

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

TRABAJO DE TITULACIÓN

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN EN VAGONES DE FERROCARRILES A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES IEC 61375 PARA LA RUTA TREN DEL HIELO I (RIOBAMBA – URBINA – LA MOYA – RIOBAMBA)

Autor:

Denis Andrés Maigualema Quimbita

Tutor:

Ing. PhD. Ciro Diego Radicelli García

**Riobamba - Ecuador
Año 2020**

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN EN VAGONES DE FERROCARRILES A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES IEC 61375 PARA LA RUTA TREN DEL HIELO I (RIOBAMBA – URBINA – LA MOYA – RIOBAMBA)”**, presentado por: **Denis Andrés Maigualema Quimbita**, y dirigido por el **Ing. PhD. Ciro Diego Radicelli García**.

Una vez revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en el cual consta el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman.

A handwritten signature in blue ink that reads "Ciro Radicelli". The signature is enclosed within a blue oval shape.

Ing. PhD. Ciro Radicelli
Tutor

A handwritten signature in blue ink that reads "Dr. Marlon Basantes". The signature is enclosed within a blue oval shape.

Dr. Marlon Basantes
Miembro del tribunal

A handwritten signature in blue ink that reads "Ing. José Jinez". The signature is enclosed within a blue oval shape.

Ing. José Jinez
Miembro del tribunal

DECLARACIÓN EXPUESTA DE TUTORÍA

En calidad de tutor del tema de investigación: “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN EN VAGONES DE FERROCARRILES A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES IEC 61375 PARA LA RUTA TREN DEL HIELO I (RIOBAMBA – URBINA – LA MOYA – RIOBAMBA)**”. Realizado por el Sr. **Denis Andrés Maigalema Quimbita**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, marzo 2020



Ing. PhD. Ciro Diego Radicelli

DOCENTE TUTOR

AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de investigación titulado: **“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN EN VAGONES DE FERROCARRILES A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES IEC 61375 PARA LA RUTA TREN DEL HIELO I (RIOBAMBA – URBINA – LA MOYA – RIOBAMBA)”** corresponde exclusivamente a Denis Andrés Maigualema Quimbita, Ing. PhD. Ciro Radicelli y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Denis Andrés Maigualema Quimbita
1718268814

DEDICATORIA

Este trabajado va dedicado al esfuerzo de mis padres, a mi hermano por el apoyo incondicional que me ayudaron a no rendirme en este largo trayecto enfrentando las adversidades y enseñándome que cada esfuerzo tendrá su recompensa, así también a cada una de las personas que con palabras de apoyo, aliento y motivación ayudaron a culminar esta meta.

Denis Migualema Q.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mis padres quienes con su esfuerzo y apoyo hicieron posibles que finalice mis estudios y continúe con nuevas metas, a mis amigos de la universidad con los que compartí tiempos inolvidables. Al Ing. PhD. Ciro Radicelli quien brindo sus conocimientos, paciencia siendo así un guía y amigo la investigación.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por guiar mi formación académica, profesional y humana, a los excelentes profesionales que me brindaron sus conocimientos que me permitió desarrollar mis capacidades.

Finalmente, agradezco a todas las personas que colaboraron de una u otra forma en el desarrollo del proyecto.

Denis Maigualema Q.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. GENERAL	5
1.2.2. ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. FERROCARRILES DEL ECUADOR	6
2.2. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN CABLEADAS.....	9
2.3. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	10
2.3.1. SISTEMA GLOBAL PARA LAS COMUNICACIONES MÓVILES PARA FERROCARRILES (GSM-R).....	10
2.3.2. HIGH-SPEED PACKET ACCESS (HSPA).....	12
2.3.3. LONG TERM EVOLUTION (LTE).....	12
2.3.4. INTEROPERABILIDAD MUNDIAL PARA ACCESO POR MICROONDAS (WiMAX).....	13
2.3.5. WIMAX MÓVIL	15
2.4. ESTÁNDAR IEC 61375	16
2.5. ESTÁNDAR ETHERNET TCN.....	17
CAPÍTULO III	21
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1. TIPO DE ESTUDIO	21
3.1.1. INVESTIGACIÓN APLICADA.....	21
3.1.2. INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA.....	21
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	21
3.2.1. MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO.....	21
3.2.2. MÉTODO EXPERIMENTAL.....	21
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	22
3.3.1. POBLACIÓN	22
3.3.2. MUESTRA.....	22
3.4. FUENTES DE INFORMACIÓN	23
3.5. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	24
3.7. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS	25
3.7.1. REQUERIMIENTOS Y SERVICIOS DE LA RED.....	25
3.7.2. DISEÑO DE LA RED.....	25

3.7.2.1.	Descarga de archivos de Internet.	26
3.7.2.2.	Acceso a páginas Web.....	27
3.7.2.3.	Voz IP.....	27
3.7.2.4.	Cámaras IP.....	28
3.7.2.5.	Ancho de Banda.	28
3.7.3.	EQUIPOS DE RED.....	29
3.7.3.1	TN-5900-ETBN	30
3.7.3.4.	OnCell G3150A-LTE.....	33
3.7.4.	SIMULACIÓN DE LA RED INTERNA.....	35
3.7.4.1.	Configuración inicial del Router RLOCOMOTORA.	38
3.7.4.2.	Configuración inicial del Switch SLOCOMOTORA.	39
3.7.4.2.1.	Configuración del Punto de Acceso.....	40
3.7.4.2.2.	Creación del servidor DHCP.	40
3.7.4.2.3.	Configuración de VLAN.....	41
3.7.4.2.4.	Configuración de telefonía IP.	43
3.7.4.2.5.	Configuración de IP para los equipos de control (cámara IP, Sensor de Humo, y alarma).	44
3.7.4.2.6.	Configuración en los Vagones.....	48
3.7.4.2.7.	Comunicación entre vagones.	50
3.7.5.	SIMULACIÓN DEL RADIO ENLACE.....	52
3.7.5.1.	Ubicación de las torres celulares y puntos de prueba.	53
3.7.5.2.	Configuración en Radio Mobile.	56
CAPÍTULO 4	60
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	60
4.1.	RESULTADOS	60
4.2.	DISCUSIONES.....	75
CAPÍTULO 5	77
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1.	CONCLUSIONES	77
5.2.	RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	79
PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	82
COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.....		82
CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN.....		84
ANEXOS.....		85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Instalación que están efectuando los Ferrocarriles suizos para asegurar la conexión internet en los trenes	4
Figura 2 Mapa de las rutas de Ferrocarriles del Ecuador	6
Figura 3 Ruta Tren del Hielo I.....	8
Figura 4 Escenarios de comunicación del transporte ferroviario inteligente	10
Figura 5 Buses de Comunicación TCN	16
Figura 6 Estructura de bus de dos niveles en el nuevo estándar Ethernet TCN	18
Figura 7 Red Jerárquica entre ETB y ECN	26
Figura 8 Router TN-5900-ETBN	30
Figura 9 Switch TN-5516A-8PoE	31
Figura 10 Punto de Acceso para cliente inalámbrico AWK-3131A-RCC.....	32
Figura 11 Equipo de conexión LTE OnCell G3150A-LTE	33
Figura 12 VPort P16-1MP-M12-CAM36.....	34
Figura 13 Topología Física inicial de la Locomotora, sin enlace inalámbrico.....	37
Figura 14 a) Configuración de contraseñas Punto de Acceso. b) Configuración en host para el acceso al Punto de acceso.	40
Figura 15 Asignación de Dirección IP por DHCP en cliente.	41
Figura 16 Configuración de puertos y asignación de VLAN	43
Figura 17 Prueba de asignación de extensiones para telefonía IP y prueba de conectividad entre los dispositivos.	44
Figura 18 Asignación de direcciones IP a) Detector de Humo, b) Sirena, c) Cámara IP	45
Figura 19 Asignación de IP estática al servidor de IoT.....	45
Figura 20 Creación de usuario y contraseña en el Servidor	46
Figura 21 Ingreso de dirección del Servidor e ingreso de las claves de acceso.	46
Figura 22 Dispositivos agregados al servidor.....	47
Figura 23 Configuración de acción que activa la alarma al detectar humo.....	47
Figura 24 Red de comunicación para cada vagón, Locomotora y 1 Vagón.	50
Figura 25 Prueba de conectividad de teléfonos IP entre Locomotora y Vagon 3.	52
Figura 26 Mapa de cobertura celular de la operadora de telefonía móvil Claro.	53
Figura 27 Configuración de las redes para las tres estaciones base de telefonía.....	57

Figura 28 Configuración de los sistemas. a) Sistema Estación Base. b) Sistema Ferrocarril.	58
Figura 29 Ingreso de las coordenadas de las Radio Base y los 4 Puntos de Prueba.	58
Figura 30 Asignación de los miembros a las redes. a) Configuración de unidad EB-Riobamba. b) Configuración de unidad Ferrocarril-P1.	59
Figura 31 Prueba de LLDP en el RV2.	62
Figura 32 Información de las redes IP en RV2.	63
Figura 33 Dispositivos IoT en el servidor de Dispositivos.	64
Figura 34 Prueba de asignación de dirección IP mediante servidor DHCP en Portátil.	64
Figura 35 Prueba de activación de sirenas al detectar niveles de dióxido de carbono proveniente del vehículo viejo.	65
Figura 36 Niveles de recepción de CO2 en los sensores.	65
Figura 37 Ping de prueba realizado desde portátil en locomotora hacia host en el vagón 3 y 4.	66
Figura 38 Pruebas de acceso con páginas HTTP. a) Facebook. b) Google. c) Yahoo!.	67
Figura 39 Página de información de la ruta Tren del Hielo I.	68
Figura 40 Comando traceroute desde host vagón 4 hacia Facebook.	68
Figura 41 Patrones de radiación. a) Antena tipo corner. b) Antena tipo dipolo.	70
Figura 42 Vista general del estado de los enlaces, ruta Tren del Hielo I.	71
Figura 43 Enlace entre EB-Riobamba y Ferrocarril-P1.	72
Figura 44 Enlace de EB-La Moya hacia el Ferrocarril-P2.	72
Figura 45 Enlace de EB-La Moya hacia el Ferrocarril-P2.	73
Figura 46 Enlace de EB-Urbina hacia el Ferrocarril-P4.	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rutas Turísticas actuales en tren Ecuador	7
Tabla 2 Comparación entre LTE y LTE-Advanced	13
Tabla 3 Evolución de los estándares de WiMAX.....	14
Tabla 4 Características del sistema WiMAX con terminal móvil	15
Tabla 5 Comparación entre WTB y ETB.	18
Tabla 6 Comparación entre MVB y ECN.	19
Tabla 7 Operacionalización de las variables	24
Tabla 8 Comparativa de códec	28
Tabla 9 Cálculo Ancho de Banda requerido.....	29
Tabla 10 Velocidades de datos del equipo OnCell G3150A-LTE	34
Tabla 11 Equipos de Simulación	35
Tabla 12 Direccionamiento de la red interna del vagón	36
Tabla 13 Direcciones para enlaces ETB.....	36
Tabla 14 Direcciones de red para los dispositivos de la Locomotora	38
Tabla 15 Tabla de direcciones IP en el Vagón 1.	48
Tabla 16 Tabla de direcciones IP en el Vagón 2.	48
Tabla 17 Tabla de direcciones IP en el Vagón 3.	49
Tabla 18 Tabla de direcciones IP en el Vagón 4.	49
Tabla 19 Estación Riobamba (Estación del tren)	54
Tabla 20 Estación La Moya.....	54
Tabla 21 Estación Urbina	54
Tabla 22 Punto de prueba 1.	55
Tabla 23 Punto de prueba 2.	55
Tabla 24 Punto de prueba 3.	55
Tabla 25 Punto de prueba 4.	55
Tabla 26 Características de la Antena panel exterior 700-2700 MHz.....	56
Tabla 27 Comparación de las pruebas de ping realizadas desde un host de cada vagón.	69
Tabla 28 Niveles de recepción de los 4 enlaces.	74
Tabla 29 Categorías de recepción.....	75

RESUMEN

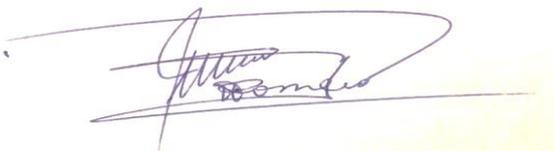
La necesidad de servicios de comunicación en ambientes móviles ha motivado al desarrollo de nuevas tecnologías en el sector ferroviario es así como se plantea el diseño y la simulación de una red de comunicación para vagones de ferrocarriles del Ecuador en la ruta Tren del Hielo I, dicha red se diseñó basándose en estándares y protocolos de comunicación ferroviarios actuales, la red se fundamenta en la capacidad de pasajeros que son transportados en dicha ruta, considerando además las condiciones meteorológicas que deben soportar así como el ambiente rústico en la que los equipos deben operar sin inconvenientes. En este sentido, la red mantiene una topología jerárquica en donde la red inter-vagones estuvo compuesta por equipos con mayores capacidades, debido a que dirigen el tráfico de vagón a vagón; mientras que los equipos intra-vagones fueron utilizados para crear una red interna propia, donde además de permitir la conexión con los dispositivos de usuarios finales, se utilizó para realizar labores de control y alerta. Por otra parte, para la comunicación tren a infraestructura se eligió una tecnología de comunicación inalámbrica la cual satisface el requerimiento calculado de ancho de banda, a la vez que es capaz de mantener el nivel de recepción dentro de los valores aceptables que garantizan la conectividad y la transmisión de datos en toda la ruta, puesto que se utilizó una banda de frecuencia con menor susceptibilidad a las condiciones climáticas en dicha zona.

Palabras clave: Train Communication Network, Ethernet Train Backbone, Ethernet Consist Network, Wire Train bus, Multifunction Vehicle Bus.

ABSTRACT

The need for communication services in mobile environments has motivated the development of new technologies in the railway sector; this is how the design and simulation of a communication network for railway wagons in Ecuador on the “*Tren del Hielo I*” route, this network was designed based on current railway communication standards and protocols, the network is based on the capacity of passengers that are transported on this route, also considering the meteorological conditions that they must endure as well as the rustic environment in which the equipment must operate without drawbacks. In this sense, the network maintains a hierarchical topology where the inter-wagon network was made up of equipment with greater capacities because they direct traffic from wagon to wagon. In contrast, the intra-wagon equipment was used to create its internal network, where in addition to allowing connection with end-user devices, it was used to carry out control and alert tasks. On the other hand, for the train to infrastructure communication, wireless communication technology was chosen which satisfies the calculated bandwidth requirement, while being able to maintain the reception level within the acceptable values that guarantee connectivity and data transmission throughout the route, since a frequency band with less susceptibility to climatic conditions in this area was used.

Keywords: Train Communication Network, Ethernet Train Backbone, Ethernet Consist Network, Wire Train bus, Multifunction Vehicle Bus.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Hugo Romero', is written over a yellow rectangular background.

Reviewed by: Romero, Hugo
Language Skills Teacher

INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes dentro de los ferrocarriles es la comunicación, desde su aparición las primeras maneras de comunicación eran verbales o escritas, por ello adoptaron también el telégrafo con el cual se podía enviar información a largas distancias con lo que se podía gestionar el tráfico entre las distintas estaciones. Posteriormente apareció el teléfono lo cual ayudó a dar un gran paso en temas de comunicación, sin embargo, esta tecnología no fue aplicada de manera general debido a que se requería implantar una estructura costosa para esos tiempos. En sí la forma de operación de la telefonía consistía en realizar llamadas desde puntos específicos a fin de establecer contacto con el maquinista en determinadas estaciones, razón por la cual la limitación de movilidad era evidente (Muñiz Aza y Reviriego Hernández, 2011).

Mientras aparecían las nuevas tecnologías de comunicación, estas se iban acoplando a los ferrocarriles, a fin de resolver el inconveniente relacionado con la movilidad; aunque inicialmente estaban diseñadas para presentar información de diagnóstico hacia el maquinista y el personal de mantenimiento con mensajes cortos o con alerta (Masson y Berbineau, 2017). Sin embargo, hoy en día, los requerimientos no son tan simples ya se requiere mayor tráfico de datos, sobre todo por la aparición de la infraestructura ferroviaria inteligente, la que permite brindar servicios que ayudan o mejoran la experiencia de viaje del usuario, como por ejemplo acceder a servicios interactivos que detallen diferentes tipos de información como estado del clima, o conocer una descripción actualizada de lo que sucede a su entorno, entre otras, y para llegar a este punto de especificidad, la tecnología Ethernet aplicada a ferrocarriles es un buen referente. Así hoy en día los trenes poseen múltiples sistemas de información como el de control de pasajeros, sistemas de vigilancia IP, control de cerraduras y anclajes, entre otros que son esenciales cuando el ferrocarril se pone en movimiento, razón por la cual los datos deben ser confiables y veraces, y es justamente por este motivo que aparecen los estándares IEC 61375 encargados de las redes de comunicación en trenes utilizando el protocolo Ethernet, el mismo que se desarrolló para comunicar entre si dispositivos electrónicos embarcados en un tren, permitiendo la compatibilidad ya sea con los dispositivos

instalados en el mismo o en diferentes vagones, permitiendo de esta manera brindar diferentes tipos de servicios digitales. (Rodríguez, García, Fernández, y Frías, 2019).

IEC 61375-1 contiene toda la información sobre la arquitectura general del estándar que en sus inicios estaba formada por dos buses jerárquicos Wire Train Bus y Multifunction Vehicle Bus, que con el paso de los años y debido a la demanda de transmisión de información necesitaban de un mayor ancho de banda, por ello con Ethernet se desarrollan nuevas normas como IEC 61375-2-5 que brinda a los fabricantes y operadores de vehículos ferroviarios acceso a las últimas técnicas de comunicación, incluido el ancho de banda de datos amplio, la comunicación de datos a alta velocidad, las interfaces de dispositivo estandarizadas y la fácil integración de cámaras, pantallas, WLAN y otros dispositivos. (MODELEC Data-Industrie, s.f.), por otra parte la norma IEC 61375-3-4 Ethernet Consist Network generalmente está organizada en una topología tipo anillo para proporcionar rutas redundantes en caso de falla del cable o del switch, proporciona una interfaz de Protocolo de Internet IP; con lo cual entre las dos normas con complementos que facilitan la comunicación en ferrocarriles. (Zuloaga, Astarloa, Jimenez, y Araujo, 2014). Estas tecnologías necesitan un sistema de comunicación de a bordo tierra (on-board to ground communication) definido en la norma IEC 61375, que habla sobre las tecnologías inalámbricas de comunicación desde el tren hacia tierra. (Bouaziz, Yan, Kassab, Soler, y Berbineau, 2018).

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Nos encontramos en un punto en el que la conectividad es un factor preponderante no solo en lugares de alta concurrencia como centros educativos, restaurantes, parques, supermercados, entre otros; sino que también se tiene la necesidad de este servicio en los diferentes medios de transporte.

En este sentido, hoy en día distintos países de América Latina se han dado cuenta que, para ser competitivos en la exportación de sus productos regionales, deben mejorar la estructura de costos de transporte interior, y por lo tanto la reactivación ferroviaria justifica los planes de inversión que se están llevando a cabo. (NU. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura, 2013).

En Ecuador, la empresa Ferrocarriles del Ecuador ha puesto en marcha un Plan de Recuperación del Sistema Ferroviario, a efectos de operar con eficiencia y contribuir al desarrollo socioeconómico del país, mediante el fortalecimiento de las actividades productivas, que fomenten el turismo y la valoración histórico-patrimonial, con responsabilidad social (Clemente, 2013), sin embargo la mayoría de los trenes que opera en el país no cuenta con información actualizada para el visitante como por ejemplo la ruta recorrida, temperatura del ambiente, tiempo de llegada, atracciones en puntos intermedios del recorrido, historia de cada punto (ciudad, parroquia, pueblo) por el que pasan el ferrocarril entre otras. Esto considerando que la mayor población que utiliza este medio de transporte son extranjeros de diferentes nacionalidades que al tener a primera mano la información antes descrita, podrían recomendar un recorrido en particular, con lo cual a través del uso de la tecnología se podría contribuir al turismo local, regional y nacional.

Es importante destacar que parte de la sensación agradable de realizar un viaje es tener acceso ilimitado a diferentes servicios que son provistos por la eficiente conectividad a una red de datos, sin embargo la realización de una red en un entorno a bordo (vagones de un ferrocarril) atiende a características especiales del mismo, “a diferencia de las redes tradicionales donde la configuración es estática, en los convoyes se intercambian de posición vagones de forma continua atendiendo a diferentes razones operativas”

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. GENERAL

- Diseñar y simular una red de comunicación en vagones de ferrocarriles a través de la utilización de los estándares IEC 61375 para la ruta Tren del Hielo I (Riobamba – Urbina – La Moya – Riobamba).

1.2.2. ESPECÍFICOS

- Analizar los estándares IEC 61375-2-5 (ETB) e IEC 61375-3-4 (ECN).
- Diseñar una red de comunicación que opere en los vagones de un ferrocarril, utilizando los estándares IEC 61375-2-5 e IEC 61375-3-4.
- Simular la red de comunicación en vagones de ferrocarriles con los servicios a ser ofertados en el ferrocarril a través de la red de comunicación diseñada.
- Realizar una simulación de la comunicación inalámbrica para la ruta Tren del Hielo I (Riobamba – Urbina – La Moya – Riobamba).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. FERROCARRILES DEL ECUADOR

Es una empresa pública del Ecuador encargada del sistema ferroviario que hoy en día es conocido como Tren Ecuador; mismo que posee trenes turísticos patrimoniales que realizan un recorrido de 500 Km alrededor del Ecuador (Tren Ecuador, 2018). El Tren Ecuador es conocido como el tren más difícil del mundo, este inició en el gobierno de Gabriel García Moreno y a lo largo de la historia fue desarrollado con algunos inconvenientes políticos, al fin pudo darse por finalizado gracias al esfuerzo del Gral. Eloy Alfaro, quedando así comunicados Quito y Guayaquil las ciudades principales del Ecuador (Avilés, s.f.).



