environment*) siguiendo el modelo protocolo OSI, la siguiente tabla está diseñada para describir los protocolos de la arquitectura WAVE:

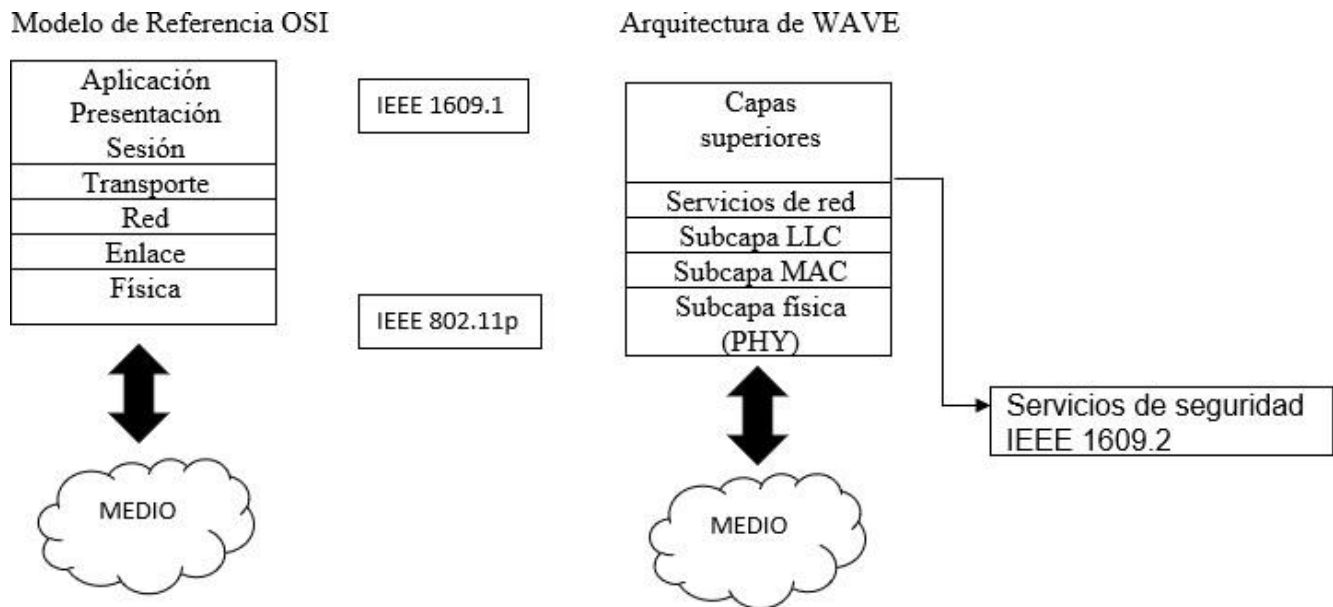


Figura 25. Arquitectura y protocolo redes VANET.

Fuente: Autor

#### 4.1.3.1 Estándar 802.11p:

Estándar diseñado para redes inalámbricas de corto alcance, cuyas distancias abarcan entre los 100 y 300 metros de cobertura, tiene una corta duración en sus comunicaciones y además se fundamenta en poder minimizar la latencia a 6Mbps aproximadamente. Este estándar se encarga de regir y de definir las características de la capa física y la capa MAC:

**Capa física:** una transmisión multiportadora OFDM, es un tipo de modulación que realiza el proceso de multiplexación por división de frecuencia ortogonales el cual facilita el envío y recepción de datos a una buena tasa de transmisión. La siguiente tabla ilustra las características del canal físico.

Indicative Wireless data link characteristic	802.11p WAVE
Bit rate	3-27 Mbps
Communication range	<1000 m
Transmission power for mobile (max.)	760 mW (UK)
Channel bandwidth	2 W (EU)
	10MHz
Allocated Spectrum	75MHz (UK)
	30MHz (EU)
Frecuency bands	5.86-5.92 GHz

**Tabla 2.** Información del canal inalámbrico V2X, IEEE 802.11p.

**Fuente:** Autor.

**Capa MAC:** esta capa establece los mecanismos para acceder a los distintos canales de comunicación con el fin que las estaciones puedan hacer uso de la red inalámbrica, además de ello realiza la gestión de la prioridad de los mensajes, tiempos de conectividad, congestión y recepción de paquetes. La operación multicanal tiene como función encargarse de gestionar y coordinar la prioridad de los mensajes difundidos por las aplicaciones de seguridad, de acuerdo con lo anterior establece mediante el estándar IEEE 802.11p un esquema de acceso al canal mejorado EDCA, el cual determina 4 categorías para su acceso con un canal independiente y una prioridad diferente.

- Canal de control: es un canal de radio fijo utilizado por las aplicaciones de seguridad para paquetes de alta prioridad y baja latencia, usando transmisión tipo broadcast.
- Canal de servicio: establece la comunicación *ad-hoc* entre la OBU y la RSU, mediante el conjunto de protocolos WBSS (*WAVE Basic Service set*).

## 4.2 Diseño de red:

Después de tener identificados los dispositivos que hacen parte de la caracterización de la red y sus especificaciones y características técnicas, se procede con los inicios del diseño de la propuesta.

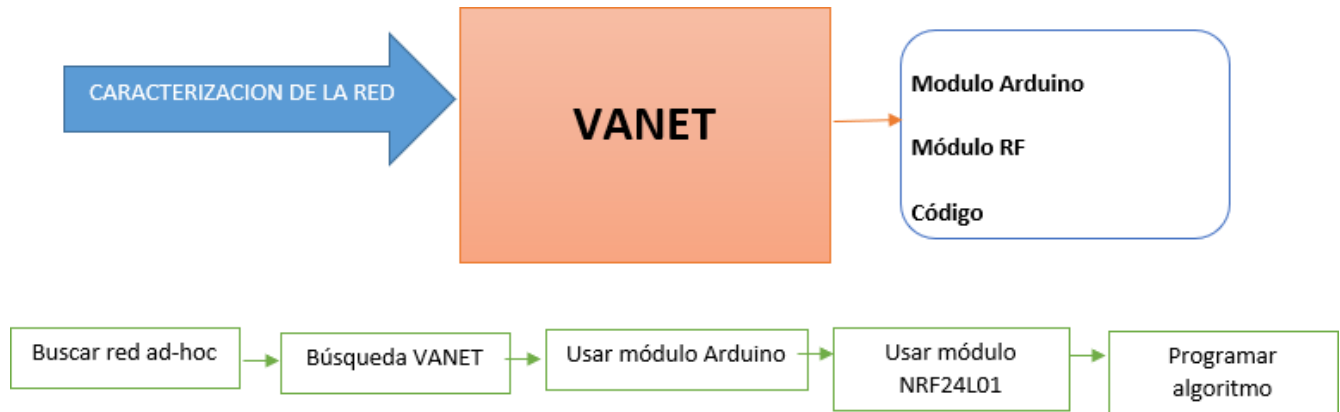


Figura 26. Diagrama diseño de la red.