Figura 2 Mapa de las rutas de Ferrocarriles del Ecuador

Fuente: (Sharemap , 2018)

Actualmente tren Ecuador posee 6 rutas turísticas las cuales están detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 1 Rutas Turísticas actuales en tren Ecuador

Fuente: Autor

Ruta	Recorrido	Precio
Tren de la Libertad I	Ibarra – Salinas de Ibarra – Ibarra	\$33.00
Tren de los Volcanes	Quito – El Boliche – Machachi – Quito	\$39.00
Tren del Hielo I	Riobamba – Urbina – La Moya – Riobamba	\$25.00
Tren del Hielo II	Ambato – Mocha – Urbina – Cevallos – Ambato	\$25.00
Nariz del Diablo	Alausí – Sibambe - Alausí	\$33.00
Tren de la Dulzura	Durán – Yaguachi – Naranjito – Milagro – Duran	\$32.00

- **Infraestructura del sistema ferroviario en la ruta Tren del Hielo I.**

Esta ruta está dentro de la provincia de Chimborazo la cual tiene una longitud de línea férrea de 32 Kilómetros, iniciando en la ciudad de Riobamba y finaliza en Urbina; para ser más específicos inicia en la abscisa del kilómetro 230 y termina en Urbina que corresponde al kilómetro 262 (Moltalvo, 2019).

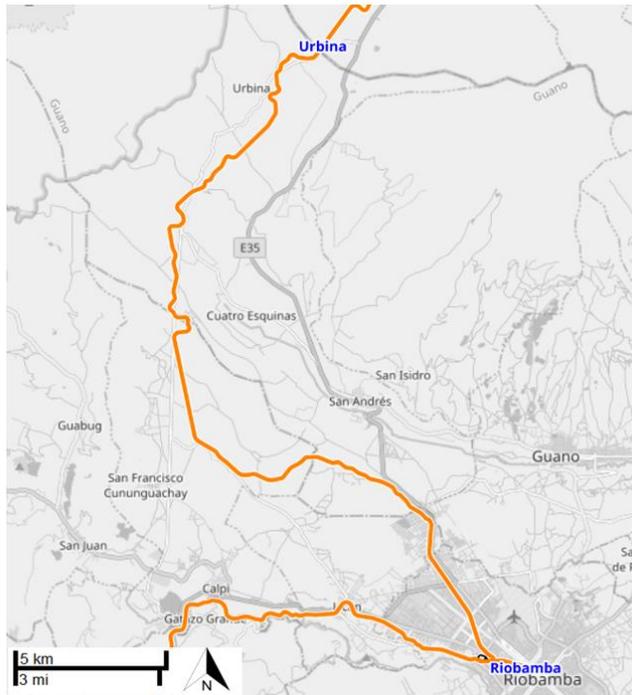


Figura 3 Ruta Tren del Hielo I

Fuente: (OpenRailwayMap, 2019)

El ferrocarril que cubre esta ruta en la actualidad está conformado por una locomotora electromecánica con un motor a Diésel, que alcanza una velocidad máxima de 55 Km/h, con una carga máxima de 80 Toneladas. En lo referente a los coches, todos poseen generadores de energía eléctrica a gasolina que entregan una alimentación de 110 VAC con lo que un solo coche puede alimentar al resto de coches, esto mediante la conexión de un cable #12 concéntrico bipolar. Los coches tienen una capacidad para 30 personas y cuentan iluminación ambiente, algunos prestan servicio de cafetería y servicio de audio que sirve para las explicación turística en el viaje, por lo general cuando el ferrocarril inicia el recorrido va conformado por la locomotora y 3 o 4 coches dependiendo de la demanda de turistas y el orden de los coches es aleatorio (Calero, 2019).

Los trenes son patrimoniales en los últimos años no han tenido mejoras en lo referente a tecnología, ya que carecen de todo tipo de comunicación, siendo así el celular su medio de comunicación entre los operadores de locomotoras y los encargados del monitoreo en las estaciones la cual se ve limitada por la topografía del terreno que comprende esta ruta, llena de bosque y con alturas que van de los 2700 a los 3600 msnm; lo que impide que exista cobertura de telefonía móvil, o en puntos que existe conexión móvil no da acceso a servicios de Internet.

2.2. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN CABLEADAS

Según Lüdicke (2019) existen tres tipos principales de tecnologías de comunicación cableadas que son:

- **Conexiones de cable directo:** es la forma de conexión más simple, debido a lo cual presenta varios déficits, su ancho de banda es menor a los 100 KHz, lo que hace que la transmisión de múltiples datos sea deficiente.
- **Tecnologías de bus:** en esta conexión los datos son transmitidos de forma digital y codificados a tiempo, su topología de maestro esclavo hace que exista periodos de tiempo en la comunicación que resultan en una velocidad de 1.5 Mbps para transmitir datos, siendo así idóneo para un sistema de control.
- **Tecnologías de red conmutadas:** es importante reconocer que las tecnologías de bus poseen velocidades bajas haciendo que el ancho de banda se limite y por consecuencia no se puede ocupar en aplicaciones nuevas como video de cámaras, acceso a internet, streaming. Con aplicaciones de TCP/IP se puede llegar a los 10 Gbps, pero siendo necesario utilizar equipos tales como Gateways, Switchs y Routers.

Según el tipo de comunicación tenemos diferentes escenarios (Briso Rodríguez & Guan, 2017):

- **Comunicación Intra-vagón.** – es la red interna del tren, conecta con los dispositivos finales.
- **Comunicación Tren a Infraestructura.** – red que se comunica con la infraestructura fuera del ferrocarril, como las redes de telefonía o con otras tecnologías de comunicación inalámbrica.
- **Comunicación Inter-vagón.** – red de comunicación entre vagones, utiliza cable, aunque hoy en día se encuentra en proceso de estudio para comunicación inalámbrica.
- **Comunicación Infraestructura a Infraestructura.** – traspaso de información que se da entre las diferentes torres de comunicación.
- **Comunicación dentro de la estación.** – redes de acceso entre los usuarios finales y puntos de acceso en la estación.

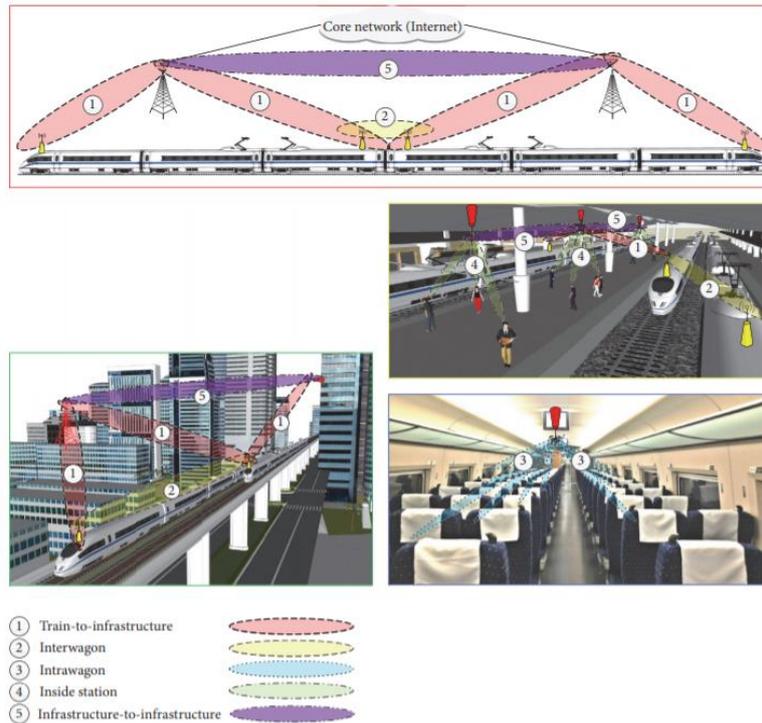


Figura 4 Escenarios de comunicación del transporte ferroviario inteligente

Fuente: (Briso Rodríguez & Guan, 2017)

2.3. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Los sistemas de transporte se vuelven más automatizados (Briso Rodríguez y Guan, 2017), por lo cual se necesita aumentar la demanda en las comunicaciones inalámbricas y en los sensores. Los ferrocarriles requieren comunicaciones inalámbricas que permita la implementación en cinco escenarios: Tren a la Infraestructura, Inter-vagón, Intra-vagón, Dentro de la estación, e Infraestructura a Infraestructura, como se muestra en la figura 4 en donde detalla el área de cobertura que debe tener cada sección (Briso Rodríguez y Guan, 2017).

Las comunicaciones inalámbricas más utilizadas a lo largo de los años son:

2.3.1. SISTEMA GLOBAL PARA LAS COMUNICACIONES MÓVILES PARA FERROCARRILES (GSM-R)

GSM (Global System for Mobile Communications) es un sistema estándar que nació de la necesidad de unificar varios sistemas, permitiendo así la interoperabilidad de las redes de comunicación móvil. Se elaboró una banda originalmente reservada que tiene dos sub-bandas de 25 MHz cada una: 890-915 MHz y 935-960 MHz, una para enlace ascendente

y otra para descendente pues estas sub-bandas operan en modo de duplexación (Frequency Division Duplex) FDD. El estándar GSM-R (GSM-Railway) se desarrolló en la fase 2+ que se emplea específicamente en la comunicación por datos, voz y aplicaciones ferroviarias. Este estándar opera en rango de frecuencia diferente al GSM evitando así interferencias con las redes GSM públicas (Al Maimouni, 2015).

Funcionalidades

GSM-R transmite voz y datos entre el tren e instalaciones fijas, según la EIRENE (European Integrated Radio Enhanced Network) tiene funcionalidades como:

- Aplicaciones ferroviarias
 - Comunicación entre controladores y maquinistas
 - Maniobras
 - Control de trenes
 - Mantenimiento de vías
 - Comunicaciones a larga distancia
 - Comunicaciones locales
- Operación ferroviaria
 - Numeración funcional
 - Numeración posicional
 - Filtrado por matriz de accesos
 - Llamadas de alta prioridad

Arquitectura de la red GSM-R

Esta arquitectura es similar a la de GSM es un sistema de telefonía móvil tradicional, pero se añaden módulos y dispositivos que hacen al sistema obtener las funcionalidades necesarias y así cumplir con la demanda de servicios (Ballesteros, 2009).

El sistema GSM-R tiene los siguientes subsistemas o bloques funcionales:

- **Subsistema de Estaciones Móviles (MS).** – Compuesto por conjunto de terminales móviles de la línea; a nivel de terminales portátiles y de elementos instalados en cada cabina del tren (Estrada y Reinoso, 2009).

- **Subsistema de estaciones Base (BSS).** – Constituido por base y repetidores que están en la infraestructura construida, que estarán a lo largo de la línea férrea que proporción cobertura radioeléctrica (Estrada y Reinoso, 2009).
- **Subsistema de Conmutación de Red (NSS).** – Consta de bases de datos principales ubicado en el centro de control provee llamadas de emergencia, SMS, gestión en la red. (Estrada y Reinoso, 2009).
- **Subsistema de Operación y Mantenimiento de Red (OSM).** – Gestiona el control de recursos y servicios de la red (Ballesteros, 2009).

2.3.2. HIGH-SPEED PACKET ACCESS (HSPA)

Se desarrolló luego y de forma complementaria a la tecnología 3G Universal Mobile Telecommunication System (UMTS). Posee dos segmentos HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y de HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), que hace referencia al acceso de datos en alta velocidad de ambas direcciones para la transmisión (Fernandez, 2013)

HSDPA tiene una capacidad máxima de transferencia de información que puede llegar hasta 14 Mbps, también hay una reducción significativa de la latencia punto a punto que es el tiempo que se demora un paquete IP en trasladarse del terminal de usuario HSDPA hasta llegar al servidor de Internet y regresar. (Fernandez, 2013).

2.3.3. LONG TERM EVOLUTION (LTE)

Es una iniciativa para mejorar nuevos estándares, provee de una arquitectura centralizada que sirve como tecnología de acceso potencial, además es la tecnología por radio 3GPP más reciente y que genera velocidades altas (Regan y Chen, 2015).

Esta evolución hace que el flujo de bits por segundo se aumente por lo tanto se necesita velocidades de trasmisión diferentes pues los temas 3G no lo soportan. Siendo el sistema LTE que permite al usuario alcanzar caudales máximos y velocidades de pico más altas que 3G Y 3.5G (Al Maimouni, 2015). A la vez que una de sus principales características es la de reducir considerablemente la latencia.

Pese a que LTE ofrece grandes velocidades a comparación de tecnologías de comunicaciones móviles pasadas, aparece LTE- Advanced (LTE-A) la cual es una versión mejorada que cuenta con una capacidad de transmisión que supera los 100MHz de ancho de banda y con canales de radio que superan los 40MHz, a la vez que posee compatibilidad con las versiones anteriores. (Yupanki Chela, 2016).

Una comparación entre LTE y LTE-A se presenta en la tabla 2 en donde se muestran sus principales características de ambas tecnologías.

Tabla 2 Comparación entre LTE y LTE-Advanced

Fuente: Autor

Parámetro	LTE	LTE-Advanced
Ancho de banda	1.4, 3, 5,10, 15, 20 MHz	Hasta 100 MHz
Velocidad de subida	300 Mbps	1.2 Gbps
Velocidad de bajada	75 Mbps	600 Mbps
Modulación	64 QAM	64 QAM
Latencia	<30 ms	<10 ms
Movilidad	Velocidad Optima hasta 120 Km/h Se mantiene el enlace hasta los 350 Km/h	Velocidad Optima hasta 120 Km/h Se mantiene el enlace hasta los 350 Km/h
Número de usuarios en celda	200 usuarios en 5 MHz	600 usuarios en 5 MHz

2.3.4. INTEROPERABILIDAD MUNDIAL PARA ACCESO POR MICROONDAS (WiMAX)

El sistema WiMAX hace posible la transmisión inalámbrica de datos, voz y videos en áreas con un radio mayor a 50km, ha evolucionado en un estándar IEEE de la familia

802.16. Al principio fue orientado al uso eficiente del ancho de banda, comprendida entre 10GHz y 60GHZ (Al Maimouni, 2015).

Tabla 3 Evolución de los estándares de WiMAX

Fuente: Autor

Estándar	Descripción
802.16	Intervalos de frecuencia de 10 a 66 GHz
802.16 ^a	2 a 11 GHz con sistema NLOS y LOS, protocolo PTP Y PTMP
802.16b	Frecuencia de 5 y 6 GHz
802.16c	10-66 GHz
802.16d	Perfiles aprobados por el WiMAZ Forum
802.16e	124 Mbps
802.16f	Gestion MIB
802.16g	Gestión de niveles
802.16m	Velocidad de 1 Gbit/s en reposo y 100 Mbit en movimiento
802.16m-2011	Mobile WiMAX Release2

Arquitectura de WiMAX

Está basada en el estándar de WiMAX IEEE 802.16/ETSI HIPERMAN que busca dar varios servicios con velocidad y bajo costo (Anglés, 2009).

Se diseñó con el fin de soportar tecnología IP, las aplicaciones son independientes de la tecnología de transporte, con una arquitectura unificada que soporta despliegues fijos, nómadas y móviles. Se utiliza el protocolo IP para transporte del tráfico de usuarios y para señalización (Al Maimouni, 2015).

Características

- Cubre una área de 50 km llegando a velocidades puedes ser hasta de 75 Mbps cuando posee espectro a eficiencia espectral de 5.0 bps/Hz, Con espectro de 10 MHz se obtiene 6.7 MHz y 25 MHz (Al Maimouni, 2015), (Amaguaña, Chamba, y Cobo, 2010).
- Con esta tecnología se puede usar videos y voz por un canal, usando VoIP (voz sobre Internet Protocolo), videoconferencias (Amaguaña, Chamba, y Cobo, 2010).

2.3.5. WIMAX MÓVIL

WiMAX trabaja bajo el protocolo 802.16e, es una banda ancha que utiliza 2 - 3 GHz con velocidad de 30 Mbps y un rango de hasta 3.5 K. (Amaguaña, Chamba, y Cobo, 2010).

Solución inalámbrica de banda ancha, existe convergencia entre banda fija y móvil, la interfaz aire de WiMAX móvil usa OFDMA (Orthogonal Frequency Division Access) pues así reduce las consecuencias de la propagación multitrayecto donde no hay visión directa de antenas. OFDM se creó al inicio para transmitir señal única (Al Maimouni, 2015).

Tabla 4 Características del sistema WiMAX con terminal móvil

Fuente: Autor

Estándar	802.16e
Espectro	< 6GHz
Funcionamiento	No hay visión directa
Tasa de Bit	Límite de 15Mbit/s si hay canales de 5MHz
Modulación	OFDM con 256 subportadoras de QPSK, 16QAM, 64QAM
Movilidad	≤ 113 km/h
Ancho de banda	1,25-20MHz
Radio de Celda Típico	2-5 Km

2.4. ESTÁNDAR IEC 61375

Train Communication Network (TCN) es un estándar de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) que se desarrolló por la necesidad de obtener un sistema de comunicación ferroviaria con especificaciones como: condiciones ambientales, robustez, disponibilidad segura y para ciertos momentos en tiempo real. (Daniel Lüdicke, 2019).

Tiene como objetivo la interoperabilidad tanto en dispositivos instalados como la comunicación entre diferentes vehículos; para lo cual utiliza una arquitectura de buses los cuales están jerarquizados en dos niveles, uno para la comunicación entre vehículos y otro para la comunicación con los dispositivos dentro del vehículo (Morcillo García, Fernandez, y Muñoz Frias, 2006).

Desde su aparición como estándar se establecieron buses para la comunicación los cuales son WTB (Wire Train Bus) y MVB (Multifunction Vehicle Bus), tienen una arquitectura esclavo – maestro que cumplen funciones las cuales son (Iturbe, Jiménez, Zuloaga, Lázaro, y Martín, 2010):

- **Wire Train Bus.** – interconecta equipos de diferentes coches del mismo tren. Posee una velocidad de comunicación máxima de 1Mbps y 32 nodos máximo.
- **Multifunction Vehicle Bus.** – interconecta dispositivos finales en el mismo coche. 1.5Mbps, 255 estaciones programables y 4095 sensores/actuadores simples.

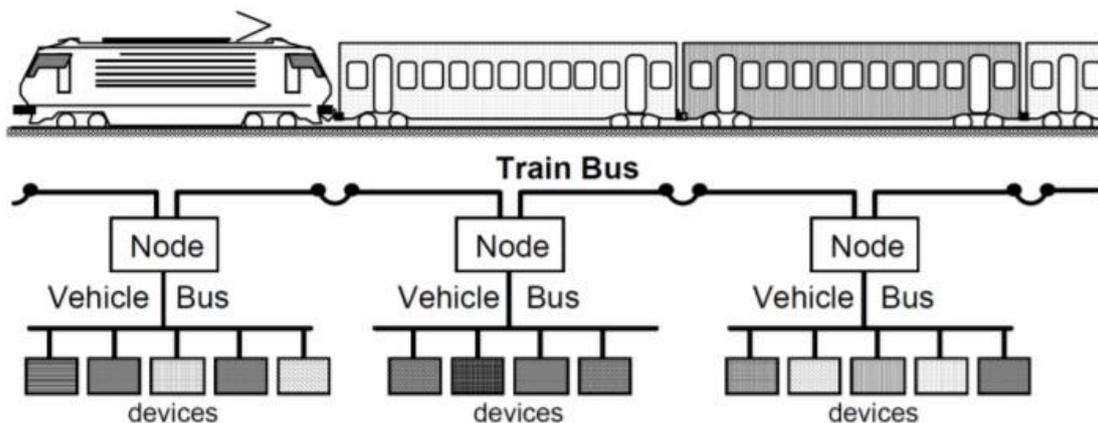


Figura 5 Buses de Comunicación TCN

Fuente: (Holmberg, 2015)

Con estas velocidades de comunicación entre 1 y 1.5 Mbps se puede tener comunicación en tiempo real, sin embargo, el tamaño de los mensajes es limitado. En sistemas ferroviarios los datos de comunicación se han incrementado drásticamente, necesitando de mensajes grandes y a una velocidad mayor (Ma, Zhong, Cao, Xing, y Zhang, 2014).

Por ello hoy en día debido a la demanda de transferencia de archivos y comunicación de grandes mensajes de información se está utilizando Ethernet como solución para satisfacer esta demanda no solo en aplicaciones normales sino también para el sector industrial, en aplicaciones críticas de control, ayudando a una notable reducción en cuanto a costos. Además de integrar una mayor cantidad de servicios, sistemas y de manejar de forma más simple la red (Zuloaga, Astarloa, Jiménez, y Bidarte, 2013). Algunas de las tecnologías industriales que actualmente utilizan Ethernet para control son:

- Ethernet/IP
- EtherCAT
- Ethernet Powerlink
- Profinet
- SERCOS III

2.5. ESTÁNDAR ETHERNET TCN

Ethernet es tomado en cuenta para redes de comunicación en ferrocarriles y por ello se desarrollaron varios estándares a lo largo de los años por la evolución constante en tecnologías de comunicación. De todos los estándares actuales los que nos permitirán una comunicación entre vagones de ferrocarriles son dos estándares que son complementos el uno del otro y los cuales están basados en el TCN original pero que presentan una gran mejora con respecto al modelo original, dotando de mayor capacidad de envío de información por su mayor ancho de banda, estos estándares son:

- **IEC 61375-2-5.** – Ethernet Train Backbone “ETB”, es el bus de comunicación inter – vagón similar a la WTB.
- **IEC 61375-3-4.** – Ethernet Consist Network “ECN”, conecta es la red de comunicación dentro del vagón.

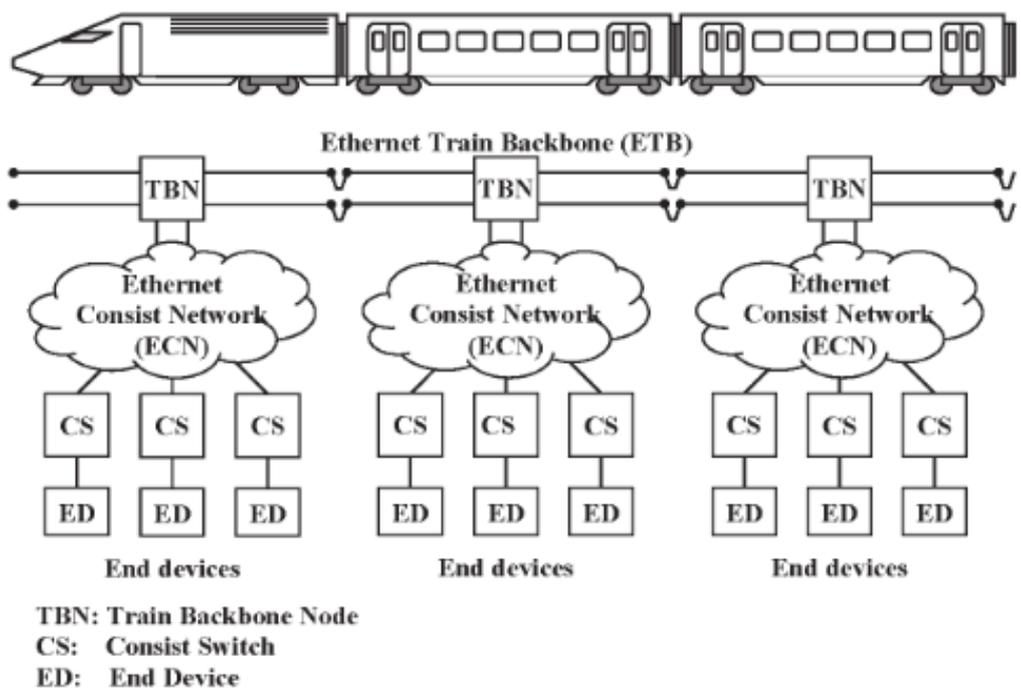


Figura 6 Estructura de bus de dos niveles en el nuevo estándar Ethernet TCN

Fuente: (Zuloaga, Astarloa, Jiménez, y Bidarte, 2013)

Estos estándares poseen una arquitectura jerárquica similar a la de los buses WTB y MVB con la diferencia que esos utilizan Ethernet logrando velocidades de comunicación superior, y permitiendo la creación de más redes y obviamente logrando transferencia de datos de mayor tamaño, como video en tiempo real, y varios servicios para los diferentes dispositivos finales. Por tal motivo se pueden decir que estos estándares son el reemplazo de WTB y MVB (Shift2Rail, 2015).

Tabla 5 Comparación entre WTB y ETB.

Fuente: Autor

Parámetro	WTB	ETB
Ancho de banda	1 Mbps	100 Mbps 10 Gbps (en desarrollo)
Número máximo de nodos	62 nodos	63 nodos
Longitud de red	860 m	100 m entre nodos

Tabla 6 Comparación entre MVB y ECN.

Fuente: Autor

Parámetro	MVB	ECN
Ancho de banda	1.5 Mbps	100Mbps 10 Gbps (en desarrollo)
Número máximo de dispositivos finales	4095	Puede crear varias subredes dentro de cada vagón, puede utilizar NAT.

Al implementar ETB y ECN se dan mejoras en la comunicación las cuales no están presentes en las redes TCN comunes como son:

- Las aplicaciones se pueden dividir en tiempo real y no en tiempo real.
- Menor costo de implementación.
- QoS (Calidad de Servicio).
- VLAN (Red de Área Local Virtual) (Mirko, Arjan, Natasa, y Derya, 2018).
- VPN (Red Privada Virtual).
- Utiliza otros protocolos como:
 - TCP (Protocolo de Control de Transmisión), UDP (Protocolo de Datagramas de Usuario).
 - DNS (Sistemas de Nombre de Dominio).
 - HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto).
 - NAT (Traducción de Direcciones de Red).
 - SNMP (Protocolo Simple de Administración de Red), etc.

Al ser una tecnología que utiliza Ethernet requiere un rango de direcciones para sus conexiones y configuraciones por lo que el rango de direcciones IP privadas asignado es 10.0.0.0/8, las cuales solo tienen una validez para red local, esta no debe ser enrutada hacia internet (Daniel Lüdicke, 2019).

Como en toda red Ethernet se tiene varias topologías de acuerdo con la necesidad de cada uno, es por ello por lo que tanto para la red ECN como para ETB se disponen de varias topologías (Mirko, Arjan, Natasa, y Derya, 2018) como:

- Topología lineal.
- Topología lineal con doble recorrido.
- Topología de anillo
- Topología de anillo con doble recorrido
- Topología de escalera con doble recorrido.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE ESTUDIO

3.1.1. INVESTIGACIÓN APLICADA.

El diseñar la red de comunicaciones utilizando el estándar IEC 61375, permitirá obtener un sistema confiable y con una gran disponibilidad para realizar comunicaciones, para el efecto se realizará la comparativa de tecnologías de comunicación inalámbricas 3G, 4G y Wimax; a la vez que se propondrá la topología adecuada que satisfaga los requerimientos para el óptimo funcionamiento.

3.1.2. INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA.

Debido a que se describe el estándar y su evolución a lo largo del tiempo con el fin de tener información clara sobre las tecnologías a utilizar, detallar como va a estar el diseño de la red de comunicación, equipos.

3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO.

Es un método de investigación que consiste en la detección de un problema, se formula una hipótesis y se observan consecuencias. Con ello la utilización de los estándares IEC 61375 permitirán el diseño y la simulación de una red de comunicaciones en vagones de ferrocarriles para la ruta Tren del Hielo I (Riobamba – Urbina – La Moya – Riobamba).

3.2.2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Se trata de la manipulación de variables para comprobar o refutar la hipótesis para lo cual se realizó una simulación de la red de comunicación entre vagones del ferrocarril, utilizando el software de Cisco Packet Tracer con el cual se simuló con equipos IP el sistema de comunicación ya que los protocolos IEC 61375 comparten la tecnología IP.

Para la parte de comunicación inalámbrica se utilizó el software Radio Mobile, el cual permite ingresar parámetros tanto de antenas de transmisión como de recepción en un entorno real que podría ser desplegado a lo largo de la ruta Tren del Hielo I, a través de los cual se obtendrán valores de recepción que mantengan el enlace confiable.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La población de estudio estuvo constituida por 6520 turistas nacionales y extranjeros de la ruta Hielo 1 durante el año 2019.

3.3.2. MUESTRA

$$n = \frac{Z^2 (p * q)}{e^2 + \frac{(Z^2 (p * q))}{n}}$$

Donde:

z = Valor del nivel de confianza (varianza) 1.96

Se define como nivel de confianza al riesgo que aceptamos de equivocarnos al presentar los resultados (también se puede denominar grado o nivel de seguridad), el nivel habitual de confianza es del 95%.

p= proporción de la población con las características deseadas (éxito)

q= proporción de la población sin las características deseadas (fracaso)

e = Margen de error

Es el error que estamos dispuestos a aceptar de equivocarnos al seleccionar la muestra; este margen de error suele ponerse en torno a un 5%.

n = Tamaño población (universo)

1 = Constante

Cálculo de la muestra:

$$n = \frac{Z^2 (p * q)}{e^2 + \frac{(Z^2 (p * q))}{n}}$$
$$n = \frac{1.96^2 (0.5 * 0.5)}{0.05^2 + \frac{(1.96^2 (0.5 * 0.5))}{6520}}$$

La muestra obtenida es de 363 turistas nacionales y extranjeros de la ruta de hielo I, esta muestra supera la cantidad máxima de pasajeros que pueden viajar en ferrocarril por lo que realizar el dimensionamiento de la red con esta cantidad de usuarios nos conllevaría a un sobredimensionamiento, lo que podría representar a futuro la necesidad de equipos de mayores capacidades y estos a su vez mayores costos y no será una idea adecuada es por lo que se opta por un muestreo no probabilístico por conveniencia en donde se considera las capacidades reales para obtener mejores resultados considerando los siguientes valores:

- Número máximo de usuarios: 120 personas ya que existen 4 vagones y la capacidad máxima de los vagones es de 30 personas.
- Numero de maquinistas: 3.
- Numero de guías turísticos: 4 (uno por cada vagón).

Al realizar una sumatoria de todos los datos anteriores nos da como resultado una muestra de 127 personas.

3.4. FUENTES DE INFORMACIÓN

Este trabajo está basado principalmente en la información proveniente de la Empresa Publica Ferrocarriles del Ecuador, con su sede en Riobamba, además de la recopilación de información de avances científicos de fuentes confiables que validan la importancia de este y de fichas técnicas de dispositivos que cumplen con el estándar IEC 61375 de páginas de fabricantes.

3.5. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para elaborar el proyecto de investigación se utilizó tres categorías, entrevista, observación directa y recopilación documental.

- Entrevista: Se aplicó entrevista no estructurada o no dirigida pues se desarrolló a manera de conversación con el personal de Ferrocarril del Ecuador.
- Observación directa: Se utilizó la observación pues se analizó, sintetizó y procesó la información para captar e identificar detalles para la realización de la simulación, diseño.
- Experimental: Se desarrolló el diseño y simulación a través de Cisco Packet Tracer, Radio Mobile.
- Recopilación documental que se obtuvo de publicaciones científicas, revistas, tesis, páginas web con el fin de evaluar la viabilidad del proyecto

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 7 Operacionalización de las variables

Fuente: Autor.

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADORES	INSTRUMENTOS
DEPENDIENTE El diseño y simulación de una red de comunicaciones en vagones de ferrocarriles	Red de comunicación que conecta los vagones existentes	- Distribución de los diferentes equipos en el ferrocarril para la comunicación. - Descubrimiento automático de vagones. - Redireccionamiento de la red.	Cisco Packet Tracer Radio Mobile
INDEPENDIENTE Utilización de los estándares IEC 61375 para la ruta Tren del Hielo I (Riobamba – Urbina -La Moya – Riobamba)	Protocolo que estandariza las comunicaciones en ferrocarriles, el cual se compone de diferentes versiones que se han presentado a lo largo de los años y nos brindará una red eficaz.	- Tecnologías de comunicación ya sea mediante WiMax, Red celular. - Fabricantes y equipos estandarizados que cumplan con el protocolo.	Base de datos con artículos actuales sobre esta tecnología.

3.7. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1. REQUERIMIENTOS Y SERVICIOS DE LA RED

Se debe considerar inicialmente una red de alimentación eléctrica para el funcionamiento de todos los dispositivos de red abordo del ferrocarril ya que esta red es móvil y cubrirá determinadas rutas turísticas, además de otros requerimientos como:

- Tolerancia a fallos.
- Calidad de servicio.
- Equipos resistentes al entorno de trabajo.

Si bien esto es una parte de inicio la red debe ser útil para diferentes servicios que va a brindar tanto al ferrocarril como hacia los usuarios, los servicios a ser ofertados dentro de la red son:

- Administración de la red.
- Cámaras IP.
- VoIP (Voz sobre protocolo de Internet).
- Acceso a internet.

3.7.2. DISEÑO DE LA RED

La red de comunicación para vagones de ferrocarriles que cubren la ruta Tren del Hielo I está compuesta por una locomotora y de 3 a 4 vagones que aleatoriamente son conectados, dichos vagones cuentan con un generador de energía de 110V, la misma que será suficiente para alimentar a los equipos dentro del tren.

El diseño de la red quedara distribuido siguiendo los estándares IEC 61375 tanto el ETB como ECN; los cuales tendrán una topología jerárquica para distinguir entre Ethernet Train Backbone y Ethernet Consist Network, quedando de la forma en que se muestra en la figura 7 en donde en la parte de la red ECN se deben añadir los dispositivos finales que servirán para el acceso a los usuarios a servicios de internet y multimedia.

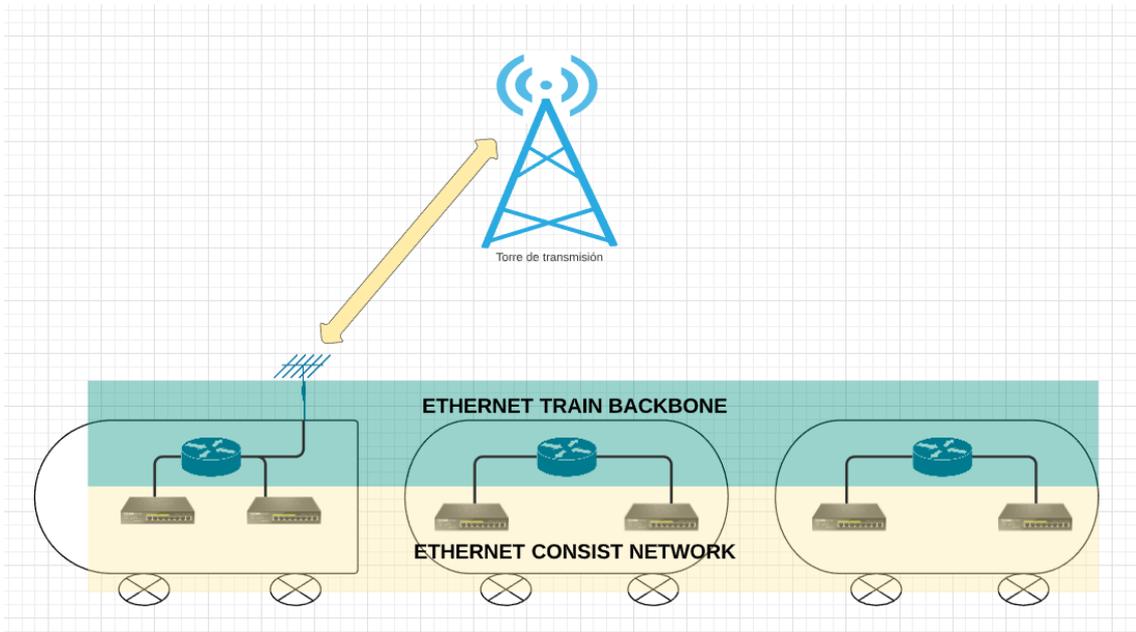


Figura 7 Red Jerárquica entre ETB y ECN

Fuente: Autor.

Se debe tomar en cuenta la capacidad máxima de los usuarios de la red, que como menciona Calero (2019), nos dice que la capacidad máxima de pasajeros en un vagón es de 30 personas, a esto se debe agregar los guías turísticos que en cada vagón va uno y además de que en ferrocarriles del Ecuador sede Riobamba cuenta con un máximo de 4 vagones más la locomotora y los ocupantes de la locomotora van de 2 a 3 nos entrega un total de 127 personas que harán uso de los diferentes servicios dentro del ferrocarril, con lo que se puede redondear a un total de 130 pasajeros.

3.7.2.1. Descarga de archivos de Internet.

Para calcular la capacidad necesaria de descarga por una persona (C_{di}) se asume un archivo con un tamaño promedio de 500kbps que contiene texto e imagen normal, y con un tiempo de acceso a páginas WEB menor o igual a 30 segundos.

$$C_{di} = \frac{500Kbps}{1 \text{ descarga}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ byte}} * \frac{1 \text{ Descarga}}{30 \text{ s}}$$

$$C_{di} = 133.33 \text{ Kbps}$$

Este valor representa la capacidad de descarga por un usuario, ahora bien, si se considera el total de usuarios definidos inicialmente como 130, nos dará la capacidad de descarga total (C_{dt}) para descarga por todos los usuarios.

$$C_{dt} = C_{di} * \text{num. de usuarios}$$
$$C_{dt} = 133.33Kbps * 130 = 17.33 Mbps$$

3.7.2.2. Acceso a páginas Web

Para la capacidad necesaria para el acceso según Verdezoto (2015), dice que el tamaño promedio de una página web con música, imágenes, datos, etc. Es de 320 Kbps, y con una estimación de 10 visitas de páginas web por hora nos da un valor de 7.11 Kbps.

$$C_{APW} = \frac{320Kbps}{1 \text{ página}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ byte}} * \frac{10 \text{ páginas}}{3600s} = 7.11Kbps$$

Y si tomamos este dato a nuestro caso de estudio y lo multiplicamos por el total de usuarios de nuestra red nos daría que la capacidad total necesaria para la navegación web.

$$C_{APWt} = 7.11Kbps * 130 = 924.44 Kbps$$

3.7.2.3. Voz IP.

Para calcular el ancho de banda necesario para VoIP se requiere la utilización de códec que su función es transformar una señal analógica a digital a la vez que comprime el audio y nos da un audio con claridad.

Existen diferentes tipos de códec y se los cálculos requeridos para tener en cuenta las diferencias entre las tecnologías existentes de códec son tomadas de cálculos realizados por CISCO. En las que se dan los parámetros generales para poder realizar dichos cálculos. (CISCO, 2016)

Tabla 8 Comparativa de códec

Fuente: Autor

Códec	Velocidad de bits (Kbps)	Intervalo de muestra de códec (ms)	Paquetes por segundo (PPS)	Ancho de Banda
G.711	64 Kbps	10 ms	50	87.2 Kbps
G.729	8 Kbps	10 ms	50	31.2 Kbps
G.722	64 Kbps	10 ms	50	87.2 Kbps

De estos 3 tipos de códec el más utilizado es el G.711 pero como se puede ver ocupa un mayor ancho de banda a diferencia del G.729 que reduce notablemente, con lo que se utilizara el códec G.729 que no solo reduce el ancho de banda, sino que asegura una fluidez en la comunicación brindando una mayor capacidad de realizar más llamadas simultáneamente en la misma conexión a internet.

Considerando que se coloque un dispositivo de VoIP dentro de cada vagón y uno en la locomotora nos da un total de 5 equipos para los cuales se deberá calcular el ancho de banda.

$$C_{TIP} = 31.2Kbps * 5 = 156Kbps$$

3.7.2.4. Cámaras IP.

Estos dispositivos serán de utilidad para controlar el entorno de cada vagón, permitiendo obtener imagen en tiempo real de lo que sucede en cada uno. Una cámara con imágenes de alta calidad nos da un consumo promedio de 2 a 3 Mbps. En el diseño se va a colocar 1 cámara por cada vagón más la de la locomotora, en total 4 cámaras IP.

$$C_{CIP} = 3Mbps * 5 = 15 Mbps$$

3.7.2.5. Ancho de Banda.

Con los datos anteriormente calculados podemos calcular la capacidad de ancho de banda que se necesita para la red de comunicación como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9 Cálculo Ancho de Banda requerido

Fuente: Autor.

Servicio	Ancho de Banda
Descarga de archivos de internet	17332.9 Kbps
Acceso a páginas web	924.44 Kbps
Telefonía IP	156 Kbps
Cámaras IP	15000 Kbps
Total	33413.34 Kbps

De la tabla 9 se obtiene que el ancho de banda total requerido para nuestra red es de 33413.34Kbps que sería 33.41Mbps con lo que podemos dejarlo en una velocidad aproximada de 35Mbps, para lograr el acceso a internet desde el ferrocarril se requiere de una tecnología inalámbrica de gran capacidad como puede ser LTE o LTE-Advanced, la cual no solo satisface la demanda de ancho de banda sino también que es una tecnología actual, que estará vigente aun en los próximos años.

3.7.3. EQUIPOS DE RED

En la red se debe definir los equipos a utilizar para las diferentes redes ETB y ECN, y los equipos deben cumplir con esos estándares, para lo que se necesitan los siguientes dispositivos:

- Router.
- Switch.
- Cámaras IP.
- Conectores.
- Teléfonos IP.
- Equipos de comunicación LTE.

El fabricante que se toma en cuenta para la búsqueda de equipos de red es MOXA la cual es una empresa tecnológica la cual desarrolla soluciones de red confiables y actuales, a la

vez que ofrece todos los equipos de comunicación los cuales son robustos y cumplen con el estándar IEC 61375.

3.7.3.1 TN-5900-ETBN



Figura 8 Router TN-5900-ETBN

Fuente: (Moxa Inc., 2019).

Este router está diseñado por la empresa MOXA para redes Backbone que cumple con los estándares IEC 61375-2-3 e IEC 61375-2-5, y al ser un router industrial tiene características robustas para su funcionamiento como son:

- Temperatura de funcionamiento de -40 a 75 °C.
- IP 54.
- NAT.
- VLAN.
- QoS.
- SNMP v1, v2, v2.
- HTTP y SSH (Security Shell).
- LLDP (Protocolo de Descubrimiento de Capa de Enlace).
- 12 puertos 10/100Base T(X), con conector M12 hembra.
- 4 puertos 10/100Base T(X), con conector M12 hembra con relé de derivación.
- Configurable por navegador, consola (serie), CLI, o Windows.

3.7.3.2. TN-5516A-8PoE



Figura 9 Switch TN-5516A-8PoE

Fuente: (Moxa Inc., 2018).

Switch que servirá para la red ECN, el cual está diseñado para aplicaciones ferroviarias, sus características son:

- IP54.
- Temperatura de funcionamiento de -40 a 75 °C
- Conectores M12.
- 2 puertos Gigabit Ethernet.
- Cuenta con 16 puertos Fast Ethernet:
 - 8 puertos Fast Ethernet con PoE (Power-over-Ethernet).
 - 8 puertos Fast Ethernet sin PoE.
- IEEE 802.1Q VLAN y GVRP (Generic VLAN Registration Protocol)
 - Número máximo de VLAN 64.
 - Rango ID VLAN, VID 1 a 4094.
- QoS (802.11p/1Q y ToS/ DiffServ).
- Bloqueo de puertos, permite el acceso a direcciones MAC autorizadas.
- Configurable por navegador web, Telnet / consola serie, CLI y utilidad de Windows.
- Admite IPv4 e IPv6.

3.7.3.3. AWK-3131A-RCC



Figura 10 Punto de Acceso para cliente inalámbrico AWK-3131A-RCC

Fuente: (Moxa Inc., 2019).