Fuente: Autor

### 4.2.1 Búsqueda de redes ad-hoc y redes VANET:

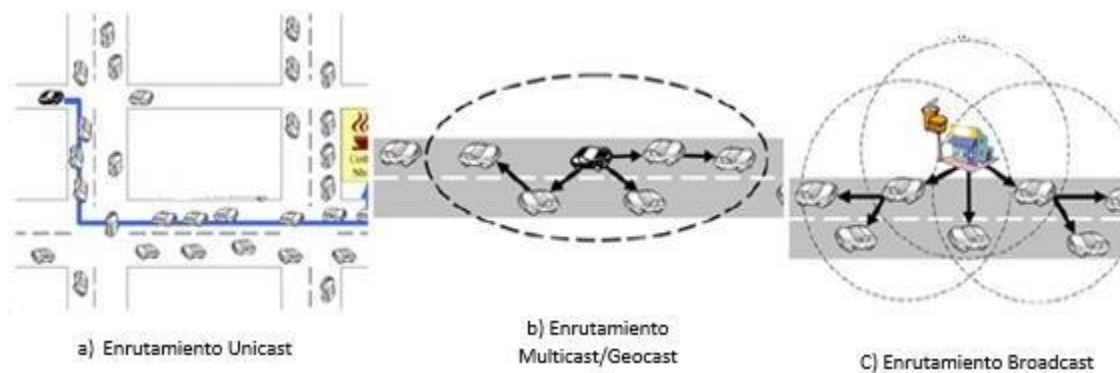
Debido a la problemática planteada acerca de un diseño de red que permita la transmisión de datos tomados de la lectura de las variables del diagnóstico de freno de disco, se debe tener en cuenta que el prototipo a implementar debe tener unas características que cumplan con los objetivos del presente proyecto como lo es su accesibilidad, su economía, su fácil manejo y gestión y que también sea amigable con el medio ambiente. De acuerdo con lo expuesto en el marco conceptual acerca de la tecnología a usar para dar solución al problema, se realiza la búsqueda mediante diferentes referencias bibliográficas con el fin de tener dominio y entendimiento del tema completamente con el fin de tener claro el modo de trabajo, desempeño y funcionamiento de esta tecnología y determinar su viabilidad, utilidad y beneficios que traerá para que pueda ser aprovechado al máximo por los usuarios, aportando de manera significativa en avances investigativos sobre las redes vehiculares y sistemas inteligentes de transporte, por eso las redes VANET fueron tenidas en cuenta como metodología para la construcción de la infraestructura de red, ya que cuentan con las propiedades necesarias para las necesidades del proyecto, como lo es su ancho de banda, la tasa de transferencia, velocidad y potencia de recepción y transmisión de las señales, se tratan de redes de corto alcance ajustándose también a la topología dinámica que se requiere.

Características	DSRC/WAVE	Celular
Velocidad de datos	3-27 Mbps	< 2 Mbps
Latencia	< 50 ms	segundos
Rango	< 1 Km	< 10 km
Movilidad	> 80 Km/h	> 80 Km/h
Ancho de banda	10 MHz	< 3 MHz
Banda de operación	5.86- 5.92	800-1900 MHz
Estándar IEEE	802.11p	No Aplica

**Tabla 3.** Principales características de las tecnologías inalámbricas para redes VANET

**Fuente:** Sanchez Antonio, 2017

Se logra concebir esa tecnología como la principal propuesta para el diseño de la red, ya que su manera de comunicación de los paquetes de manera inalámbrica facilita aún más el escenario teniendo en cuenta el modo de enrutamiento de los paquetes, adaptándose así la entrega confiable y fluida de los datos transmitidos.



**Figura 27.** Modos de comunicación para los protocolos VANET

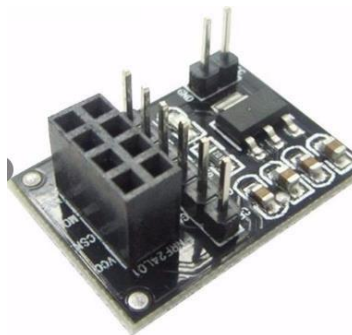
**Fuente:** Sanchez Antonio, 2017.

#### 4.2.2 Uso del módulo Arduino y del módulo RF:

Para esta fase del proyecto ya se tiene claro el problema y su respectiva propuesta para la solución de este, se tiene clara la tecnología a utilizar, su funcionamiento, sus propiedades y sus características, sus precedentes y beneficios a los que se le puedan aprovechar al máximo para el desarrollo del prototipo y el montaje de la infraestructura de red.

Ahora bien, para comenzar con el diseño de la infraestructura de red, se van a utilizar 2 placas de Arduino Uno, la primera desempeñara el rol de transmisor y la segundo tendrá el rol de receptor, se hará uso de esta configuración inicialmente como parte de las pruebas iniciales a las que estará sometido el prototipo, más adelante ambas placas tendrán el rol de transceptor o transceiver, es decir que tendrán la capacidad tanto de enviar como de recibir información formando así una comunicación netamente bidireccional tipo full-dúplex.

La infraestructura de la red requerirá un canal de comunicaciones, pensando en los objetivos planteados en el proyecto, se pensó en un método que los cumpla a cabalidad, se trata de poder transferir información de manera inalámbrica y a través de ondas de radiofrecuencia, que trabajen bajo una and de frecuencia optima y que contribuya al desempeño del prototipo; se trata de utilizar un módulo de radiofrecuencia y conectarlo a las tarjetas de Arduino, en este caso el módulo a utilizar para la implementación del proyecto es el **NRF24L01**, trae una antena que se le puede incorporar la cual hace que la transmisión y recepción de datos sea más efectiva con respecto a las grandes distancias y obstáculos a los que pueda estar expuesta.



**Figura 28.** Adaptador transceptor nrf24l01

**Fuente:** Sanchez Antonio, 2017

En esta ocasión se va a implementar un adaptador propio para el módulo RF NRF24L01, cuyas cualidades le proporciona un mejor manejo ya que sus capacitores integrados mejoran la fiabilidad y la estabilidad del transceptor, regula la corriente de 5V a 3.3V ideal para su funcionamiento, por último, su configuración de pines es idéntica a la del módulo en sí.

#### 4.2.3 Diseño electrónico:

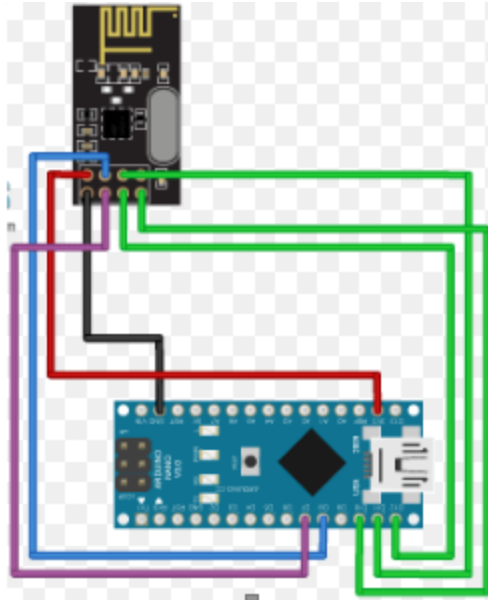
Se empieza con la adaptación del módulo RF con el Arduino Uno, las conexiones se realizan mediante cables de cobre con sus respectivas terminales o conectores a los cuales se puedan adaptar a ambos módulos para brindar la conectividad entre los pines, entradas y salidas de estos. En la siguiente tabla se muestra el orden para establecer la manera de conexión entre los pines del Arduino Uno y el módulo RF:

NRF24L01	Arduino UNO, Nano
1: GND	pin GND
2: VCC	pin 3.3V
3: CE	pin 9
4: CSN	pin 10
5: SCK	pin 13
6: MOSI	pin 11
7: MISO	pin 12

**Tabla 4.** conexión de pines modulo nrf24l01.

*Fuente:* Sanchez Antonio, 2017

El siguiente plano muestra las conexiones realizadas y la forma correcta de cómo debería quedar el prototipo en su fase inicial para la adaptación de ambos módulos:



**Figura 29.** Esquema electrónico Arduino Uno – Modulo RF.

**Fuente:** Sanchez Antonio, 2017

Vale aclarar que el pin 2 del NRF24L01 (VCC) va conectado al pin 3V3 del Arduino, esto porque el módulo funciona con 3.3V. Se debe implementar un adaptador de 5V ya que el circuito trabaje con estos valores y evitar que el módulo RF sufra alguna afectación en un futuro.

#### **4.2.4 Algoritmo de la solución:**

Se realiza el diseño del código, cuyo programa se ejecutara sobre las tarjetas de Arduino, el código es una serie de instrucciones las cuales línea por línea traen los comandos con las bases y el funcionamiento del programa que en este caso hace posible la comunicación de las dos tarjetas de Arduino con un módulo de radio frecuencia conectado, cuya transferencia de datos se realizara de manera inalámbrica con ondas RF que trabajara sobre la frecuencia de los 2.4 GHz bajo la norma internacional IEEE 802.11 la cual regula el funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas como por ejemplo el Wifi, bluetooth, entre otras. (ver el código en el anexo 1).

### 4.3 Prueba piloto

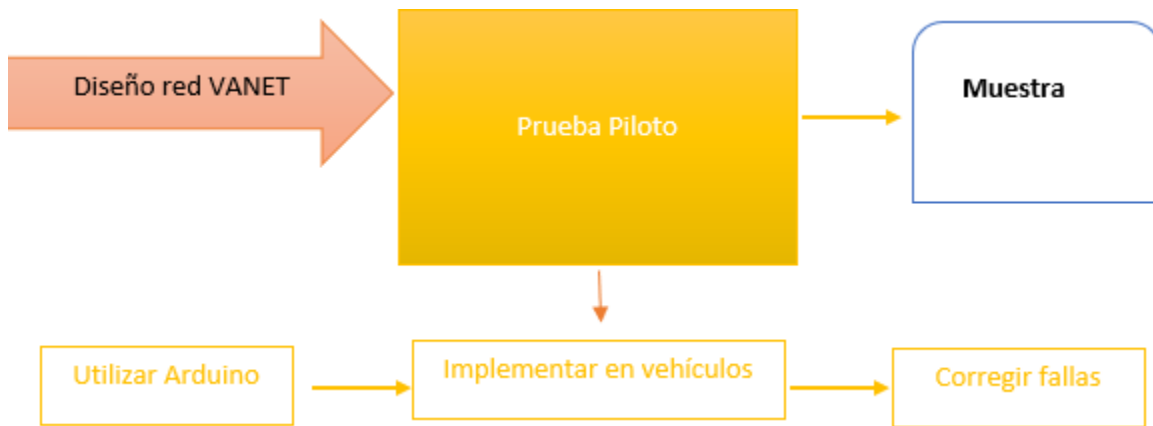


Figura 30. Diagrama prueba piloto.

Fuente: Autor

#### 4.3.1 Pruebas iniciales y ensayo del prototipo:

Para esta fase se tiene claro la estructura del diseño, la manera que debe ir la construcción del prototipo, los equipos a utilizar, sus conexiones, el entendimiento y uso de las tecnologías previamente estudiadas y que se van a implementar en el proyecto como las redes VANET y el sistema de transmisión y recepción de datos mediante ondas de radiofrecuencia.