Este punto de acceso para pasajero es un AP (Access Point) industrial que es una solución idónea para el acceso a servicios de comunicación de manera inalámbrica. Sus características:

- IP30.
- Temperatura de funcionamiento de -25 a 60 °C.
- Se puede alimentar a través de un puerto PoE.
- Velocidades de hasta 300 Mbps.
- Conectores antivibración M12.
- Tecnología MIMO (Multiple-Input Multiple-Output).
- Estándares WLAN 802.11 a /b /g /n
- Modos de operación:
 - Punto de Acceso.
 - Sniffer.

3.7.3.4. OnCell G3150A-LTE



Figura 11 Equipo de conexión LTE OnCell G3150A-LTE

Fuente: (Moxa Inc., 2019).

Este equipo permite conectarse a redes LTE, el cual está diseñado para ser resistente ante perturbaciones por ello posee las siguientes características:

- IP30.
- Temperatura de funcionamiento de -30 a 70 °C.
- Dual SIM.
- Capacidad de conexión segura VPN con protocolos como OpenVPN.
- Diseño de aislamiento de energía para una mejor protección del dispositivo contra interferencias eléctricas dañinas.
- Estándares celulares:
 - GSM
 - GPRS
 - EDGE
 - UMTS
 - HSPA
 - LTE CAT-3
- Velocidad de datos
- Interfaz GPS: 1 conector SMA hembra, GPS (1575.42 MHz), GLONASS (1602 MHz).

Tabla 10 Velocidades de datos del equipo OnCell G3150A-LTE

Fuente: Autor.

Tecnología	Velocidad
LTE	Ancho de banda 20Mhz: 100 Mbps DL, 50 Mbps UL.
	Ancho de banda 10Mhz: 50 Mbps DL, 25 Mbps UL.
HSPA	42 Mbps DL, 5.76 Mbps UL.
EDGE	237 Kbps DL, 237 Kbps UL
GPRS	85.6Kbps DL, 42.8 Kbps UL.

3.7.3.5.VPort P16-1MP-M12-CAM36



Figura 12 VPort P16-1MP-M12-CAM36.

Fuente: (Moxa Inc., 2018)

Son cámaras que proporcionan una imagen HD, son versátiles y robustas, entre sus principales características están:

- Cumplimiento esencial con EN 50155 * (temperaturas T1: -25 a 55 ° C; temperaturas TX: -40 a 70 ° C), y cumple con EN 50121-3-2.
- Cámara de escaneo progresivo de 1 / 2.7 con resolución máxima de 1280 x 800 a hasta 30 cuadros por segundo.
- Sensor de luz incorporado para imágenes diurnas y nocturnas.
- Imágenes de video de alta calidad con DNR y WDR.

- Hasta 3 transmisiones de video independientes (2 x H.264, 1 x MJPEG).
- DynaStream® compatible con la eficiencia de la red. (Moxa Inc., 2018)

3.7.4. SIMULACIÓN DE LA RED INTERNA

La simulación de la red se la va a realizar en Packet Tracer ya que cuenta con equipos que aceptan comunicaciones inalámbricas para simular la red interna, obviamente los equipos anteriormente mencionados para el diseño no son los mismos, pero tienen una gran similitud ya que son equipos que admiten el protocolo IP.

Para el caso de la simulación los equipos con los que se va a simular son equipos que comparten características similares como son el permitir VLANs, puertos Ethernet, otras funcionalidades que los equipos reales tienen, en la tabla 11 se encuentran enlistados equipos para la simulación, en el caso del radioenlace debido a que la plataforma no permite simularlo, se lo realizara mediante un router el que simula ser acceso a internet con un servidor.

Tabla 11 Equipos de Simulación

Fuente: Autor

Descripción	Equipo de simulación
Router	Router Cisco 2811
Switch	Switch Cisco 2960-24TT
Punto de Acceso	Cisco Access Point
Comunicador Tren-Infraestructura	Router Cisco 2811

Ahora bien, para el direccionamiento IP de la red se necesita un rango y según Daniel Lüdicke (2019) el rango asignado para el direccionamiento es el 10.0.0.0/8, es un rango de IP privado el cual que nos permite un amplio número de Hosts, este rango no puede ser utilizado para comunicación a Internet, únicamente es válido para la red interna del ferrocarril. Por ello considerando el número máximo de personas que van a transportarse en un vagón que serían los 30 usuarios y añadiendo al guía, a esto se le debe tomar en cuenta los equipos de red, es por ello por lo que se va a utilizar una red 10.0.0.0 /26 con

la que satisface el número de direcciones para todo el vagón y con algunas direcciones de sobra para futuramente incorporar nuevos equipos de red y en la tabla 12 se puede visualizar información sobre el direccionamiento de la red interna del vagón.

Tabla 12 Direccionamiento de la red interna del vagón

Fuente: Autor

Parámetro	Resultado
Red IP	10.0.1.0
Máscara de red	255.255.255.192
Red	10.0.1.0 /26
Número de Hosts máximos	62
Broadcast	10.0.1.63
Gateway	10.0.1.1

El direccionamiento para los enlaces entre vagones o para la red ETB será asignado para un menor número de dispositivos considerando que serán enlaces seriales. Se asigna la red con mascara de red 255.255.255.252, al ser 4 vagones y agregando la locomotora se requiere de 4 enlaces descritos en la tabla 13.

Tabla 13 Direcciones para enlaces ETB

Fuente: Autor

Enlace	Red
Enlace 1	10.0.10.0 /30
Enlace 2	10.0.20.0 /30
Enlace 3	10.0.30.0 /30
Enlace 4	10.0.40.0 /30

Para iniciar el proceso de configuración se debe establecer inicialmente la topología física general en la que constan todos los equipos que van a ir dentro de un vagón, considerando que en la locomotora no existe una aglomeración de personas ya que está limitado para el personal que controla el ferrocarril.

Inicialmente se procede con la configuración inicial de todos los equipos que están presentes en la red; al estar en el entorno de Packet Tracer debemos utilizar configuración para dichos equipos la cual corresponde a las siguientes configuraciones:

- Nombrar los dispositivos.
- Colocación de claves de acceso.
- Mensajes de aviso.
- Encendido de las interfaces.
- Asignación de IP para los diferentes puertos.

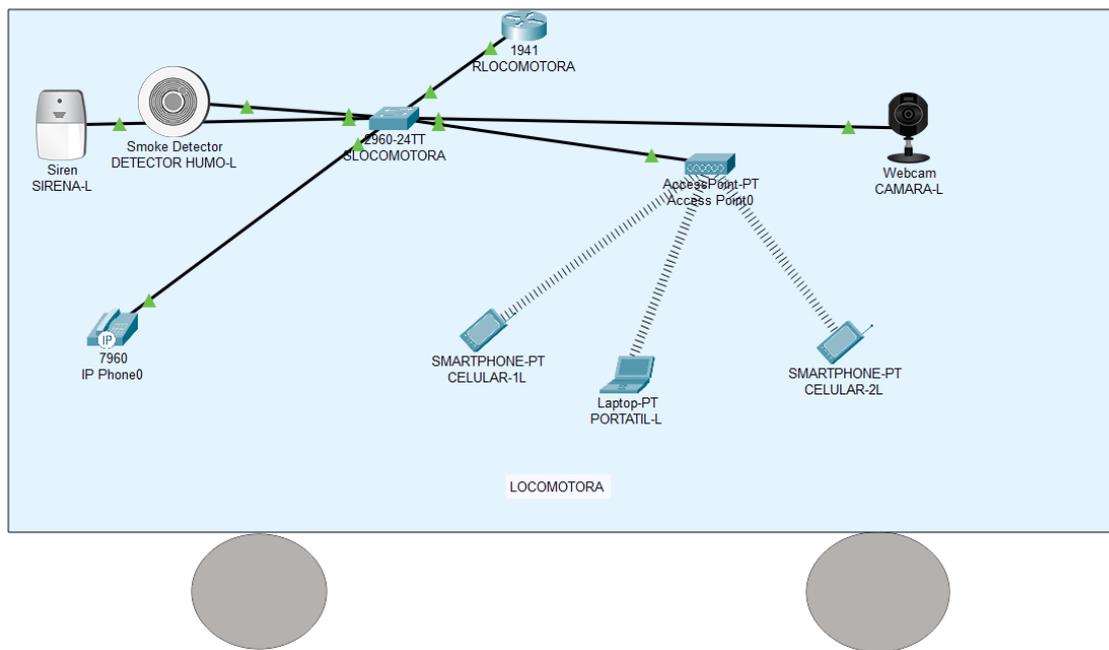


Figura 13 Topología Física inicial de la Locomotora, sin enlace inalámbrico

Fuente: Autor.

En la tabla 14 se muestra la asignación de direcciones IP para los diferentes dispositivos de la red, reservando las 20 primeras direcciones para un direccionamiento estático para equipos que no sean del usuario y creando una VLAN para dividir el tráfico de la telefonía y el tráfico de datos. La mayor parte de esta configuración recae sobre el router RLOCOMOTORA que es el principal de la red ya que por él se enviara el tráfico de datos desde el Tren a Tierra.

Tabla 14 Direcciones de red para los dispositivos de la Locomotora

Fuente: Autor

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Mascara de red	Gateway Predeterminado
RLocomotora	F0/0.20	10.0.1.1	255.255.255.192	No
	F0/0.50	10.0.2.1	255.255.255.248	No
	F0/1	209.165.200.226	255.255.255.224	No
	F1/0	10.0.10.1	255.255.255.252	No
SLocomotora	VLAN 1	10.0.1.2	255.255.255.192	10.0.1.1
Teléfono IP	NIC	DHCP	DHCP	DHCP
Cámara IP	NIC	10.0.1.4	255.255.255.192	10.0.1.1
Detector Humo IP	NIC	10.0.1.5	255.255.255.192	10.0.1.1
Sirena IP	NIC	10.0.1.6	255.255.255.192	10.0.1.1
Servidor	NIC	10.0.1.10	255.255.255.192	10.0.1.1
Celular-1L	NIC	DHCP	DHCP	DHCP
Celular-2L	NIC	DHCP	DHCP	DHCP
Portátil-L	NIC	DHCP	DHCP	DHCP

3.7.4.1. Configuración inicial del Router RLOCOMOTORA.

La configuración en este punto se basa en asignación de contraseñas, nombrar a los dispositivos a la vez que se va asignando direcciones IP a cada una de las interfaces que se va a utilizar como la tabla 14 detalla.

```
Router>enable
Router #configure terminal
Router#hostname RLocomotora
RLocomotora(config)#enable secret locomotora
RLocomotora(config)#line vty0
RLocomotora(config-line)#password locomotora
RLocomotora(config-line)#login
RLocomotora(config-line)#exit
```

```
RLocomotora(config)#banner motd # Mensaje de Seguridad. Solo Personal Autorizado #
```

```
RLocomotora(config)#interface FastEthernet0/0
```

```
RLocomotora(config-if)#no shutdown
```

```
RLocomotora(config-if)#ip address 10.0.1.1 255.255.255.192
```

```
RLocomotora(config-if)#exit
```

```
RLocomotora(config)#interface FastEthernet0/1
```

```
RLocomotora(config-if)#no shutdown
```

```
RLocomotora(config-if)#ip address 209.165.200.226 255.255.255.224
```

```
RLocomotora(config-if)#exit
```

```
RLocomotora(config)#interface FastEthernet1/0
```

```
RLocomotora(config-if)#no shutdown
```

```
RLocomotora(config-if)#ip address 10.0.10.1 255.255.255.252
```

```
RLocomotora(config-if)#end
```

```
RLocomotora#exit
```

3.7.4.2. Configuración inicial del Switch SLOCOMOTORA.

```
SLocomotora>enable
```

```
SLocomotora#configure terminal
```

```
SLocomotora(config)#enable secret locomotora
```

```
SLocomotora(config)#line vty 0
```

```
SLocomotora(config-line)#password locomotora
```

```
SLocomotora(config-line)#login
```

```
SLocomotora(config-line)#exit
```

```
SLocomotora(config)#banner motd #Mensaje de Seguridad. Solo Personal Autorizado#
```

```
SLocomotora(config)#interface vlan 1
```

```
SLocomotora(config-if)#ip address 10.0.1.2 255.255.255.192
```

```
SLocomotora(config-if)#no shutdown
```

```
SLocomotora(config-if)#exit
```

3.7.4.2.1. Configuración del Punto de Acceso.

La red necesariamente debe tener un usuario y contraseña ya que no puede ser de dominio público para toda la gente, sino más bien será un servicio para los usuarios que viajan a bordo del ferrocarril.

Para configurar la red se utilizar una interfaz gráfica, en donde se define un SSID (Service Set Identifier) del Punto de Acceso, y la seguridad de modo WPA2-PSK con encriptación AES, la cual es la más sólida en ámbitos de seguridad.

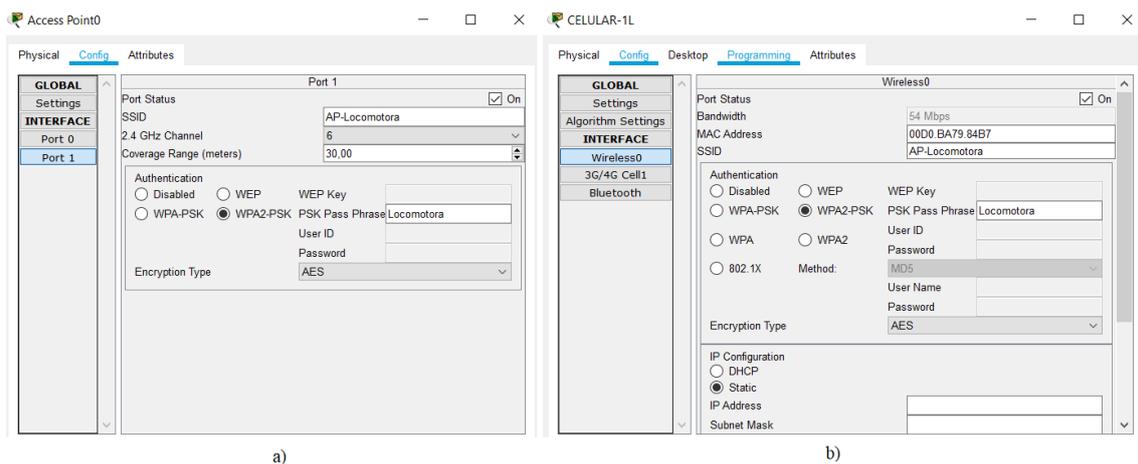


Figura 14 a) Configuración de contraseñas Punto de Acceso. b) Configuración en host para el acceso al Punto de acceso.

Fuente: Autor.

3.7.4.2.2. Creación del servidor DHCP.

El servidor DHCP nos asignara de forma automática el direccionamiento a cada uno de los dispositivos finales, estos dispositivos serán asignados a partir de la dirección 10.0.1.20 ya que las primeras direcciones quedaran reservadas para equipos que requieren de una IP estática, para la parte de voz requiere de otra dirección de red para no tener obstrucciones en la parte de tráfico de voz y datos, esto es importante separarlo para brindar mayor seguridad al tráfico de voz ya que de esta manera se impide que alguna persona externa pueda escuchar la conversaciones. Por ellos al tener dos redes una para datos y otra para telefonía IP se crea 2 pool de DHCP. El pool de VoIP es de un rango corto que da 6 dispositivos ya que este servicio es únicamente para comunicación entre miembros de la tripulación y los guías, y se debe considerar que cada vagón va a poseer

un solo dispositivo IP, aunque en se deja espacio libre para más dispositivos para realizar pruebas de funcionamiento o para instalar futuramente otra línea.

```
RLocomotora(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.1.1 10.0.1.20
RLocomotora(config)#ip dhcp pool Usuarios
RLocomotora(dhcp-config)#network 10.0.1.0 255.255.255.192
RLocomotora(dhcp-config)#default-router 10.0.1.1
RLocomotora(dhcp-config)#exit
```

```
RLocomotora(config)#ip dhcp excluded-address 10.0.2.1
RLocomotora(config)#ip dhcp pool VoIP
RLocomotora(dhcp-config)#network 10.0.2.0 255.255.255.248
RLocomotora(dhcp-config)#default-router 10.0.2.1
RLocomotora(dhcp-config)#exit
```

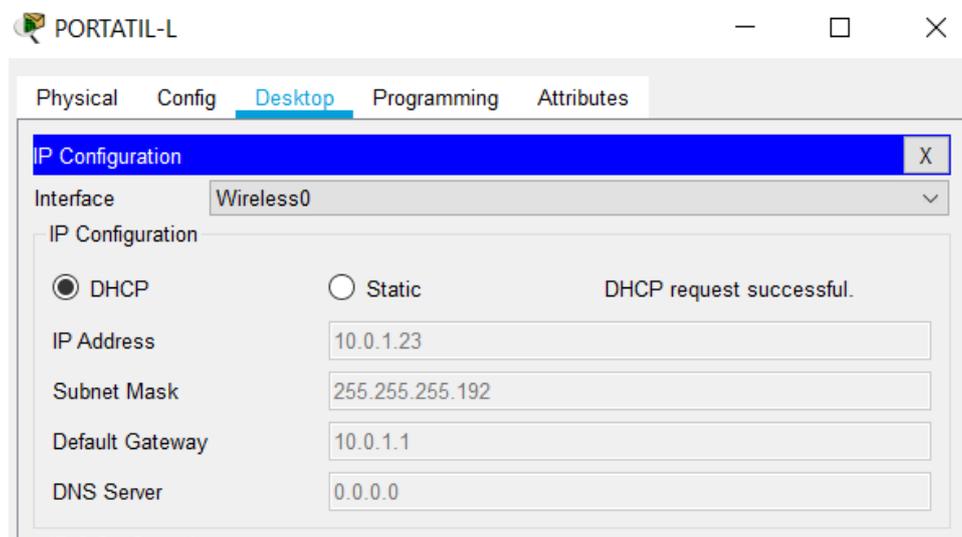


Figura 15 Asignación de Dirección IP por DHCP en cliente.

Fuente: Autor.

3.7.4.2.3. Configuración de VLAN.

Como se necesita separar el tráfico de voz y de datos es necesario a creación de 2 VLANs como son VLAN 20 para datos y la VLAN 50 para voz, para esto primero se debe crear subinterfaces en el router para la recepción de tráfico en un solo puerto en este caso F0/0.

En el switch se declara las VLANs y se asigna puertos a cada una de ellas, asignando para la VLAN VOZ los puertos F0/2 y F0/3 y para la VLAN DATOS los puertos sobrantes,

en este caso los puertos G0/1 y G0/2 no están siendo utilizados por lo que se deja por defecto.

El puerto F0/1 va a ser el encargado de llevar el tráfico de las dos VLANs para lo que será el puerto troncal.

Creación de subinterfaces en RLOCOMOTORA

```
RLocomotora(config)#interface FastEthernet0/0.20
RLocomotora(config-subif)#encapsulation dot1Q 20
RLocomotora(config-subif)#ip address 10.0.1.1 255.255.255.192
RLocomotora(config-subif)#exit
```

```
RLocomotora(config)#interface FastEthernet0/0.50
RLocomotora(config-subif)#encapsulation dot1Q 50
RLocomotora(config-subif)#ip address 10.0.2.1 255.255.255.248
RLocomotora(config-subif)#exit
```

Puerto F0/1 definido como troncal

```
SLocomotora(config)#interface FastEthernet 0/1
SLocomotora(config-if)#switchport mode trunk
SLocomotora(config-if)#exit
```

Creación de DATOS - VLAN 20

```
SLocomotora(config)#vlan 20
SLocomotora(config-vlan)#name DATOS
SLocomotora(config-vlan)#exit
```

Creación de VOZ - VLAN 50

```
SLocomotora(config)#vlan 50
SLocomotora(config-vlan)#name VOZ
SLocomotora(config-vlan)#exit
```

Asignación de puertos para VoIP

```
SLocomotora(config)#interface range FastEthernet 0/2-3
SLocomotora(config-if-range)#switchport mode access
SLocomotora(config-if-range)#switchport voice vlan 50
SLocomotora(config-if-range)#exit
```

Asignación de puertos para DATOS

```
SLocomotora(config)#interface range FastEthernet 0/4-24
SLocomotora(config-if-range)#switchport mode access
SLocomotora(config-if-range)#switchport access vlan 20
SLocomotora(config-if-range)#exit
```

```
SLocomotora#show vlan
```

VLAN	Name	Status	Ports
1	default	active	Fa0/2, Fa0/3, Gig0/1, Gig0/2
20	DATOS	active	Fa0/4, Fa0/5, Fa0/6, Fa0/7 Fa0/8, Fa0/9, Fa0/10, Fa0/11 Fa0/12, Fa0/13, Fa0/14, Fa0/15 Fa0/16, Fa0/17, Fa0/18, Fa0/19 Fa0/20, Fa0/21, Fa0/22, Fa0/23 Fa0/24
50	VOZ	active	Fa0/2, Fa0/3
1002	fddi-default	active	
1003	token-ring-default	active	
1004	fddinet-default	active	
1005	trnet-default	active	

Figura 16 Configuración de puertos y asignación de VLAN

Fuente: Autor.

3.7.4.2.4. Configuración de telefonía IP.

La configuración se la realiza en RLocomotora, y se habilita la comunicación con los teléfonos IP en el pool DHCP mediante el comando “option 150 gateway”.