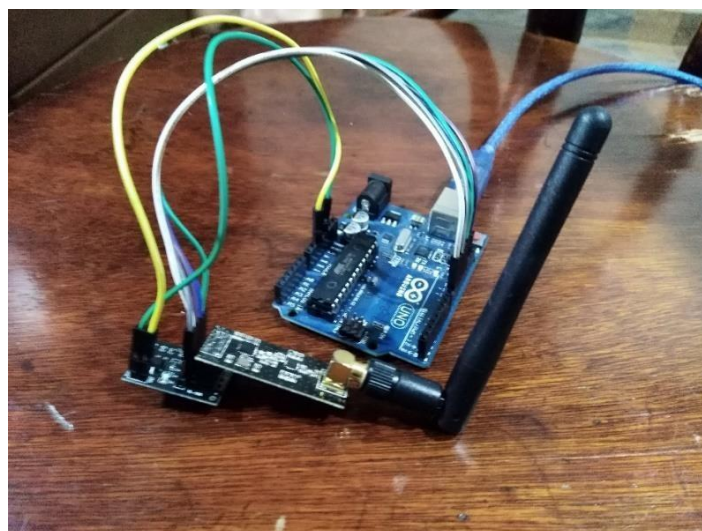


Figura 31. Prototipo desarrollado con adaptador NRF24L01

Fuente: Autor

En primera instancia, con los códigos ya realizados se proceden a compilarlas en cada una de las tarjetas, las cuales cada una trae consigo un puerto USB con su respectivo cable, funciona como puerto COM y a su vez es la manera como se carga el algoritmo y otra cosa bien importante es descargar y agregarle a cada código la librería comprimida en un archivo .zip del módulo RF NRF24L01 tomada de la página web: [https://1drv.ms/u/s!AkKbGukwHgULgac086CCa\\_9aD0\\_b6A](https://1drv.ms/u/s!AkKbGukwHgULgac086CCa_9aD0_b6A). Después de tener totalmente listo el código en este caso empezamos a observar a las tarjetas Arduino convertirse en nodos, el primero es el emisor y el segundo el receptor, en esta fase del proyecto además de hacer posible que el código o algoritmo compile satisfactoriamente en cada nodo, básicamente el propósito es establecer comunicación entre los nodos.

El código ahora se encuentra en un ordenador personal o laptop Windows 10 de 64 bits, con la ayuda del software previamente instalado se comienza el proceso de cargue y compilación del código del nodo emisor y del código del nodo receptor.

```

Emisor
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

//Declaremos los pines CE y el CSN
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10

//Variable con la dirección del canal por donde se va a transmitir
byte direccion[5] = {'c', 'a', 'n', 'a', 'l'};

//creamos el objeto radio (NRF24L01)
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

//vector con los datos a enviar
float datos[3];

void setup()

```

**Figura 32.** Compilación código nodo emisor

**Fuente:** Arduino IDE

```

Receptor
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

//Declaremos los pines CE y el CSN
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10

//Variable con la dirección del canal que se va a leer
byte direccion[5] = {'c', 'a', 'n', 'a', 'l'};

//creamos el objeto radio (NRF24L01)
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

//vector para los datos recibidos
float datos[3];

void setup()
{
//inicializamos el NRF24L01

```

**Figura 33.** Compilación código nodo receptor.

**Fuente:** Arduino IDE

### **4.3.2 Modulación digital de la señal:**

Para realizar la modulación de una señal se debe tener en cuenta en qué condiciones encuentra la señal inicialmente, que procesamiento requiere realizarse para ser transmitida y que tipo de onda será la señal de salida, pues bien en este caso las señales tomadas del sensor del diagnóstico de freno de disco son variables analógicas como por ejemplo información sobre la temperatura, desgaste o corrosión que viene de manera de pulsos eléctricos, de modo que esta información será transmitida de forma digital a través de medios físicos en forma binaria, por ende las variables analógicas tomadas al principio del proceso deben ser previamente digitalizadas para llevar a cabo su difusión correspondiente. Su codificación consta de realizar la comparación entre dos estados como por ejemplo diferencias de voltaje, presencia de luz o de corriente, pues el envío de los datos no podrá hacerse simplemente mediante 1 y 0, para esta ocasión se tendrá en cuenta los niveles de corriente tomados del diagnóstico de freno de disco.

La modulación que se va a implementar se trata de la PCM (Pulse Code Modulation) que facilitara la comunicación de los mensajes ya que consiste en realizarle un muestreo a la señal logrando cuantificarla en amplitud a intervalos regulares aproximados de forma discreta para después ser codificarla en código ideal; en este escenario este tipo de modulación es idóneo ya que su esquema de conversión de señales analógicas a digitales debido a que la señal analógica modulada tomada tiene a afectarse y perturbarse por el ruido teniendo en cuenta el ambiente en que se desarrolla como los pulsos eléctricos que viajan exponiéndose a radiaciones e interferencias electromagnéticas en el ambiente volviendo difícil que el receptor interprete de manera exacta los datos que le están llegando

### **4.3.3 Comunicación entre los nodos**

Comenzamos a observar y a experimentar que el código funciona, hay comunicación entre los nodos, se configura la transmisión de los paquetes de datos a 9,6Kbd (Kilo baudios) dado que es la unidad de medida utilizada por en este caso desde el software de Arduino para la transmisión digital de los datos, representa la cantidad de símbolos enviados por segundo donde cada símbolo o evento de señalización es capaz de transmitir uno o varios bits.

```
COM4
Dato 1 112.00Dato 2 224.00Dato 3 30.00
Dato 1 112.00Dato 2 224.00Dato 3 30.00
Dato 1 112.00Dato 2 224.00Dato 3 30.00
Dato 1 112.00Dato 2 224.00Dato 3 30.00
```

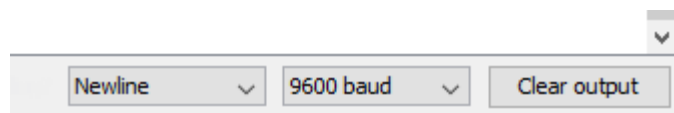
**Figura 34.** Puerto COM4, Vista consola nodo transmisor

**Fuente:** Arduino IDE

```
COM3
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
```

**Figura 35.** Puerto COM3, Vista consola nodo receptor

**Fuente:** Arduino IDE



**Figura 36.** Configuración tasa de transmisión

**Fuente:** Arduino IDE

Las primeras pruebas se realizan para constatar que el algoritmo no presente ningún error al momento de haberse compilado, la comunicación por radio entre los nodos es exitosa, hay transmisión y recepción de paquetes de datos a una distancia base de entre 1 a 3 metros que se pueden evidenciar a través de las consolas de los puertos de cada nodo.

#### **4.4 Implementación en vehículos y corrección de errores:**

Es la etapa final del proyecto donde se adaptará el prototipo desarrollado sobre vehículos para observar el comportamiento del diseño y la respectiva toma de datos.

##### **4.4.1 Pruebas de distancia:**

En esta etapa ya se cuenta con el diseño de prototipo desarrollado en su totalidad, se cuenta con un código algoritmo que permite la funcionalidad de los nodos mediante un par de tarjetas Arduino programables, a su vez un par de módulos RF (Radio Frecuencia) cuya referencia es NRF24L01 que se han adaptado a los nodos para que nos brinde una comunicación de manera inalámbrica mediante ondas de radio, pues bien ya se han realizado las primeras pruebas de comunicación básica entre los nodos y es la hora de implementar el diseño de infraestructura de red en vehículos poniendo a prueba la calidad de su topología dinámica, comportamiento en cuanto a distancias, con la línea de vista despejada y con obstáculos y muros en la vía y la posible detección de errores con el fin de corregirlos y realizar las respectivas mejoras tanto al prototipo como a su infraestructura.

##### **4.4.1.1 Comunicación con línea de vista:**

Para las pruebas implementadas sobre vehículos, se utilizan un par de motocicletas, para ello se ubican una calle amplia con poco tráfico y que a su vez permita realizar las pruebas de manera exitosa, se trata de la Diagonal 83, con Transversal 76c en Barrio La Española, Bogotá D.C. El nodo receptor en este caso se mantendrá estático conectado con cable USB a una laptop para visualizar mediante el monitor de la consola los paquetes que recibe y a su vez funciona como fuente de alimentación, mientras que el nodo emisor va a estar en moviendo de línea recta. Al nodo emisor se le brinda energía mediante un power bank (gran batería de litio recargable utilizada para alimentar smartphones y tablets) esto permite el fácil desplazamiento del nodo sin preocuparse por el funcionamiento del prototipo.



**Figura 37.** Nodo emisor alimentado con una power bank

**Fuente:** Autor



**Figura 38.** Perímetro de pruebas reales

**Fuente:** googlemaps.com

Como estación de monitoreo y observación el nodo receptor permanece sobre la Diagonal 83 con Calle 76c, mientras que el nodo emisor se va desplazando hacia el occidente, nuestro prototipo arranca a transmitir datos a 9,6 Kbd y una potencia de salida de -55dB: en cuanto vaya tomando distancia el nodo emisor, se ven reflejados los cambios en la potencia de la señal de radio.

El ambiente con la línea de vista despejada tiene buena tendencia, pues se registran más de 50 metros de distancia y la comunicación entre los nodos sigue siendo fluida y sin observar pérdidas en la señal ni

en sus paquetes de datos, cuando el nodo emisor llega a la Diagonal 83 con Transversal 78, es decir a los 130 metros se evidencian las primeras pérdidas de paquetes de aproximadamente un 10%, desde este punto en adelante, las pérdidas observadas en la consola del nodo receptor empiezan a ser más notorias pues a medida que sigue alejándose el nodo emisor las pérdidas empiezan a incrementarse gradualmente.

```
COM3
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
No hay datos de radio disponibles
```

**Figura 39.** Pérdida de paquetes al 10%

Fuente: Arduino IDE

```
COM3
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00  Dato 2 Recibido= 24.00  Dato 3 Recibido= 30.00
No hay datos de radio disponibles
No hay datos de radio disponibles
```

**Figura 40.** Pérdida de paquetes al 50%

Fuente: Arduino IDE

Finalmente, cuando el nodo emisor se encuentra en la Diagonal 83 con la Transversal 79b, llegando a los 200 metros de distancia, se evidencian pérdida de paquetes total y la comunicación entre los nodos se pierde por completo

No hay datos de radio disponibles  
No hay datos de radio disponibles  
No hay datos de radio disponibles  
No hay datos de radio disponibles  
No hay datos de radio disponibles  
No hay datos de radio disponibles  
No hay datos de radio disponibles  
No hay datos de radio disponibles  
No hay datos de radio disponibles

Figura 41. Perdida de paquetes al 100%

Fuente: Arduino IDE



Figura 42. Grafica de la potencia de señal con línea de vista

Fuente: Autor

#### 4.4.1.2 Comunicación sin línea de vista:

Esta es la segunda prueba con los nodos, pero esta vez se van a tener en cuenta los obstáculos visuales que se puedan hallar en la vía, como muros, objetos de diferente tamaño y material, entre otras barreras que perturben la señal.

El método sigue siendo el mismo, nodo receptor estático monitoreando la recepción de paquetes desde el mismo punto (Diagonal 83 con Transversal 76c), el nodo emisor empieza el recorrido en dirección hacia el norte tomando la Transversal 76c.