En este caso se define como número máximo de teléfonos en la red 2 lo que nos permitirá hacer pruebas de funcionamiento dentro de la red interna de la locomotora, la dirección será asignada por DHCP y se asigna automáticamente la extensión, considerando que el primer dispositivo en conectarse obtendrá la dirección inicial que en este caso será 1001, y el segundo 1002.

```
RLocomotora(config)#ip dhcp pool VoIP
RLocomotora(dhcp-config)#option 150 ip 10.0.2.1
RLocomotora(dhcp-config)#exit

RLocomotora(config)#telephony-service
RLocomotora(config-telephony)#max-dn 2
RLocomotora(config-telephony)#max-ephones 2
RLocomotora(config-telephony)#ip source-address 10.0.2.1 port 2000
RLocomotora(config-telephony)#auto assign 1 to 2
```

```
RLocomotora(config-telephony)#exit
```

```
RLocomotora(config)#ephone-dn 1
```

```
RLocomotora(config-ephone-dn)#number 1001
```

```
RLocomotora(config-ephone-dn)#exit
```

```
RLocomotora(config)#ephone-dn 2
```

```
RLocomotora(config-ephone-dn)#number 1002
```

```
RLocomotora(config-ephone-dn)#exit
```

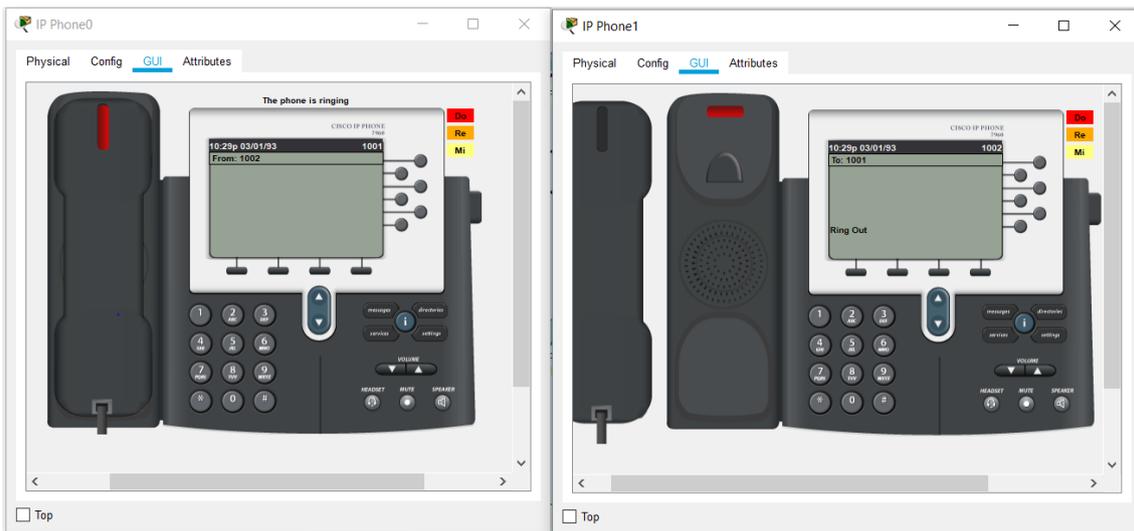


Figura 17 Prueba de asignación de extensiones para telefonía IP y prueba de conectividad entre los dispositivos.

Fuente: Autor.

3.7.4.2.5. Configuración de IP para los equipos de control (cámara IP, Sensor de Humo, y alarma).

Estos equipos nos permiten configurarlos únicamente por interfaz gráfica y sus direcciones son ingresadas de manera estática y por el administrador como se muestra en la figura 18.

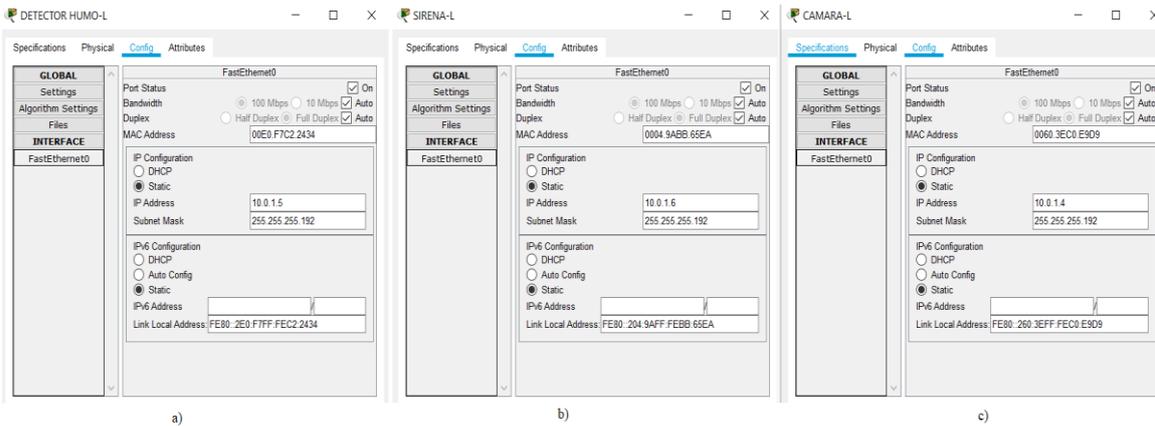


Figura 18 Asignación de direcciones IP a) Detector de Humo, b) Sirena, c) Cámara IP

Fuente: Autor.

Una vez asignado las direcciones a cada dispositivo de la red, se puede incorporar un servidor para obtener acceso a los diferentes dispositivos remotamente, o bien desde un computador central en el cual dará el estado de cada dispositivo para lo cual se requiere de un servidor IoT dentro de la red, únicamente con propósitos de simulación. Para lo que el paso siguiente será añadir un servidor a la topología con una IP.

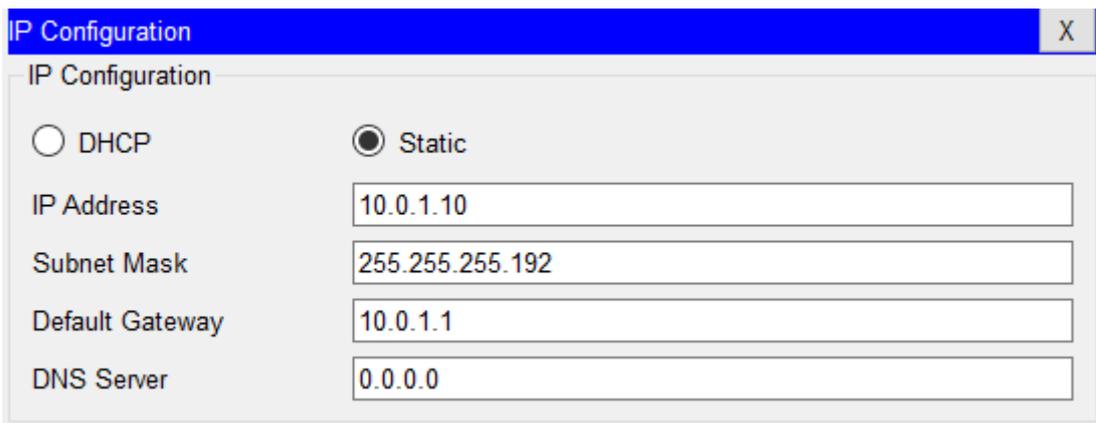


Figura 19 Asignación de IP estática al servidor de IoT.

Fuente: Autor.

Se configura en el servidor y se lo enciende para que tenga la configuración de IoT y se abre el navegador en el servidor y se crea un usuario y contraseña que será ingresado en cada dispositivo IoT, que en este caso el usuario como contraseña son admin.

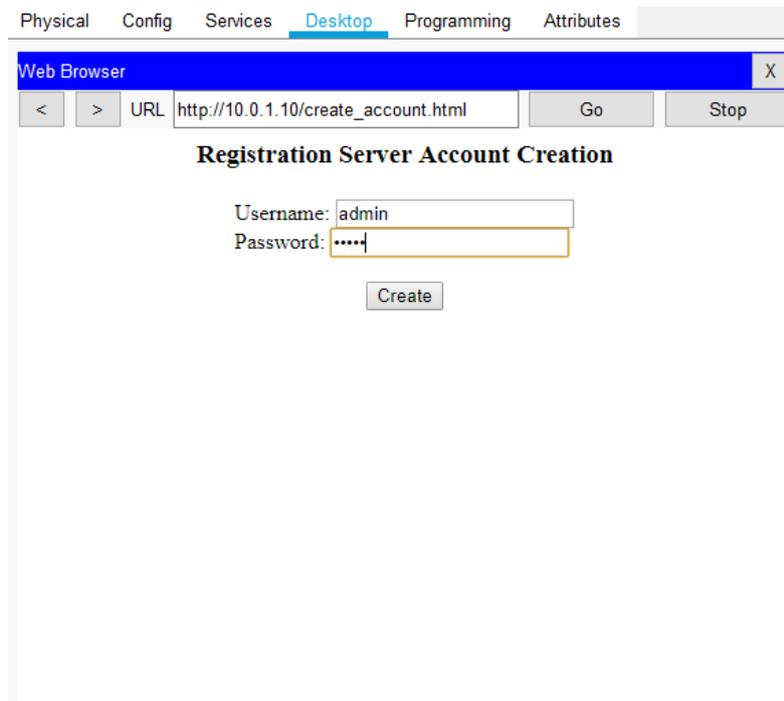


Figura 20 Creación de usuario y contraseña en el Servidor

Fuente: Autor.

Después se procede a indicar a todos los dispositivos IoT a ingresar la dirección del servidor que en este caso es la 10.0.1.10 para que el permite la administración de los dispositivos presentes a la vez que conocer el estado de cada uno.

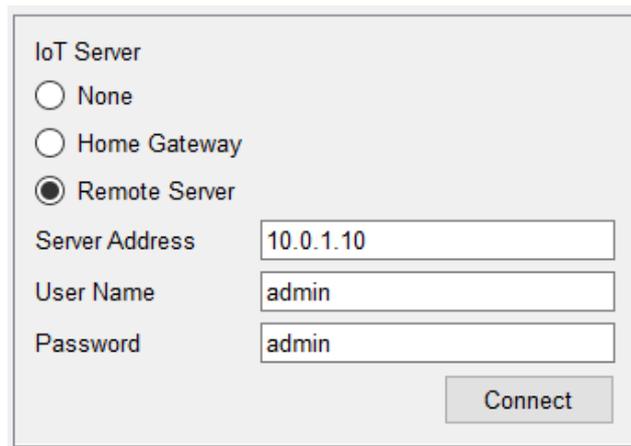


Figura 21 Ingreso de dirección del Servidor e ingreso de las claves de acceso.

Fuente: Autor.

Luego de asignar a todos los dispositivos la dirección del servidor, se ingresa al servidor nuevamente y los dispositivos agregados aparecerán, y su estado vendrá a ser representado con un color rojo para indicar apagado y con color verde para indicar que esta encendido.

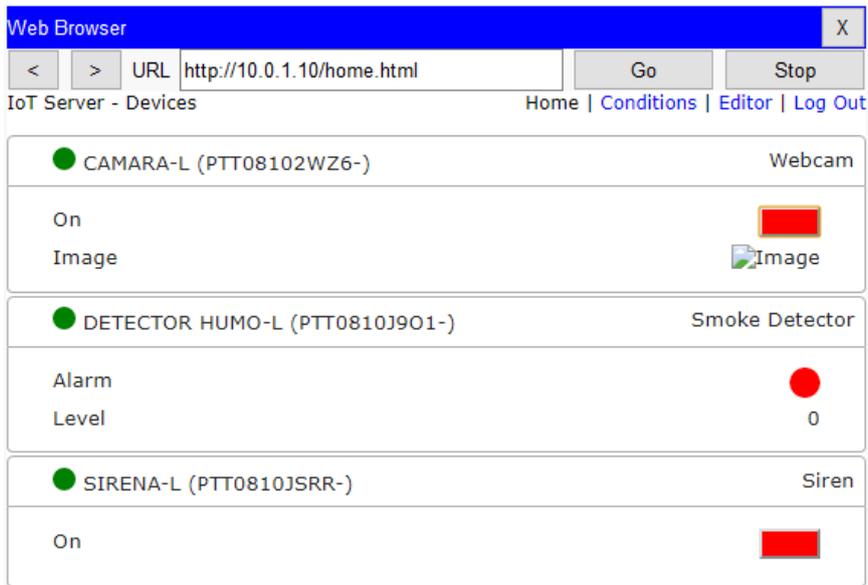


Figura 22 Dispositivos agregados al servidor.

Fuente: Autor.

El sensor como la alarma van de ligados al Internet de las cosas con lo que se puede configurar acciones que realicen, en este caso se va a configurar una acción en el servidor la cual activara la alarma si el sensor de Humo recepta valores superiores a 0.1, lo que indica que puede existir algún tipo de fuego dentro del vagón.

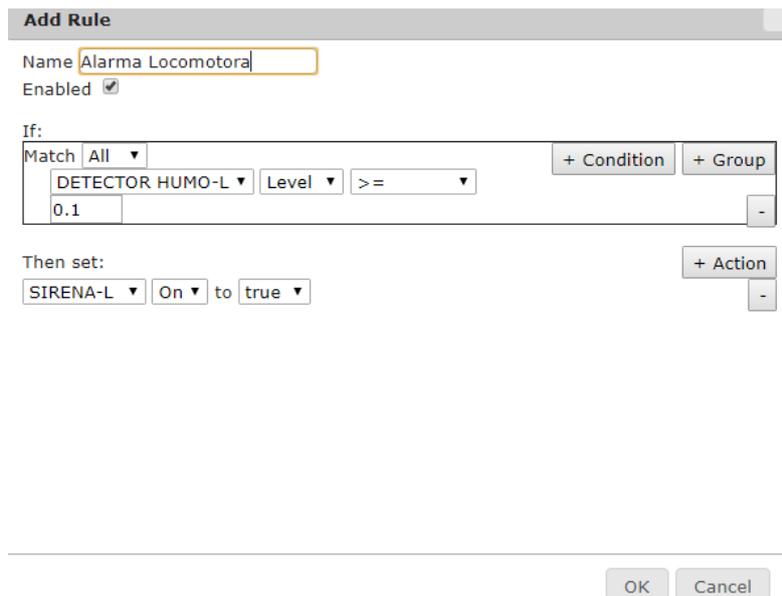


Figura 23 Configuración de acción que activa la alarma al detectar humo.

Fuente: Autor.

3.7.4.2.6. Configuración en los Vagones.

Como inicialmente se plateo, la red para los vagones será similar para todos los casos por ello la configuración será la misma a diferencia que las direcciones de red dentro de cada uno van a ser con diferentes direcciones de red, pero conservando la idea inicial quedando de la siguiente manera para cada vagón.

Tabla 15 Tabla de direcciones IP en el Vagón 1.

Fuente: Autor.

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Mascara de red	Gateway Predeterminado
RV1	F0/0.20	10.0.21.1	255.255.255.192	No
	F0/0.50	10.0.22.1	255.255.255.248	No
	F0/1	10.0.10.2	255.255.255.252	No
	F1/0	10.0.20.1	255.255.255.252	No
SV1	VLAN 1	10.0.21.2	255.255.255.192	10.0.21.1
Teléfono IP	NIC	DHCP	DHCP	DHCP
Cámara IP	NIC	10.0.21.4	255.255.255.192	10.0.21.1
Detector Humo IP	NIC	10.0.21.5	255.255.255.192	10.0.21.1
Sirena IP	NIC	10.0.21.6	255.255.255.192	10.0.21.1
Servidor	NIC	10.0.21.10	255.255.255.192	10.0.21.1
Hosts-V1	NIC	DHCP	DHCP	DHCP

Tabla 16 Tabla de direcciones IP en el Vagón 2.

Fuente: Autor.

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Mascara de red	Gateway Predeterminado
RV1	F0/0.20	10.0.31.1	255.255.255.192	No
	F0/0.50	10.0.32.1	255.255.255.248	No
	F0/1	10.0.20.2	255.255.255.252	No
	F1/0	10.0.30.1	255.255.255.252	No

SV1	VLAN 1	10.0.31.2	255.255.255.192	10.0.31.1
Teléfono IP	NIC	DHCP	DHCP	DHCP
Cámara IP	NIC	10.0.31.4	255.255.255.192	10.0.31.1
Detector Humo IP	NIC	10.0.31.5	255.255.255.192	10.0.31.1
Sirena IP	NIC	10.0.31.6	255.255.255.192	10.0.31.1
Servidor	NIC	10.0.31.10	255.255.255.192	10.0.31.1
Hosts-V1	NIC	DHCP	DHCP	DHCP

Tabla 17 Tabla de direcciones IP en el Vagón 3.

Fuente: Autor.

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Mascara de red	Gateway Predeterminado
RV1	F0/0.20	10.0.41.1	255.255.255.192	No
	F0/0.50	10.0.42.1	255.255.255.248	No
	F0/1	10.0.30.2	255.255.255.252	No
	F1/0	10.0.40.1	255.255.255.252	No
SV1	VLAN 1	10.0.41.2	255.255.255.192	10.0.41.1
Teléfono IP	NIC	DHCP	DHCP	DHCP
Cámara IP	NIC	10.0.41.4	255.255.255.192	10.0.41.1
Detector Humo IP	NIC	10.0.41.5	255.255.255.192	10.0.41.1
Sirena IP	NIC	10.0.41.6	255.255.255.192	10.0.41.1
Servidor	NIC	10.0.41.10	255.255.255.192	10.0.41.1
Hosts-V1	NIC	DHCP	DHCP	DHCP

Tabla 18 Tabla de direcciones IP en el Vagón 4.

Fuente: Autor.

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Mascara de red	Gateway Predeterminado
RV1	F0/0	10.0.51.1	255.255.255.192	No
	F0/1	10.0.40.2	255.255.255.252	No

	F0/1	10.0.50.1	255.255.255.252	No
SV1	VLAN 1	10.0.51.2	255.255.255.192	10.0.21.1
Teléfono IP	NIC	DHCP	DHCP	DHCP
Cámara IP	NIC	10.0.51.4	255.255.255.192	10.0.51.1
Detector Humo IP	NIC	10.0.51.5	255.255.255.192	10.0.51.1
Sirena IP	NIC	10.0.51.6	255.255.255.192	10.0.51.1
Servidor	NIC	10.0.51.10	255.255.255.192	10.0.51.1
Hosts-V1	NIC	DHCP	DHCP	DHCP

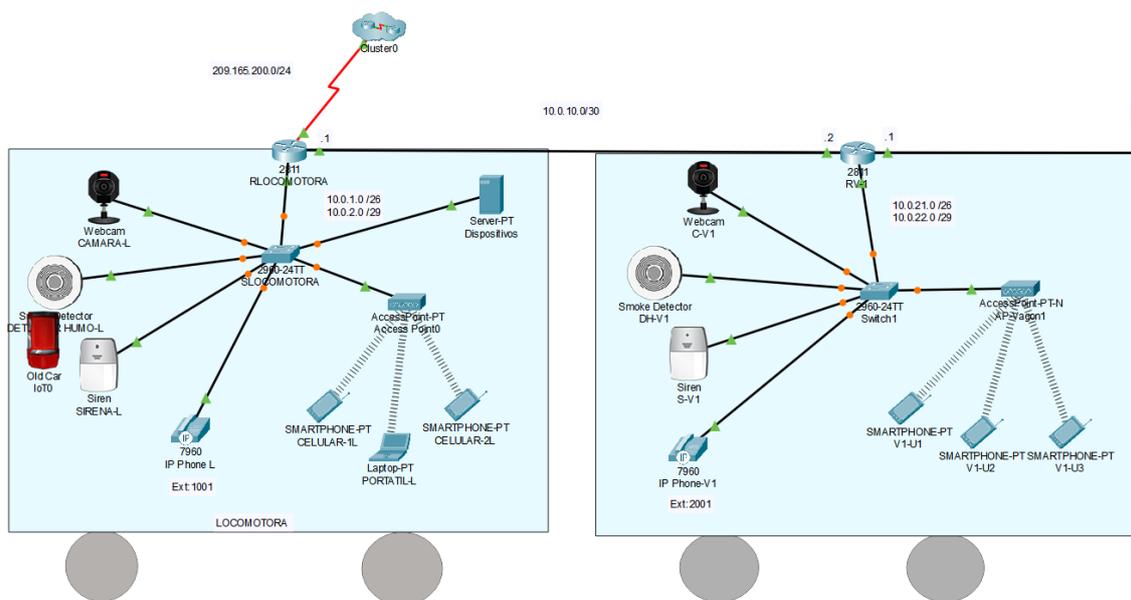


Figura 24 Red de comunicación para cada vagón, Locomotora y 1 Vagón.

Fuente: Autor.

3.7.4.2.7. Comunicación entre vagones.

Una vez que todas las redes internas en cada vagón están configuradas para poder tener comunicación con los demás coches se necesita de un protocolo de enrutamiento que será OSPF (Open Shortest Path First) que se puede configurar en cualquier equipo y no está limitado a equipos CISCO como es el caso de EIGRP.

La configuración de OSPF es mediante la declaración de las direcciones directamente conectadas en cada equipo con su máscara de Wildcard y especificando el área, que como

son una cadena de 5 router no es necesario realizar subdivisión de áreas por lo que todos los equipos se mantendrán en una misma área que es el área 0.

Se declaran las redes presentes de cada router para que exista comunicación desde cualquier punto de la red, tanto como en la red Intra-Vagón, Inter-Vagón y como se muestra en la figura 24 se encuentra una red en la nube la que simularía nuestra red de comunicación Tren a Infraestructura.

```
RLocomotora(config)#router ospf 1
RLocomotora(config)#network 10.0.1.0 0.0.0.63 area 0
RLocomotora(config)#network 10.0.2.0 0.0.0.7 area 0
RLocomotora(config)#network 10.0.10.0 0.0.0.3 area 0
```

Una vez configurado OSPF existe comunicación entre dispositivos finales mas no es el caso de telefonía para lo que se debe enrutar, las extensiones de cada red.

```
RLocomotora(config)#dial-peer voice 2000 voip
RLocomotora(config-dial-peer)#destination-pattern 200.
RLocomotora(config-dial-peer)#session target ipv4:10.0.10.2
RLocomotora(config-dial-peer)#exit
```

```
RLocomotora(config)#dial-peer voice 3000 voip
RLocomotora(config-dial-peer)#destination-pattern 300.
RLocomotora(config-dial-peer)#session target ipv4:10.0.20.2
RLocomotora(config-dial-peer)#exit
```

```
RLocomotora(config)#dial-peer voice 4000 voip
RLocomotora(config-dial-peer)#destination-pattern 400.
RLocomotora(config-dial-peer)#session target ipv4:10.0.30.2
RLocomotora(config-dial-peer)#exit
```

```
RLocomotora(config)#dial-peer voice 5000 voip
RLocomotora(config-dial-peer)#destination-pattern 500.
RLocomotora(config-dial-peer)#session target ipv4:10.0.40.2
RLocomotora(config-dial-peer)#exit
```

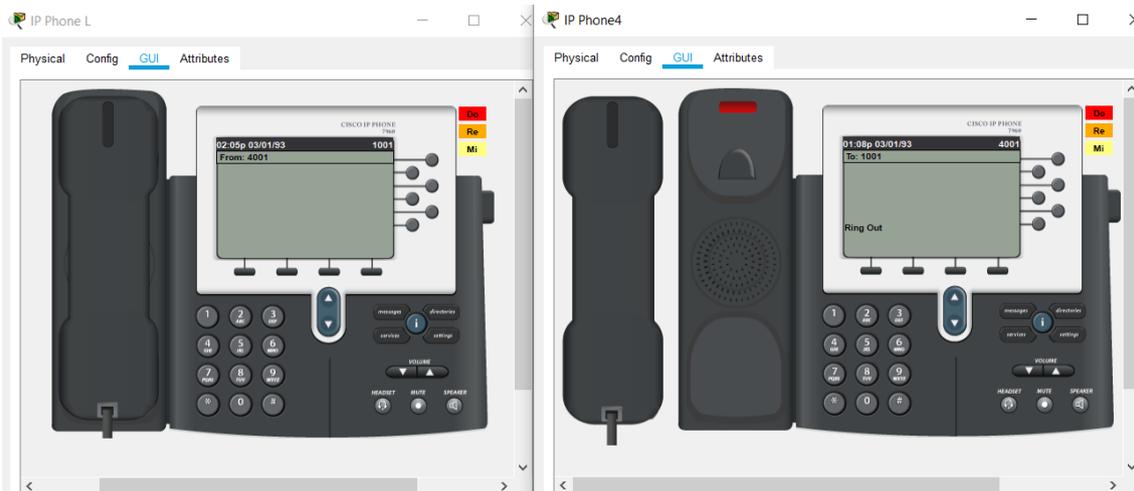


Figura 25 Prueba de conectividad de teléfonos IP entre Locomotora y Vagon 3.

Fuente: Autor.

Configurado la comunicación IP ya existe conectividad en toda la red y lo que finalmente falta es la activación del protocolo LLDP (Link Layer Discovery Protocol) que su función es la de compartir información de todos los equipos conectados en la red, pero únicamente con sus dispositivos adyacentes, este protocolo no requiere de una dirección IP en los dispositivos para su funcionamiento.

3.7.5. SIMULACIÓN DEL RADIO ENLACE.

Para la simulación se utilizó Radio Mobile el cual es un software gratuito diseñado para simular las transmisiones de radios entre sitios fijados denominado radioenlace o entre un sitio fijo y otro móvil es decir una cobertura de radio, este simulador permite la integración de la topología del terreno, con información de mapas con lo que será útil para la ubicación de los puntos de prueba.

El radioenlace se lo realizara en la ruta Tren del Hielo I, el cual debe suplir la necesidad de conectividad hacia el ferrocarril, para lo que se debe tener niveles de recepción aceptables para su buen funcionamiento, es por lo que se va a realizar pruebas de conectividad en diferentes puntos de la ruta que nos darán valores de recepción a lo largo de esta ruta.

Primero debemos conocer el estado actual de la cobertura celular en el área donde va a circular el ferrocarril. De las tres operadoras actuales existentes en el país se va a considerar el mapa de cobertura de la operadora Claro ya que cuenta con mayor infraestructura de cobertura desplegada en esta ruta.



Figura 26 Mapa de cobertura celular de la operadora de telefonía móvil Claro.

Fuente: (nPerf, 2020).

Como se puede observar a lo largo de la carretera o fuera de la ciudad de Riobamba se ve la carencia de infraestructura 4G o superior, con una gran cantidad de infraestructura 3G lo que no nos proporciona las velocidades de conexión que necesita este proyecto, por lo que a manera de estudio se necesita simular y colocar torres de comunicación LTE en esta ruta para que el ferrocarril tenga las condiciones apropiadas.

3.7.5.1. Ubicación de las torres celulares y puntos de prueba.

Las torres celulares se van a ubicar en tres estaciones una en la ciudad de Riobamba, otra en la comunidad La Moya que se encuentra en un punto medio entre Riobamba – Urbina y la última torre será colocada en Urbina.

De estos 3 puntos se necesita las coordenadas de ubicación como también la altura a la que se encuentra, esto se obtiene mediante la utilización de Google Earth. Los datos como la Latitud y Longitud están expresados de dos maneras, la primera que son en grados

decimales (GD), y la otra que son grados, minutos y segundos (GMS), la altitud esta expresada en metros.

Tabla 19 Estación Riobamba (Estación del tren)

Fuente: Autor.

	GD (grados decimales)	GMS (grados, minutos, segundos)	Altitud
Latitud	-1,621426	01°37'17,1"S	3018,7m
Longitud	-78,69247	78°41'32,9"W	

Tabla 20 Estación La Moya

Fuente: Autor.

	GD (grados decimales)	GMS (grados, minutos, segundos)	Altitud
Latitud	-1,583616	01°35'01,0"S	3277,9m
Longitud	-78,76285	78°45'46,3"W	

Tabla 21 Estación Urbina

Fuente: Autor.

	GD (grados decimales)	GMS (grados, minutos, segundos)	Altitud
Latitud	-1,504402	01°30'15,8"S	3614,2m
Longitud	-78,734	78°44'02,4"W	

Luego de definir las ubicaciones de las estaciones se debe definir puntos de prueba, que en este caso se definió cuatro puntos de prueba en puntos aleatorios ubicados dentro de la línea férrea que cubre la ruta Tren del Hielo I, los cuales servirán para comprobar la calidad del enlace a lo largo de la ruta identificando GD, GMS y altura en cada punto.

Tabla 22 Punto de prueba 1.

Fuente: Autor.

	GD (grados decimales)	GMS (grados, minutos, segundos)	Altitud
Latitud	-1,631176	01°37'52,2"S	2878m
Longitud	-78,68116	78°40'52,2"W	

Tabla 23 Punto de prueba 2.

Fuente: Autor.

	GD (grados decimales)	GMS (grados, minutos, segundos)	Altitud
Latitud	-1,610838	01°36'39,0"S	3140,8m
Longitud	-78,73968	78°44'22,8"W	

Tabla 24 Punto de prueba 3.

Fuente: Autor.

	GD (grados decimales)	GMS (grados, minutos, segundos)	Altitud
Latitud	-1,566407	01°33'59,1"S	3296m
Longitud	-78,75565	78°45'20,3"W	

Tabla 25 Punto de prueba 4.

Fuente: Autor.

	GD (grados decimales)	GMS (grados, minutos, segundos)	Altitud
Latitud	-1,538246	01°32'17,7"S	3429,9m
Longitud	-78,75346	78°45'12,4"W	

3.7.5.2. Configuración en Radio Mobile.

El equipo que servirá para el sistema en el proceso de simulación será el Antena panel exterior en mástil, 700-2700Mhz, el cual es un equipo con tecnología LTE que puede trabajar en la banda de 700 MHz. Esta antena presenta las siguientes características.

Tabla 26 Características de la Antena panel exterior 700-2700 MHz.

Fuente: Autor.

Parámetro	Descripción
Frecuencia Min/ Ganancia Min	790-960Mhz / 7dBi
Frecuencia Max/ Ganancia Max	1710-2700Mhz / 8dBi
VSWR	1.5
Polarización horizontal	65°
Polarización vertical	55°
Impedancia:	50 Ohm
Potencia máxima admitida	50w Conector: N hembra
Dimensiones mm	Alto 210, Ancho 180, Profundo 43
Dimensiones Embalaje	240 x 200 x 70mm
Latiguillo	275mm RG58
Temperatura	-40° / 65°C
Velocidad del viento nominal:	210 Km/h

Para poder configurar y colocar los diferentes puntos de prueba como la ubicación de torres celulares, se debe empezar primero con la extracción de mapa y como punto central para esta extracción será las coordenadas de latitud y longitud de la Estación La Moya, y con una altura 25 Km. Posteriormente para tener una mejor visibilidad del área de trabajo se realiza una combinación de imágenes en la que se selecciona la opción del mapa de OpenStreetMap y se realiza un producto entre los dos mapas.

La banda 28 de LTE (Banda de 700MHz) está conformada con dos bloques de 45MHz cada una y una banda de guarda de 10 MHz con lo que se tiene un bloque de 703-748MHz y otro de 758-803MHz (5G Americas, 2019). Por lo que en la configuración se utilizara el primer bloque para la configuración de las redes, con una polarización vertical de las

antenas y para la zona ecuatorial tal como se muestra a continuación. Cabe mencionar que para todas las redes será la misma configuración.

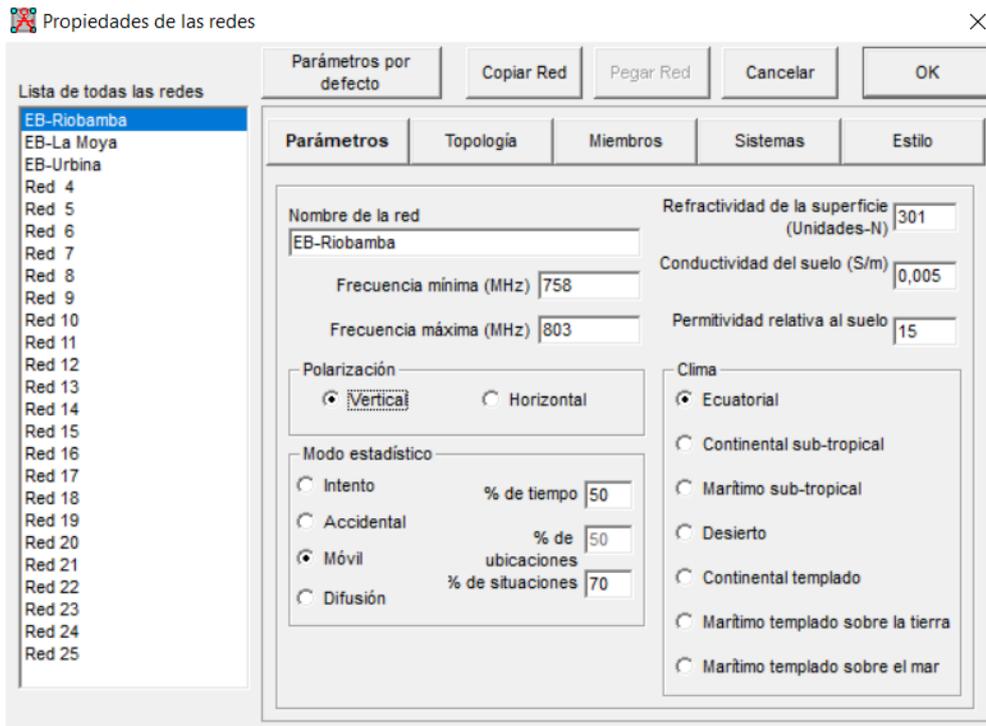
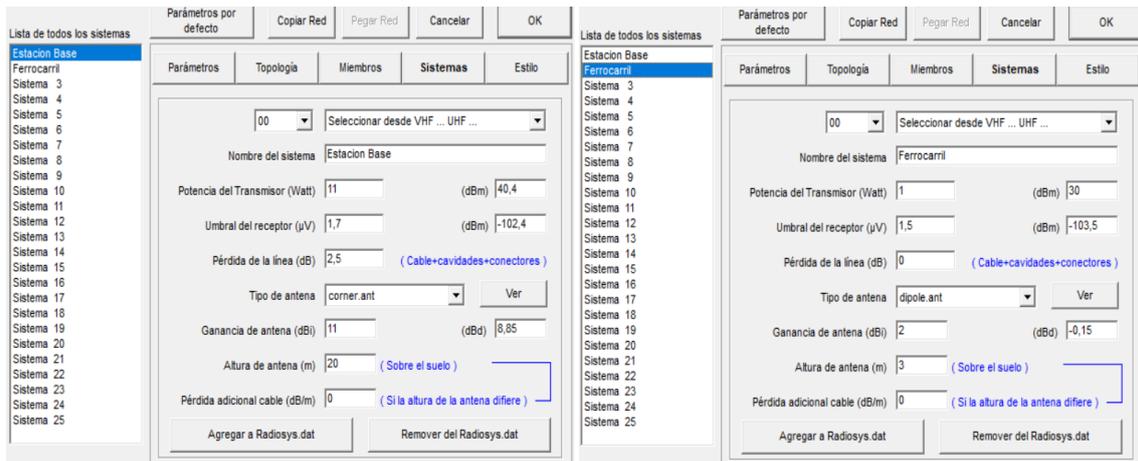


Figura 27 Configuración de las redes para las tres estaciones base de telefonía.

Fuente: Autor.

Posteriormente se debe configurar el sistema que para este caso serán dos sistemas en los que uno será para las estaciones base y otro para simular nuestro ferrocarril por lo que en el primer sistema existirá una mayor potencia en las antenas como también mayor ganancia a diferencia de lo que vendría dentro del sistema ferrocarril en donde es un equipo receptor y sus capacidades serán menores, obviamente para este caso no existirá pérdidas de la línea.



a)

b)

Figura 28 Configuración de los sistemas. a) Sistema Estación Base. b) Sistema Ferrocarril.

Fuente: Autor.

Se ingresan las coordenadas de los siete puntos que se declararon anteriormente, los cuales son conocidos como unidades y serán asignados a una red para hacer mediciones del nivel de recepción. Gráficamente se ha asignado un icono para radio bases y otro para los puntos de prueba.

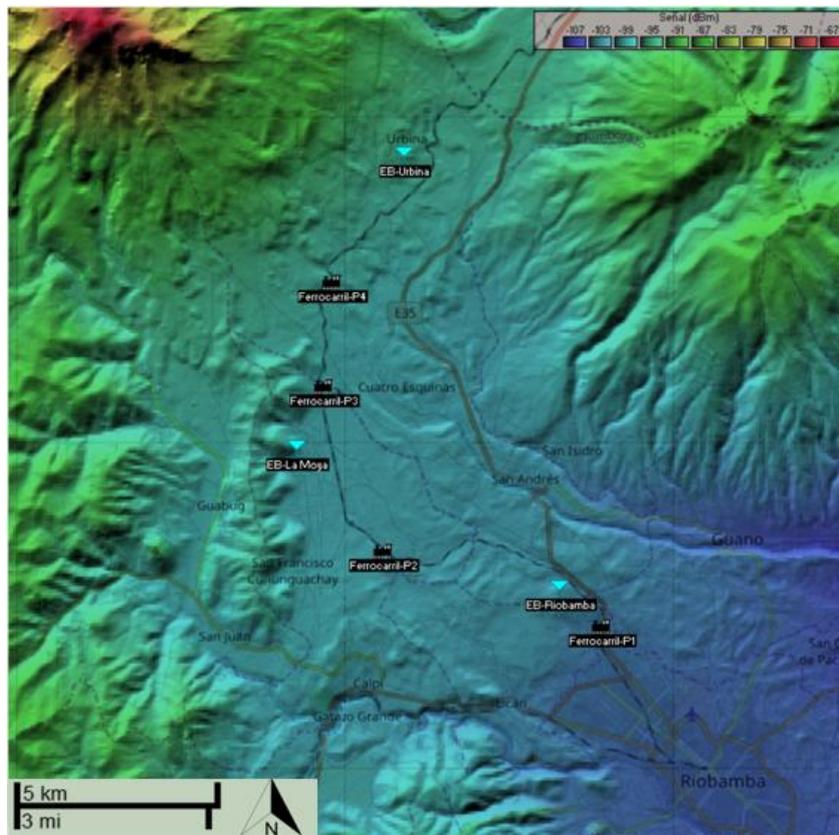


Figura 29 Ingreso de las coordenadas de las Radio Base y los 4 Puntos de Prueba.

Fuente: Autor.

Finalmente, lo que nos queda es asignar a cada red los miembros que van a interactuar, para lo que en EB-Riobamba se selecciona a los miembros de este sistema los cuales son las unidades EB-Riobamba y Ferrocarril-P1, a la unidad EB-Riobamba al ser la estación base será asignada el rol como control, la altura de la antena al estar en una torre celular será de 30m y la dirección de la antena será en dirección a Ferrocarril-P1; para la unidad Ferrocarril-P1 el rol será de subordinado y la altura de la antena será de 3 a 3.5m ya que se debe considerar la altura del tren para ser colocada, y la dirección hacia donde apuntará será EB-Riobamba.

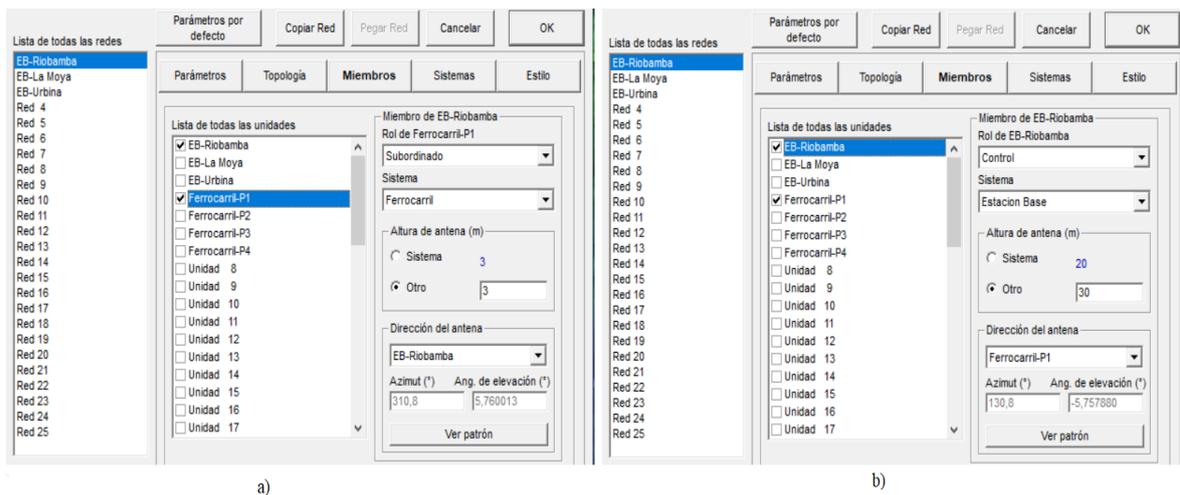


Figura 30 Asignación de los miembros a las redes. a) Configuración de unidad EB-Riobamba. b) Configuración de unidad Ferrocarril-P1.

Fuente: Autor.

Estas configuraciones son aplicadas para todas las redes, tomando en cuenta que cada estación base tendrá su patrón de radiación apuntando hacia la unidad de prueba que es el vehículo más cercano a la estación base. Con estos parámetros se procedieron a realizar pruebas y mediciones en cuanto al nivel de recepción y posteriormente a verificar la calidad con la que el enlace está funcionando.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS

Al analizar los protocolos ETB y ECN se obtiene que estos son una evolución o una mejora en cuanto al estándar IEC 61375 conocido como TCN el cual fue diseñado únicamente para el sistema de comunicación ferroviaria, que si bien en sus inicios fueron pensados para el envío de señales de control mediante la utilización de WTB y MVB los cuales utilizan un sistema jerárquico mediante uso de tecnologías de bus y han sido muy utilizados a lo largo de los años, hoy en día se requiere mayor demanda en cuanto a velocidad es por ello que con ETB y ECN son una mejora notable ya que da un gran cambio incorporando en sus equipos la tecnología Ethernet con lo que logran mantener las funcionalidades de los protocolos anteriores, agrega una mayor velocidad de comunicación llegando a velocidades de 100 Mbps o inclusive a futuro lograra mayores velocidades.

Al añadir Ethernet nos da más funcionalidades ya que permite la interoperabilidad entre fabricantes, los dispositivos finales ya no son de un número limitado como en MVB en donde nos limitaba a 4095 dispositivos ya que con ECN se puede crear varias subredes así como también permite la incorporación de equipos de red normales, siendo así que se pueda utilizar para brindar servicios de conectividad a usuarios a bordo de la ferrocarril, eso si este protocolo mantiene su arquitectura inicial de WTB y MVB ya que la WTB es reemplazada por la ETB y la MVB por ECN, en donde ETB permite la comunicación entre vagones, y la ECN es dirigida a la red de comunicación interna del vagón, esta tendrá comunicación con los equipos finales.

En el diseño se considera la capacidad máxima de pasajeros como también se los equipos que irán dentro de cada vagón del ferrocarril para que no exista problemas de comunicación en cuanto a los dimensionamientos de anchos de banda, ya que en los cálculos se requiere de un ancho de banda de 33.41 Mbps con lo que se puede utilizar como tecnología de comunicación a 4G LTE la cual satisface ampliamente la demanda, el fabricante considera para el diseño es MOXA por la amplia gama de productos que

oferta que cumplen con estándar IEC 61375-2-5 e IEC 61375-3-4 a la vez que da información detallada de las funcionalidades de cada uno de sus productos.

En la simulación de la red interna se presentan inconvenientes debido a que no se puede configurar todas las funcionalidades principales de estos estándares uno de ellos es el del TTDP (Train Topology Discovery Protocol) el cual permite conectar cualquier vagón en un orden aleatorio, ya que al conectar un vagón el protocolo realiza el reconociendo de la posición y asigna de manera automática las direcciones de red a cada vagón, en Cisco Packet Tracer se presentan dos problemas, el primero que no se puede realizar la asignación automática ya que se necesitaría primero de un router principal el cual vaya asignando direcciones por DHCP a cada vagón y se debe tomar en cuenta que los vagones están conectados en serie lo que impide un tal asignamiento ya que no se puede realizar asignación por DHCP a router ubicados en cadena por lo que se crea una red independiente en cada vagón. El segundo problema es no poder cambiar la posición de los vagones ya que para que exista comunicación entre varias redes se necesita de enrutamiento por lo que se utiliza enrutamiento mediante OSPF en cada vagón donde se define las redes de sus vecinos y la red que fue asignada a cada vagón por lo que si cambiamos de posición este presentara conflictos al momento del envío de paquetes, también configura el protocolo LLDP el cual nos permite conocer a los vecinos sin necesidad de asignación de una dirección IP , se debe considerar que el TTDP en los equipos reales es el encargado de asignar el direccionamiento y descubrir la posición de cada uno de los vagones.