**Figura 43.** Trayecto segunda prueba

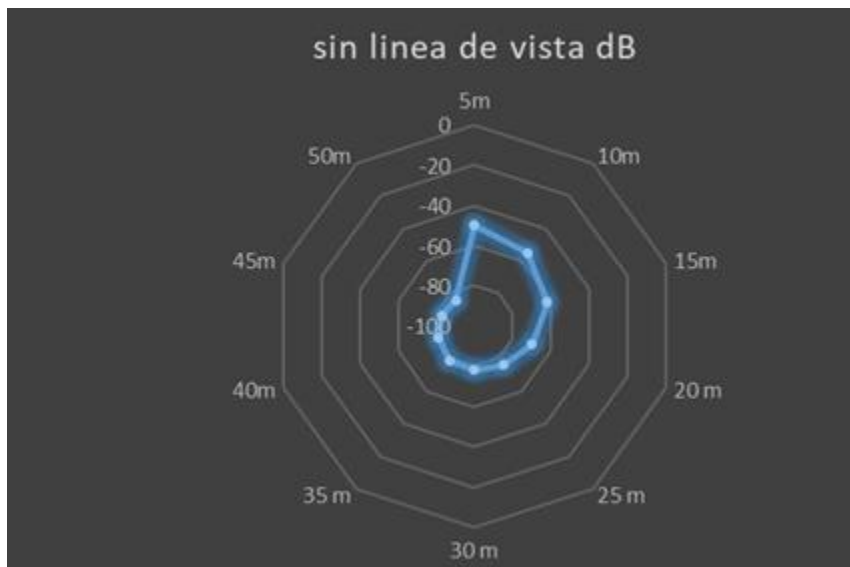
**Fuente:** googlemaps.com

Al registrar los primeros 25 metros se observan las primeras pérdidas bajo este método, llegando a evidenciar 20% en la pérdida de paquetes; teniendo en cuenta que en el ambiente se encuentran muros y posteriza de electricidad y telecomunicaciones de concreto, edificaciones de más de 3 pisos, el prototipo solo puede establecer comunicación hasta los 50 metros de distancia uno del otro.

```
no se ha podido enviar
Dato 112.00Dato 224.00Dato 3 30.00
no se ha podido enviar
Dato 112.00Dato 224.00Dato 3 30.00
no se ha podido enviar
Dato 112.00Dato 224.00Dato 3 30.00
```

**Figura 44.** Pérdida de envío de paquetes

Fuente: Arduino IDE



**Figura 45.** Gráfica de la potencia de señal sin línea de vista

Fuente: Autor

#### 4.4.2 Corrección de fallas:

Se realizan pruebas puntuales, enfocadas a identificar posibles errores que perjudiquen el buen desempeño del prototipo, de inmediato brindar una solución a las inconsistencias halladas haciéndolo cada vez más eficaz y confiable.

Un evento importante que es importante apuntar y que no se puede dejar pasar es el hecho de tener los nodos cerca del motor

Un evento esencial, que es importante apuntar y que no se puede dejar pasar es el hecho de tener los

nodos cerca del motor, en este caso el motor a combustión de una motocicleta AKT RSII de 150 c.c, fue el vehículo donde se realizaron las pruebas, uno de los nodos se ubicó cerca de su motor observando que los campos de energía y los ruidos generados por este motor no provocan ninguna especie de distorsiones ni tampoco corrompen la señal, los paquetes de datos transmitidos no sufren cambios, modificaciones, interrupciones. La potencia de la señal no se ve afectada, pues los niveles de decibels no varían y no se detectan cambios en la misma y la calidad de la información sigue siendo la misma, pues el nodo al estar funcionando cerca del motor no se ve influenciado de ningún modo al momento de analizar su desempeño, sigue trabajando normalmente.



**Figura 46.** Nodo emisor junto al motor de una motocicleta

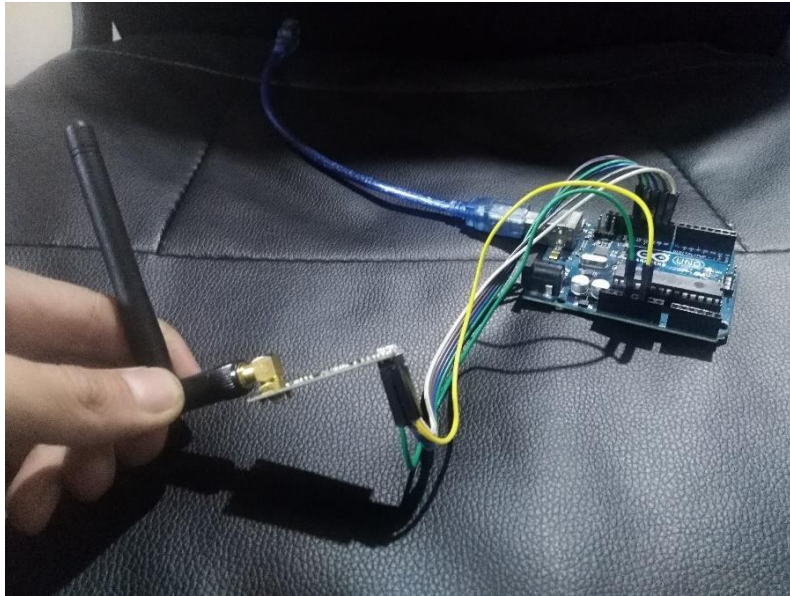
**Fuente:** Autor

```
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
Dato 1 Recibido= 12.00 Dato 2 Recibido= 24.00 Dato 3 Recibido= 30.00
```

**Figura 47.** Consola nodo receptor, recibiendo paquetes de datos desde el nodo emisor junto a un motor

**Fuente:** Arduino IDE

Durante las pruebas ejecutadas anteriormente, se ha encontrado una anomalía referente al prototipo, el adaptador del módulo NRF24L01 después de cierto tiempo considerable de uso en los nodos de aproximadamente una hora, este empieza a demandar una mayor cantidad de corriente superior a la que se le ha venido suministrando hasta el momento que deja inoperable el módulo y haciendo imposible el envío y transmisión de datos interrumpiendo por completo la comunicación pues en las consolas de los nodos no se lograba observar el registro del tráfico de paquetes, aclarando que estos hallazgos no influenciaron sobre las primeras pruebas realizadas y presentadas anteriormente. La solución a este inconveniente fue haber suspendido el adaptador y conectar la tarjeta Arduino Uno de nuevo directamente al módulo NRF24L01, no hubo percances en este cambio pues la configuración en la conectividad de los pines es igual, se vuelven a realizar las pruebas de conexión entre los nodos y el prototipo recupera su funcionamiento y vuelve a operar con normalidad.