La red de ferrocarril se conoce mediante dos formas, la primera que es observándose por medio del protocolo LLDP en donde se encuentran la descripción de cada uno de sus vecinos. En las redes de comunicación TCN se utiliza este protocolo para descubrir a sus vecinos en donde aparte de mostrar información sobre la interfaz y el tipo de dispositivo también nos da información más detallada, esta información es únicamente de los dispositivos vecinos directamente conectados.

```
RV2#
RV2#
RV2#show lldp neighbors
Capability codes:
  (R) Router, (B) Bridge, (T) Telephone, (C) DOCSIS Cable Device
  (W) WLAN Access Point, (P) Repeater, (S) Station, (O) Other
Device ID           Local Intf      Hold-time  Capability     Port ID
RV3                 Fa1/0          120       R              Fa0/1
RV1                 Fa0/1          120       R              Fa1/0

Total entries displayed: 2
RV2#
RV2#show lldp neighbors detail
-----
Chassis id: 0001.C97E.B539
Port id: Fa0/1
Port Description: FastEthernet0/1
System Name: RV3
System Description:
Cisco IOS Software, 2800 Software (C2800NM-ADVIPSERVICESK9-M), Version 12.4(15)T1, RELEASE
SOFTWARE (fc2)
Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport
Copyright (c) 1986-2007 by Cisco Systems, Inc.
Compiled Wed 18-Jul-07 06:21 by pt_rel_team
Time remaining: 90 seconds
System Capabilities: R
Enabled Capabilities: R
Management Addresses - not advertised
Auto Negotiation - supported, enabled
Physical media capabilities:
  100baseT(FD)
  100baseT(HD)
Media Attachment Unit type: 10
Vlan ID: 1
-----
```

Figura 31 Prueba de LLDP en el RV2.

Fuente: Autor.

Como se puede apreciar nos muestra solo dos dispositivos y que se configura únicamente para la red ETB los cuales son sus vecinos directamente conectados, se excluye a los otros dispositivos como switch, y dispositivos finales ya que estos comprende la red ECN y para conocer las redes de vagones no interesa saber los hosts; con LLDP podemos conocer el puerto de salida del router RV2 como el puerto por el que ingresa en el siguiente dispositivo que si analizamos el caso de RV3 nos indica que el puerto por el que está conectado RV3 es la F0/1, el Hold-time es de 120 lo que representa el tiempo que debe pasar para poder declarar que el enlace está inactivo, la capacidad nos dice que es R para identificar que es un Router. También nos muestra información sobre RV3, pero de manera más detallada como el tipo de dispositivo y una descripción del sistema como versión de software.

Está configurado para la comunicación entre redes de los vagones el protocolo de enrutamiento OSPF en la cual podemos conocer todas las redes que están presentes en el sistema, para conocer las redes se puede hacer mediante el comando show ip route ospf en donde nos muestra solo las redes conectadas por OSPF, pero si queremos conocer los

otros enlaces que están conectados directamente se lo hace mediante el comando show ip route.

```
RV2#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 14 subnets, 3 masks
O    10.0.1.0/26 [110/3] via 10.0.20.1, 00:34:36, FastEthernet0/1
O    10.0.2.0/29 [110/3] via 10.0.20.1, 00:34:36, FastEthernet0/1
O    10.0.10.0/30 [110/2] via 10.0.20.1, 00:34:36, FastEthernet0/1
C    10.0.20.0/30 is directly connected, FastEthernet0/1
O    10.0.21.0/26 [110/2] via 10.0.20.1, 00:34:36, FastEthernet0/1
O    10.0.22.0/29 [110/2] via 10.0.20.1, 00:34:36, FastEthernet0/1
C    10.0.30.0/30 is directly connected, FastEthernet1/0
C    10.0.31.0/26 is directly connected, FastEthernet0/0.20
C    10.0.32.0/29 is directly connected, FastEthernet0/0.50
O    10.0.40.0/30 [110/2] via 10.0.30.2, 00:34:36, FastEthernet1/0
O    10.0.41.0/26 [110/2] via 10.0.30.2, 00:34:36, FastEthernet1/0
O    10.0.42.0/29 [110/2] via 10.0.30.2, 00:34:36, FastEthernet1/0
O    10.0.51.0/26 [110/3] via 10.0.30.2, 00:34:36, FastEthernet1/0
O    10.0.52.0/29 [110/3] via 10.0.30.2, 00:34:36, FastEthernet1/0
O    200.100.150.0/24 [110/67] via 10.0.20.1, 00:34:36, FastEthernet0/1
O    209.165.200.0/24 [110/66] via 10.0.20.1, 00:34:36, FastEthernet0/1

RV2#
```

Figura 32 Información de las redes ip en RV2.

Fuente: Autor.

En el router RV2 se observa como existen redes que se encuentran directamente conectadas “C” como también las rutas que aprendió mediante OSPF “O”, nos da la interfaz y la red por la que saldrá al momento de enviar un paquete a la siguiente red, y también nos muestra la hora de la última actualización.

En esta red se cuenta con un solo servidor ubicado en RLocomotora ya que es nuestra red principal, este servidor será el encargado de administrar lo referente a los dispositivos IoT como las cámaras de video, sensores de humo y las alarmas en caso de detección de humo. Todos los equipos IoT de la red de ferrocarril se muestran a continuación.

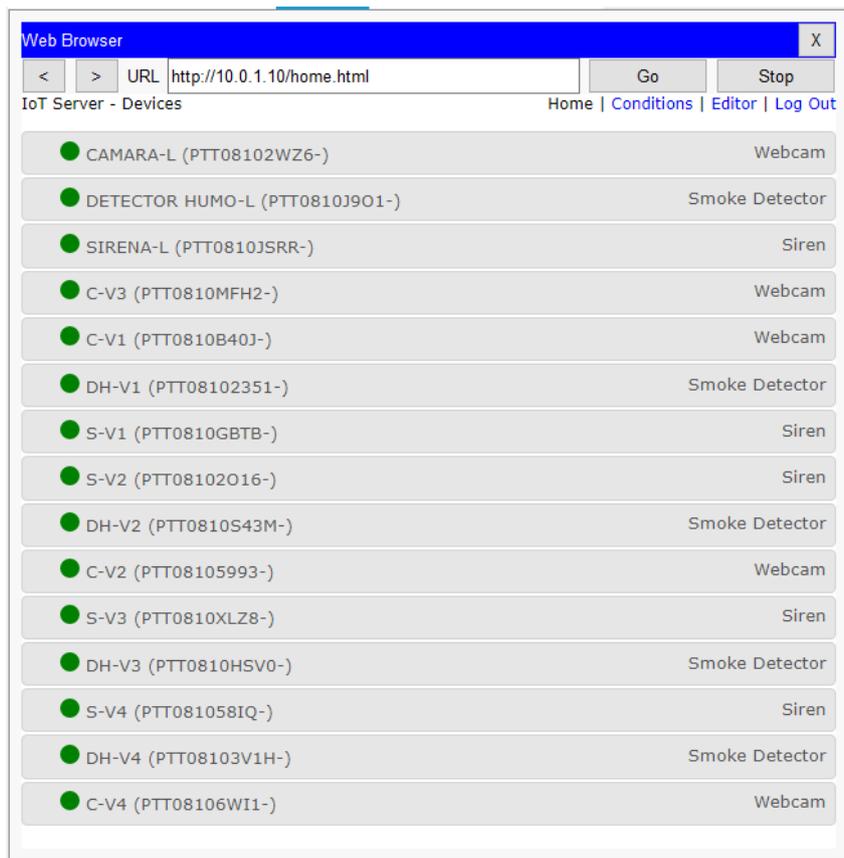


Figura 33 Dispositivos IoT en el servidor de Dispositivos.

Fuente: Autor.

Para la simulación de conectividad hacia internet primero tenemos una red en donde existen tres páginas que tendrán los nombres de Facebook, Google y Yahoo! estas serán paginas para probar la conectividad y el funcionamiento del servidor DNS el cual se encuentra fuera de la red del Ferrocarril ya que esto correspondería a un proveedor externo, a la vez que se debe comprobar que los hosts tengan la asignación de direcciones correctamente.

```
C:\>ipconfig

Wireless0 Connection:(default port)

Link-local IPv6 Address.....: FE80::2D0:D3FF:FE89:2B91
IP Address.....: 10.0.1.22
Subnet Mask.....: 255.255.255.192
Default Gateway.....: 10.0.1.1
```

Figura 34 Prueba de asignación de dirección IP mediante servidor DHCP en Portátil.

Fuente: Autor.

Las alarmas están configuradas para que se activen cuando exista un valor superior a 0.1 con lo que para probar el funcionamiento se utiliza en dispositivos finales un vehículo viejo el cual emite cantidades de dióxido de carbono suficientes para superar esta barrera de los sensores.

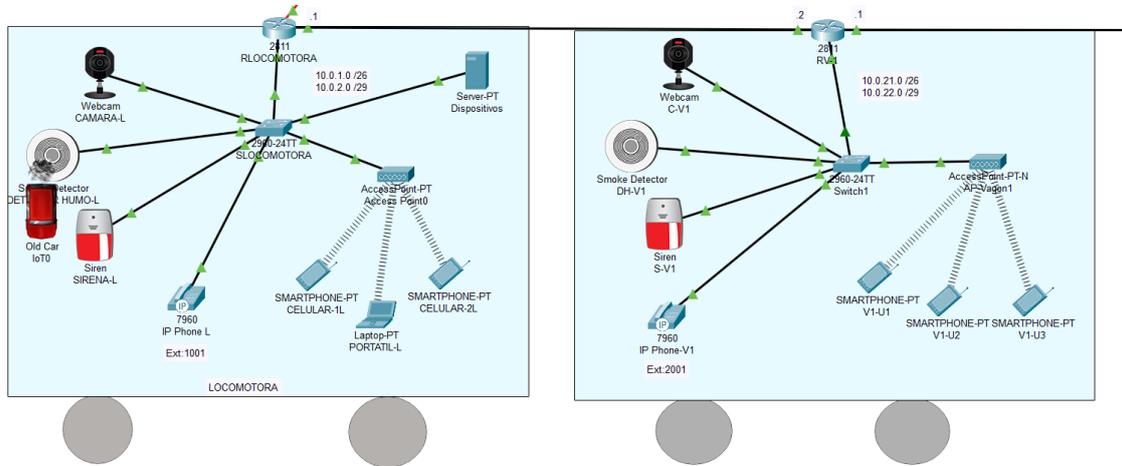


Figura 35 Prueba de activación de sirenas al detectar niveles de dióxido de carbono proveniente del vehículo viejo.

Fuente: Autor.

Como se visualiza en la figura 35 el vehículo está emitiendo dióxido de carbono, pero se activan todas las sirenas en los otros vagones, esto es debido a que el rango de emisión del vehículo no es corto y afecta a todos los sensores de humo es por lo que se activan los demás sensores, como se aprecia en la figura 36 el nivel de recepción de los sensores es el mismo en los dos puntos.

● DETECTOR HUMO-L (PTT0810J901-)	Smoke Detector
Alarm	●
Level	0.181889
● SIRENA-L (PTT0810JSRR-)	Siren
● C-V3 (PTT0810MFH2-)	Webcam
● C-V1 (PTT0810B40J-)	Webcam
● DH-V1 (PTT08102351-)	Smoke Detector
Alarm	●
Level	0.181889

Figura 36 Niveles de recepción de CO2 en los sensores.

Fuente: Autor.

Para verificar que exista comunicación entre dispositivos se lo realiza mediando un ping desde los dispositivos que se encuentran en la red de Locomotora, en donde nos mostrara datos sobre las estadísticas de los datos enviados y recibidos. Para caso de análisis se utiliza la portátil, y las pruebas de ping se realizarán a hosts presentes en diferentes vagones como se muestra en la figura 37.

```
C:\>ping 10.0.51.1

Pinging 10.0.51.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.51.1: bytes=32 time=46ms TTL=251
Reply from 10.0.51.1: bytes=32 time=33ms TTL=251
Reply from 10.0.51.1: bytes=32 time=12ms TTL=251
Reply from 10.0.51.1: bytes=32 time=21ms TTL=251

Ping statistics for 10.0.51.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 12ms, Maximum = 46ms, Average = 28ms

C:\>ping 10.0.41.1

Pinging 10.0.41.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.41.1: bytes=32 time=9ms TTL=252
Reply from 10.0.41.1: bytes=32 time=21ms TTL=252
Reply from 10.0.41.1: bytes=32 time=12ms TTL=252
Reply from 10.0.41.1: bytes=32 time=15ms TTL=252

Ping statistics for 10.0.41.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 9ms, Maximum = 21ms, Average = 14ms

C:\>ping 10.0.1.1

Pinging 10.0.1.1 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.1.1: bytes=32 time=15ms TTL=255
Reply from 10.0.1.1: bytes=32 time=35ms TTL=255
Reply from 10.0.1.1: bytes=32 time=20ms TTL=255
Reply from 10.0.1.1: bytes=32 time=5ms TTL=255

Ping statistics for 10.0.1.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 5ms, Maximum = 35ms, Average = 18ms
```

Figura 37 Ping de prueba realizado desde portátil en locomotora hacia host en el vagón 3 y 4.

Fuente: Autor.

En los tres casos no existe pérdida de paquetes por lo que tenemos el mismo número de paquetes enviados como recibidos, los valores promedios del round trip (ida y vuelta del paquete) en los tres casos no presentan una gran diferencia, ya que el valor más alto es en la conexión con el host de la red del Vagón 4 en donde el promedio nos da 28 milisegundos y para los otros casos el round trip se mantiene en un valor inferior a los 20 milisegundos. Lo que si va a cambiar es el TTL (Time To Live) en donde este valor va a iniciar 255 y según de un salto por un router ira reduciendo su valor, es por ello que en el ping realizado al host del vagón 5 nos entrega un valor de 251 que representa que tuvo 5 saltos.

Para la conectividad desde los hosts hacia las redes de internet se lo hace mediante primero por interfaz gráfica de cada dispositivo en donde se ingresa únicamente el nombre de la página y el servidor DNS tendrá que realizar la traducción de los nombres de dominio y nos permitirá el acceso a dichas paginas como se muestra en la figura 38.

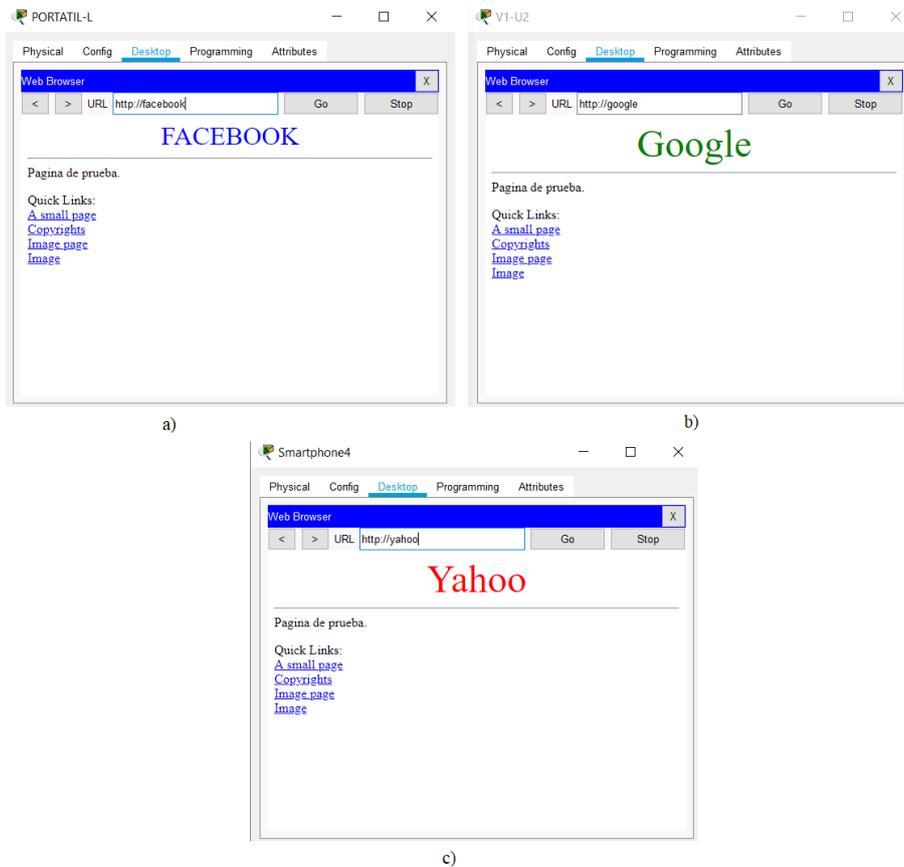


Figura 38 Pruebas de acceso con paginas HTTP. a) Facebook. b) Google. c) Yahoo!.

Fuente: Autor.

Como inicialmente se plantea tener información sobre la ruta la cual puede ser accedida por cualquier usuario, ya sea mediante sus dispositivos finales o mediante una pantalla de información la cual estará siempre disponible y esta brindará información de la ruta, y algunos parámetros acerca del recorrido, también brinda información sobre los puntos a visitar como se muestra en la figura 39.



Figura 39 Página de información de la ruta Tren del Hielo I.

Fuente: Autor.

Si bien podemos ver que existe acceso a páginas web se debe conocer la ruta por las que están viajando los paquetes, esto mediante un tracert podemos conocer a detalle las redes que atraviesa antes de llegar al destino, esta prueba se la realizara en un host del vagón 4 ya que este es el más lejano ya que la Locomotora no va a realizar saltos porque en ella está en enlace de salida hacia la red externa, en la figura 40 se realiza un tracert desde un host hacia la página Facebook.

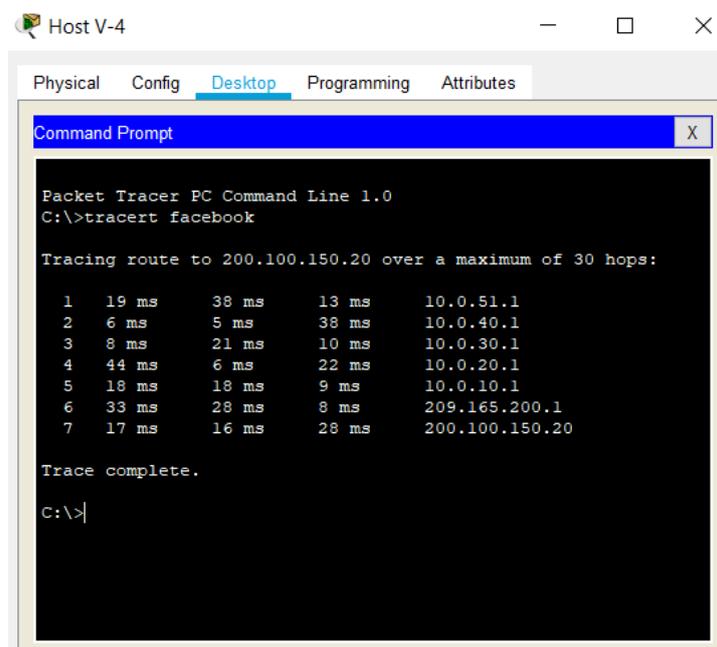


Figura 40 Comando tracert desde host vagón 4 hacia Facebook.

Fuente: Autor.

Como se puede apreciar antes de realizar los saltos nos muestra la dirección IP de Facebook que es 200.100.150.20 y nos indica que el número máximo de saltos que se pueden dar son de 30 en el caso de exceder el no permitirá conocer la ruta. Para poder llegar a Facebook se realiza 7 saltos en el que el primer salto representa el Gateway de su red, y posteriormente va detallando los saltos que hace a lo largo de los diferentes Routers presentes los tres vagones y la locomotora, en la ruta 6 es donde indica la dirección por la que se está conectando a redes exteriores para finalmente en la ruta 7 nos muestra que llega a la dirección IP del sitio WEB que se consultó.

A continuación, se muestra en la tabla 27 los tiempos aproximado de envío y recepción de un paquete entre un dispositivo final de cada vagón con el servidor HTTP (Facebook, Google o Yahoo!).

Tabla 27 Comparación de las pruebas de ping realizadas desde un host de cada vagón.

Fuente: Autor.

Host	IP origen	IP destino	TTL	Round trip promedio	Paquetes perdidos
Locomotora	10.0.1.21	200.100.150.20	126	10ms	0
Vagón 1	10.0.21.23	200.100.150.20	125	13ms	0
Vagón 2	10.0.31.22	200.100.150.20	124	10ms	0
Vagón 3	10.0.41.22	200.100.150.20	123	19ms	0
Vagón 4	10.0.51.21	200.100.150.20	122	19ms	0

Como se puede apreciar los tiempos promedios del round trip no tienen grandes diferencias entre sí, y no existe ningún tipo de pérdida de paquetes en el caso de cualquier vagón por lo que si se accede a un sitio web desde cualquier vagón van a tener los mismos tiempos de carga.

En las pruebas de conectividad para el acceso a internet en la ruta Tren del Hielo I, se planteó usar LTE en la banda de 700MHz, la altura máxima del receptor en el vagón es de 3 metros, hay que considerar que la topología del terreno en esta área es irregular por lo que los valores de recepción para el caso de la simulación pueden no ser los óptimos, pero servirán para mantener una comunicación estable y aceptable para un funcionamiento adecuado.