**Figura 48.** Prototipo sin el adaptador NRF24L01

**Fuente:** Autor

#### **4.4.2.1 Planteamientos hacia posibles mejoras:**

Los cables o jumper que funcionan como puente para conectar la tarjeta e Arduino Uno con el módulo RF hacen un poco difícil la manipulación del prototipo, su terminal tipo macho suele desgastarse y perder grosor después de tanto uso, además de que el cableado tiene una longitud un poco excesiva de 10 cm, se realiza el corte de las puntas hasta medición justa de 3 cm, pues no interfiere en la manipulación ni en el funcionamiento del dispositivo haciendo más flexible, móvil, dinámico y mucho más adaptable el prototipo dentro del área del vehículo donde se desee instalar.

Como ya se había mencionado anteriormente, en lo posible no utilizar el adaptador NRF24L01, pues después de un tiempo bloquea las comunicaciones dejando sin funcionamiento el prototipo, con la conexión directa al módulo RF hace que el desarrollo sea más sencillo. Las puntas tipo macho, suelen doblarse o quebrarse por lo frágil en su composición, es preferible cambiarlas por algunos cables de cobre más gruesos y resistentes, o en su defecto conservarlos y soldarlos a las conexiones hembra dejándolos fijos sin que afecte el rendimiento del prototipo.

Para proteger a los componentes del prototipo como la tarjeta de Arduino, el módulo RF y sus conexiones, se recomienda construir una caja o alguna especie de cobertura con un material resistente contra diferentes componentes químicos y naturales también a diferentes condiciones climáticas como lluvia, humedad o altas temperaturas a los que se puede estar expuesto debido a los lugares en donde

estará operando, una cubierta hecha en aluminio, acrílico o trípex son buenas opciones para proteger los componentes electrónicos, eso si dejando a la intemperie la antena del módulo RF para que no comprometa las conexiones ni su calidad de cobertura.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el proyecto realizado y las investigaciones hechas a nivel de distintos sectores como son el las áreas de telecomunicaciones y la electrónica se puede concluir que las redes VANET (Vehicular Ad-hoc) son un campo muy interesante para el desarrollo de distintos trabajos que contribuyan con las nuevas tecnologías de las futuras generaciones y consolidar los sistemas de transporte inteligente en nuestro país y la región haciéndolos cada vez las sólidos y eficientes con el fin de poder aprovechar al máximo las utilidades que cada proyecto pueda brindar con orientación a mejorar la calidad de vida de los conductores y ciudadanos en aspectos de movilidad tanto como su experiencia en las vías y carreteras, prevención de accidentes de tránsito además de los sistemas de información y comunicaciones de vital importancia para establecer una red vehicular confiable, principalmente en ubicaciones urbanas predeterminadas.

Se ha logrado el desarrollo de un prototipo que ha cumplido con las expectativas básicas planteadas al inicio del proyecto, con la ayuda de tecnologías alternativas existentes como los módulos reprogramables y de código abierto de Arduino y un par de módulos de radiofrecuencia los cuales se convirtieron en la base del funcionamiento de la infraestructura de red que requiere el sistema de diagnóstico de freno de disco para transmitir las variables medidas a través de sus sensores; no obstante se logra construir un proyecto económico y asequible pues la inversión en los recursos y características técnicas del proyecto no superaron los \$38.000 (treinta y ocho mil pesos moneda corriente) haciendo el que el prototipo sea libre de costosas suscripciones de datos y dependientes de algunas infraestructuras de red necesarias para su funcionamiento, digna de una propiedad de las redes ad-hoc.

En cuanto a los protocolos utilizados para las pruebas de transmisión de los datos, se rigieron bajo el estándar de la IEEE destinada a las comunicaciones inalámbricas como lo es la 802.11 y para las redes vehiculares ad-hoc 802.11p, durante el desarrollo y sus respectivas pruebas los resultados fueron exitosos, la transmisión de los datos se realizaron mediante la frecuencia de los 2.4GHz, no experimentaron interferencias electromagnéticas tampoco ruidos de alguna otra índole, no fue ajena al intercambio de canales pues tampoco se observó ninguna anomalía en cuanto al comportamiento de las señales inalámbricas y los paquetes de datos que fueron transferidos entre los nodos, la sostenibilidad y soporte de los paquetes de datos y que no sufrieran degradación y pérdida en la calidad de señal se debe en gran parte al tipo de codificación que fue configurada la señal digital del prototipo, se trata de la PCM

(modulación por codificación de pulso) proporcionando confiabilidad y estabilidad gracias a los circuitos digitales que lo componen, las señales se almacenan y se escalan por unidad de tiempo y en la potencia de la señal eficientemente el cual ayudo a la supresión de redundancias, además contribuyo en la reducción de los efectos de ruido y a las interferencias. De la única perdida de paquetes y señal que se puede hablar es en cuanto a la relación con la distancia entre los nodos, se hicieron las pertinentes pruebas de los nodos implementados en un par de vehículos, en este caso dos motocicletas sobre una avenida terciaria de poco tránsito en la ciudad de Bogotá, la latencia y atenuación de la señal se vio afectada ya que es directamente proporcional a la distancia en metros de un nodo al otro, de acuerdo a los fenómenos observados se concluye que el prototipo básico desarrollado, cumple con la topología dinámica que lo demandan las de redes vehiculares ad-hoc (VANET) pues mientras los nodos estén en movimiento y dentro del área de cobertura logrado mediante la infraestructura de red diseñada (50 metros sin línea de vista y los primeros 130 metros con línea de vista).

Finalmente y en términos generales, se puede concluir también que fue muy satisfactorio la realización del presente proyecto ya que se ha logrado un impacto en cuanto a las investigaciones realizadas en torno a las redes vehiculares, pasando de escenarios simulados a un entorno físico y real como lo que se acaba de experimentar a su vez, se contribuye también en la parte de las telecomunicaciones complementando al semillero de investigación SIIT cuyo proyecto desarrollado es dirigido también como opción de grado para el programa de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

## BIBLIOGRAFIA

L. Long, A. Festag, R. Baldessari, Z. Wenhui,” (2009). Vehicular short-range communication for improving intersection safety”

Communications Magazine, IEEE, vol. 47 no. 11.

J.B. Kenney” VANET: Vehicular applications and Inter-Networking Technologies”

John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2009.

B. Heister, The. Hellmich, C.H Rokitansky, B. Walke, (1991) W. Zhu” Implementation of Inter-Vehicle and Vehicle-Beacon Communications Protocols for Short Range Mobile Radio Networks”

5th PROMETHEOUS Workshop, Germany

Lerma González, H. D. (2009). Metodología de la investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto.

Bogotá, D.C.: Ecoe ediciones.

Orozco, O. & Llano, G. (2014). Aplicaciones para redes VANET enfocadas en la sostenibilidad ambiental, una revisión sistemática, Investigación en Informática y Telecomunicaciones (i2T).

Universidad Icesi, Cali (Colombia).

Gélvez, N & López D. (2013) Análisis de la viabilidad en la implementación de VANET sobre el medio de transporte Transmilenio.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Sánchez, J.A, (2017). Redes vehiculares aplicadas a la movilidad inteligente y sostenibilidad ambiental en entornos de ciudades inteligentes.

Universidad de Oviedo, Asturias, España.

Schwartz, M. (2014). Arduino Networking. Birmingham: Packt Publishing.

Retrieved from:

<http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=834836&lang=es&site=eds-live&scope=site>

Naylamp Mecatronics, (2019, marzo 9) Especificaciones modulo NRF2401L. (en línea).

Recuperado de: <https://naylampmechatronics.com/>

Arduino, (2019, marzo 6) Especificaciones modulo Arduino Uno. (en línea).

Recuperado de: <https://www.arduino.cc/>

Preliminary Product Specification, (March 2018). nRF2401L+ Single Chip 2.4 GHz Transceiver.

Nordic semiconductor.

Rivas Beatriz, (2016) Capítulo IV – Transmisión de datos por RF - Diseño y construcción de un robot de vigilancia con paralizador.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Oukhatem, Geroumi. (2013). The Involvement of RSUs in VANETs: Survey and Perspectives.

Canal Capital. (2019, marzo).

Los principales motivos de accidentalidad en Bogotá. (en línea).

Recuperado de: <https://conexioncapital.co/motivos-accidentalidad-bogota/>

Cumbal, José Renato. (2017). Análisis de desempeño de una VANET mediante el uso de protocolos de enrutamiento y la ubicación optima de la infraestructura RSU para alcanzar un throughput eficiente en escenarios urbanos.

Escuela Politécnica Nacional de Quito.

## ANEXO 1

### CODIGO ARDUINO

Estas primeras líneas son el código base para empezar a usar el módulo RF NRF24L01

**Función Constructor:** Crea una nueva instancia (Objeto) de este dispositivo. La instancia se crea con los pines de comunicación SPI donde se especifican los pines de control conectados al módulo.

**Parámetro:**

`_cepin`: Pin del Arduino conectado al pin Chip Enable (CE) del módulo

`_cspin`: Pin del Arduino conectado al pin Chip Select (CS) del módulo

```
#define CE_PIN 9
```

```
#define CSN_PIN 10
```

```
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
```

**Luego se inicializa el objeto creado:**

```
radio.begin();
```

Ya se ha abierto un canal de escritura, ahora se asigna la dirección mediante una matriz de 5 bytes:

```
byte direccion[5] ={'c','a','n','a','l'};
```

```
radio.openWritingPipe(direccion);
```

Se realiza la transmisión de algún dato con un máximo de 32 bytes:

```
int dato=65;
```

```
bool ok = radio.write(&dato, sizeof(dato));
```

Verdadero si fué entregado con éxito y false si no se pudo enviar.

Se abre un canal de comunicación de lectura, cuya dirección debe ser de 5 bytes, donde el canal se especifica del 0 al 5 y con la dirección del canal para abrir:

```
byte direccion[5] ={'c','a','n','a','l'};
radio.openReadingPipe(1, direccion);
```

Se establece la siguiente función para escuchar los canales determinados de lectura:

```
if(radio.available()){
    radio.read(&data,sizeof(data));
}
```

Leer los datos disponibles en el canal de lectura:

```
int dato
if(radio.available()){
    radio.read(&dato,sizeof(dato));
}
```

### **Código de la placa emisora:**

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
//Declaremos los pines CE y el CSN
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
//Variable con la dirección del canal por donde se va a transmitir
byte direccion[5] ={'c','a','n','a','l'};
//creamos el objeto radio (NRF24L01)
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
//vector con los datos a enviar
float datos[3];
```

```

void setup()
{
  //inicializamos el NRF24L01

}
void loop()
{

  radio.begin();
  //inicializamos el puerto serie
  Serial.begin(9600);
  //Abrimos un canal de escritura
  radio.openWritingPipe(direccion);

  //cargamos los datos en la variable datos[]
  datos[0]=analogRead(0)* (5.0 / 1023.0);;
  datos[1]=millis();
  datos[2]=3.14;
  //enviamos los datos
  bool ok = radio.write(datos, sizeof(datos));
  //reportamos por el puerto serial los datos enviados
  if(ok)
  {
    Serial.print("Datos enviados: ");
    Serial.print(datos[0]);
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(datos[1]);
    Serial.print(" , ");
    Serial.println(datos[2]);
  }
  else

```

```

{
  Serial.println("no se ha podido enviar");
}
delay(1000);

```

### Código placa receptora:

```

//Variable con la dirección del canal que se va a leer
byte direccion[5] ={'c','a','n','a','l'};

//creamos el objeto radio (NRF24L01)
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
//vector para los datos recibidos
float datos[3];
void setup()
{
  //inicializamos el NRF24L01
  radio.begin();
  //inicializamos el puerto serie
  Serial.begin(9600);
  //Abrimos el canal de Lectura
  radio.openReadingPipe(1, direccion);
  //empezamos a escuchar por el canal
  radio.startListening();
}
void loop() {
  uint8_t numero_canal;
  //if ( radio.available(&numero_canal) )
  if ( radio.available() )
  {
    //Leemos los datos y los guardamos en la variable datos[]

```

```
radio.read(datos,sizeof(datos));
//reportamos por el puerto serial los datos recibidos
Serial.print("Dato0= " );
Serial.print(datos[0]);
Serial.print(" V, ");

Serial.print("Dato1= " );
Serial.print(datos[1]);
Serial.print(" ms, ");
Serial.print("Dato2= " );

    Serial.print (datos[2]);
}
else

{
    Serial.println("No hay datos de radio disponibles");
}
delay(1000);
}
```