Las antenas utilizadas para el caso de las estaciones base son tipo córner por el tipo de patrón de radiación ya que son direccionales y en el caso de las estaciones base para cubrir un área de 360 grados utilizan arreglo de 3 antenas de 120 grados. En el receptor se utiliza antenas de dipolo por la forma del patrón de radiación ya que el receptor no puede apuntar en una única dirección. Los patrones de radiación de cada antena se aprecian en la figura 41.

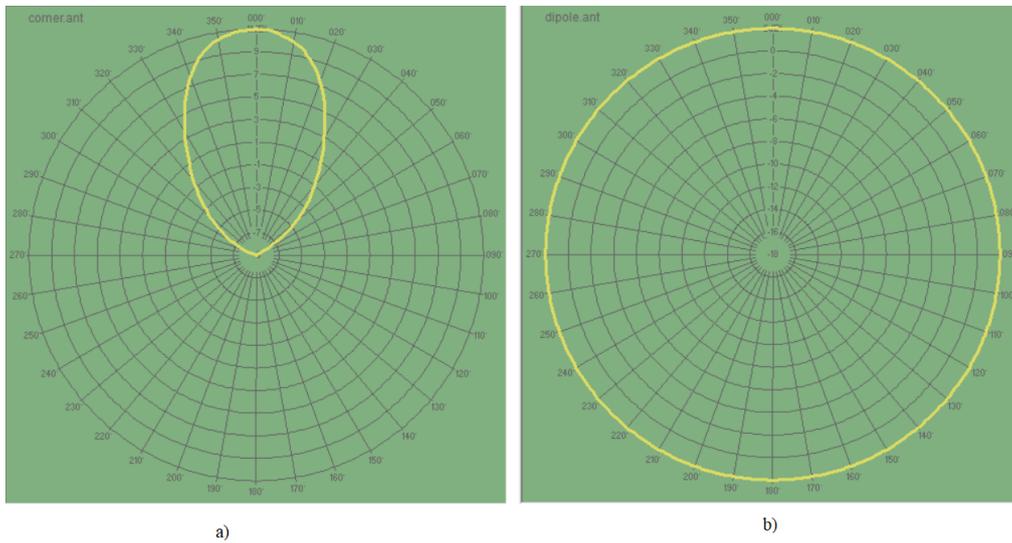


Figura 41 Patrones de radiación. a) Antena tipo corner. b) Antena tipo dipolo.

Fuente: Autor.

Cuando ya se define todos los valores y asignado los sistemas a cada punto, se tiene inicialmente una vista general de los enlaces como se muestra en la figura 42.

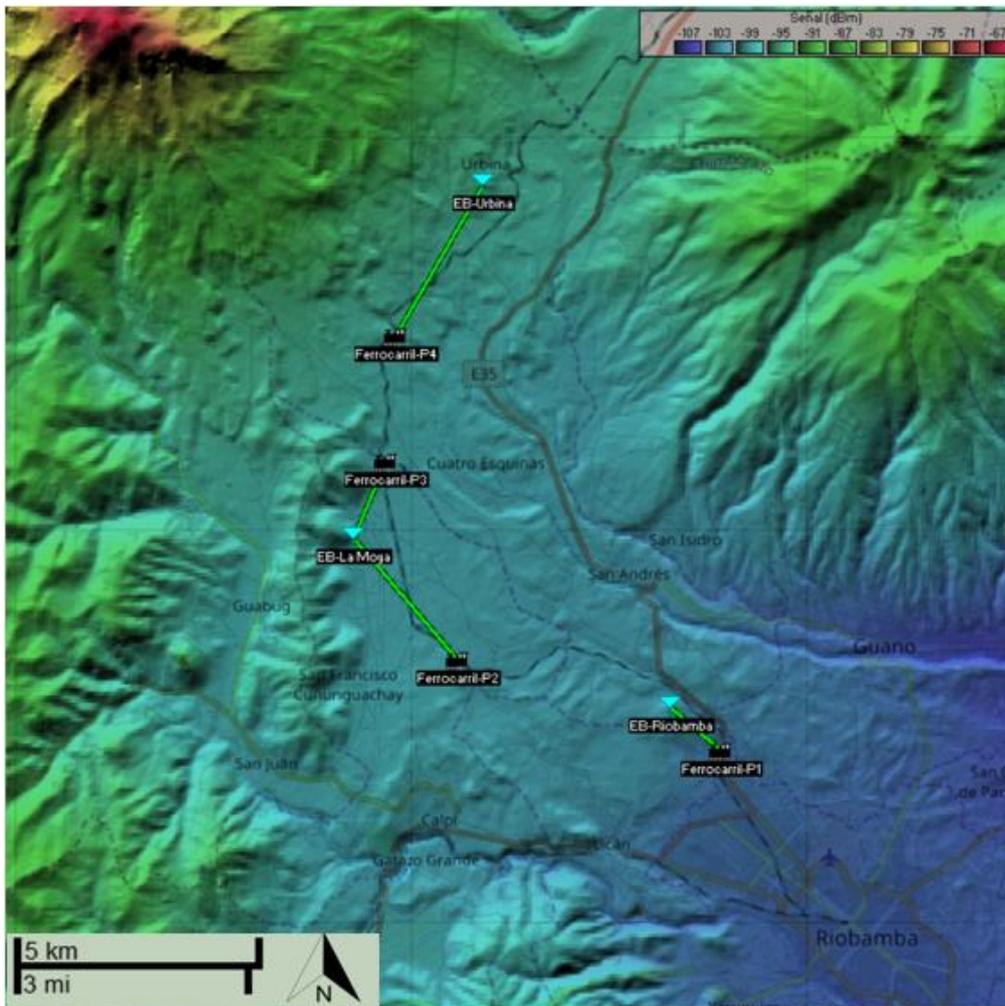


Figura 42 Vista general del estado de los enlaces, ruta Tren del Hielo I.

Fuente: Autor.

Los resultados del enlace están de tonalidad verde indicando que el estado del enlace es bueno, pero como se aprecia están puntos diferentes lo que por lo que los enlaces deben ser analizados separadamente para conocer el comportamiento a lo largo de diferentes puntos en la ruta.

El resultado de los cuatro enlaces realizados se muestra a continuación:

- **Enlace 1 de EB-Riobamba hacia el Ferrocarril-P1.**

En la figura 43 se puede ver que la distancia del enlace es de 1.66 Km, la tonalidad de color verde nos indica que el parámetro de recepción está en buenas condiciones, nos da un nivel de recepción de -52.9dBm.

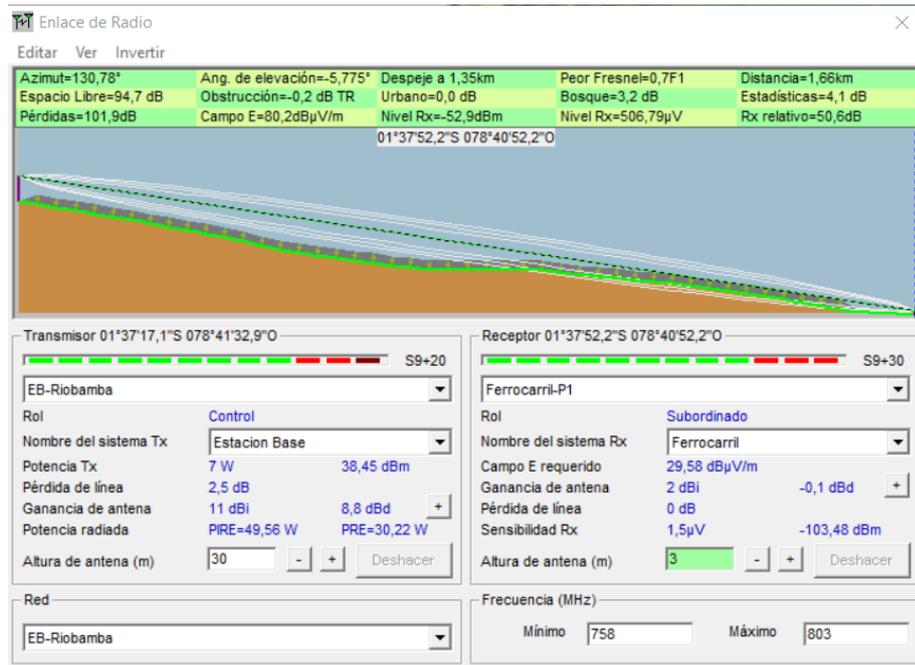


Figura 43 Enlace entre EB-Riobamba y Ferrocarril-P1.

Fuente: Autor.

- **Enlace de EB-La Moya hacia el Ferrocarril-P2.**

En la figura 44 la distancia del enlace es de 3.97 Km, mantiene la tonalidad de color verde nos indica que el parámetro de recepción está en buenas condiciones, y el nivel de recepción es de -59.0dBm.

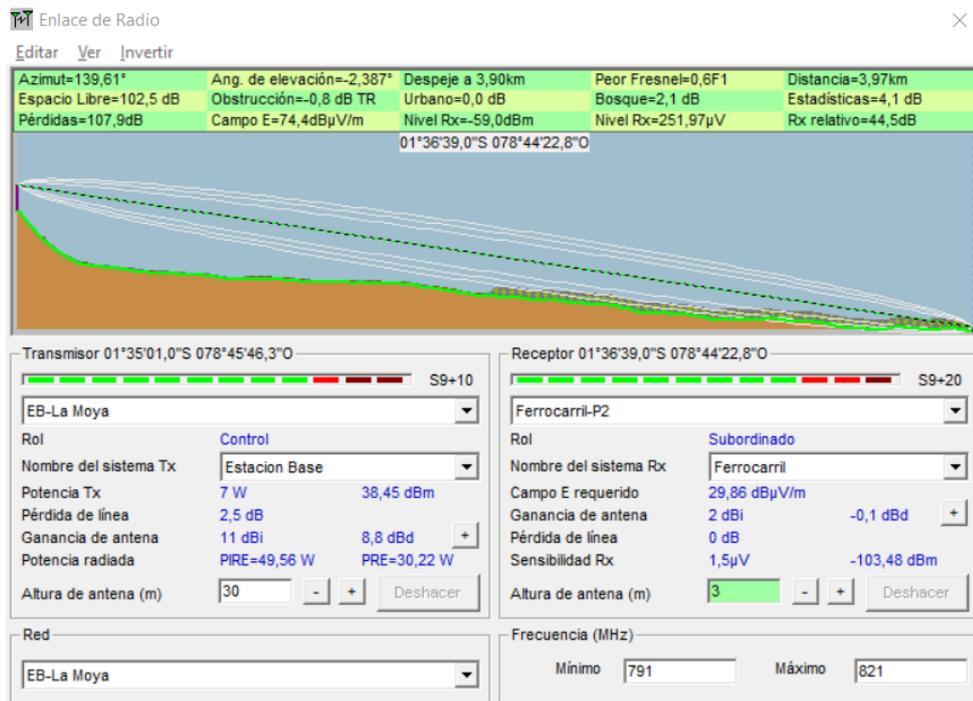


Figura 44 Enlace de EB-La Moya hacia el Ferrocarril-P2.

Fuente: Autor.

- **Enlace de EB-La Moya hacia el Ferrocarril-P3.**

En la figura 45 la distancia del enlace es de 2.07 Km, mantiene la tonalidad de color verde nos indica que el parámetro de recepción está en buenas condiciones, y el nivel de recepción es de -53.6dBm.

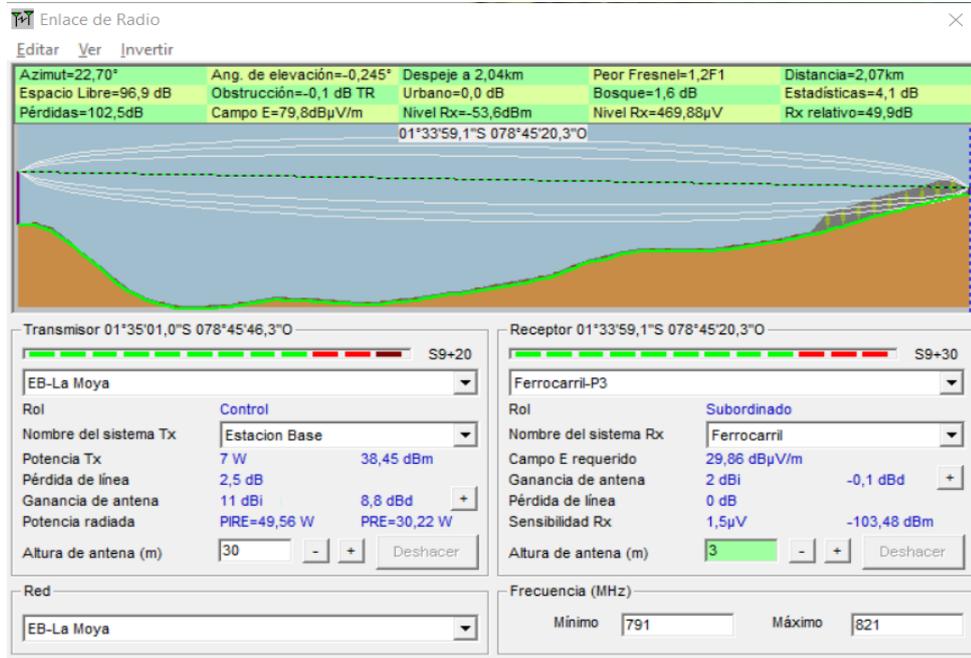


Figura 45 Enlace de EB-La Moya hacia el Ferrocarril-P2.

Fuente: Autor

- **Enlace de EB-Urbina hacia el Ferrocarril-P4.**

En la figura 46 la distancia del enlace es de 4.34 Km, mantiene la tonalidad de color verde nos indica que el parámetro de recepción está en buenas condiciones, y el nivel de recepción es de -56.6dBm.

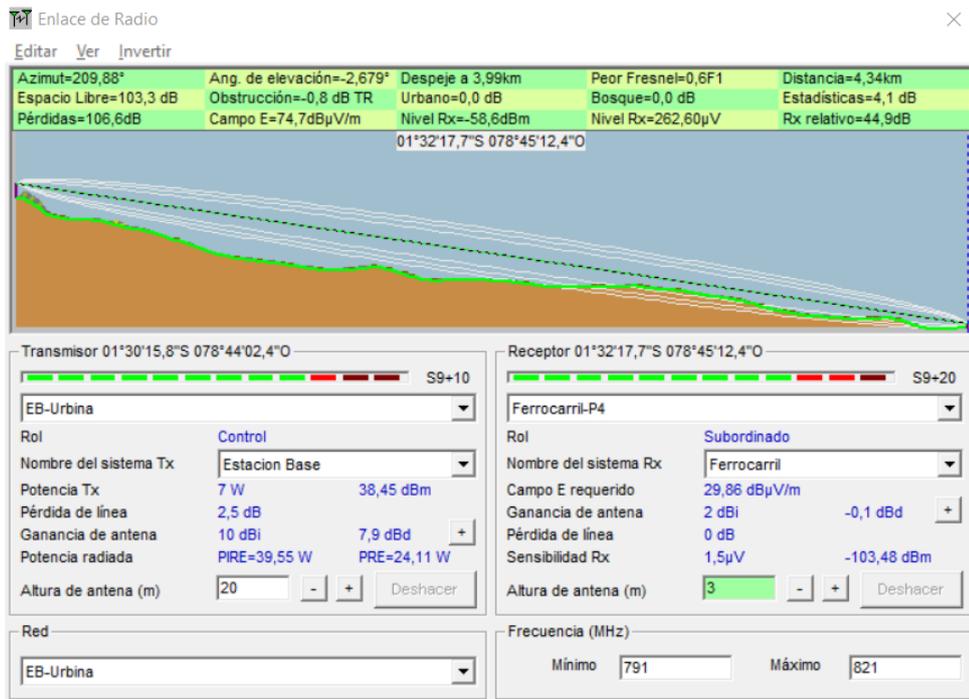


Figura 46 Enlace de EB-Urbina hacia el Ferrocarril-P4.

Fuente: Autor.

En resumen, los resultados obtenidos en los diferentes enlaces tanto en el nivel de recepción como en la distancia se muestran en la tabla 27.

Tabla 28 Niveles de recepción de los 4 enlaces.

Fuente: Autor.

Enlace	Nivel de recepción	Distancia
Enlace 1	-52.9 dBm	1.66 Km
Enlace 2	-59.0 dBm	3.97 Km
Enlace 3	-53.6 dBm	2.07 Km
Enlace 4	-58.6 dBm	4.34 Km

El parámetro más importante para analizar la funcionalidad del enlace es el nivel de recepción el cual esta expresado en -dBm y trasladando los niveles de recepción en calidad de la señal se obtiene las siguientes 4 categorías esto para análisis de rendimiento de una red 4G LTE sobre la banda de los 800 MHz (Ramis, 2016):

Tabla 29 Categorías de recepción.

Fuente: Autor.

Nivel de recepción	Calidad de señal	Descripción
-51dBm a -75dBm	Señal muy alta	Máxima velocidad y cobertura.
-76dBm a -90dBm	Señal medio alta	Se puede utilizar voz y datos sin dificultades.
-91dBm a -105dBm	Señal medio baja	Permite transmisión de voz y datos, la velocidad de datos se ve afectada
>105dBm	Señal baja	Dificultad en la transmisión de voz, velocidad de datos lenta (puede presentar cortes)

Tomando en cuenta los valores obtenidos en la tabla 28 y si los comparamos con los rangos de la tabla 29, se tiene que en el radio enlace para el caso del enlace 1,2,3 y 4 están funcionando con una calidad de señal muy alta, lo que indica que la velocidad y la cobertura será la máxima, lo que nos da como resultado un enlace totalmente confiable, el cual nos entrega la mayor velocidad de 4G LTE con lo que satisface la velocidad que se requiere para que funcione toda la red, lo que nos dice que no va a presentar dificultad alguna al momento de la conexión, por ende el radio enlace está funcionando en un nivel muy apropiado para mantener la conexión a lo largo de toda la ruta Tren del Hielo I.

4.2. DISCUSIONES

Las comunicaciones siempre han sido un factor importante en todo sistema, la necesidad de comunicarnos cada día es más imprescindible por lo que se ve obligada a evolucionar e innovar, Masson y Berbineau (2017) nos dice que las comunicaciones ferroviarias estaban diseñadas para el envío de mensajes cortos como alarmas, pero con esta capacidad de comunicación se ignora a los usuarios y considera únicamente a los maquinistas y operadores, por lo que se requiere de nuevas innovaciones en la comunicación en medios móviles como se puede observar en medios de transporte público como buses y taxis,

pero se ignoraba a medios como el ferrocarril que se deben considerar por su gran capacidad para llevar pasajeros, considerando que ferrocarriles del Ecuador en la ruta tren del Hielo I tiene una gran demanda como lo muestran los datos estadísticos del número de pasajeros transportados en el año 2019 con un total de 6520 personas ,es por ello que al implementar una red de comunicación en los vagones de ferrocarril y utilizando los estándares IEC 61375-2-5 e IEC 61375-3-4 se obtiene la integración de los usuarios al acceso de servicios de conectividad en ferrocarriles, lo que dará como resultado mejores prestaciones y un mayor confort en los viajes.

En el radioenlace se debe establecer la frecuencia a la que se va a operar ya que en Ecuador las bandas existentes para la comunicación 4G LTE son para Movistar la banda 2 (1900 MHz), para Tuenti la banda 2 (1900 MHz), Claro la banda 4 (1700/2100 MHz) y CNT con las bandas 4 (1700/2100 MHz) y 28 (700MHz) respectivamente (TeleSemana.com, 2020). Con esto se abre la posibilidad de la utilización de cualquiera de las 3 bandas pero también se debe elegir la frecuencia a la que va a trabajar considerando la geografía del terreno por lo que para este caso se utilizara la banda 28 que se utiliza en Ecuador y América Latina, y nos da el rango de 698 a 806 MHz, esta banda es útil en Ecuador ya que si consideramos las demás bandas de LTE tienen frecuencias superiores a 1GHz y estas a su vez tienen varias dificultades para penetrar en espacios, es por ello que con la banda 700 MHz se puede cubrir un área determinada con un número inferior de radio bases, por tal motivo en América Latina se utiliza principalmente la banda de 700MHz (5G Americas, 2019).

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- A lo largo de los años se han ido dando grandes cambios en el modo de comunicación en los ferrocarriles y todo va convergiendo en IP con lo que no solo da mayor facilidad para el estudio, sino que al ser un estándar obliga a tener interconectividad entre fabricantes y con ello a dar aportes entre diferentes compañías dando soluciones a problemas en cuanto a lo que tiene que ver con acceso a Internet.
- La red de comunicación diseñada permite acceder a servicios de conectividad a todos los usuarios del ferrocarril, ya que los equipos utilizados permiten una mayor capacidad de usuarios finales, a la vez que mejora la experiencia de viaje con la incorporación de sistemas de seguridad como cámaras y sensores de humo.
- En la simulación los resultados obtenidos son satisfactorios debido a que la comunicación entre vagones de ferrocarriles funciona en sus mejores capacidades, permitiendo el envío y recepción de mensajes y paquetes con todos los usuarios dentro de la red, a la vez que también el acceso a internet para cada usuario esta siempre disponible por que los tiempos de carga son pequeños y no darán problemas a futuro.
- El enlace garantiza la disponibilidad de la red en todo momento, al analizar la calidad de señal de todos los enlaces se puede apreciar que la calidad de señal mínima obtenida es de señal medio alta, la cual no afecta a la velocidad de datos ni voz, con lo que garantiza un nivel de recepción muy aceptable.

5.2. RECOMENDACIONES

- Separar el tráfico voz y datos por VLANs diferentes ya que con se tiene dos redes independientes y es una manera de brindar seguridad a la voz ya que al separar el tráfico ya no es posible escuchar el tráfico de voz desde la red de datos.
- Realizar pruebas internamente en cada vagón de las configuraciones realizadas para evitar inconvenientes al momento de realizar enrutamiento con los demás

vagones, explicando el caso de la telefonía IP en donde se configura otra dirección IP para un teléfono de prueba y comprobar el funcionamiento dentro de la red.

- Se recomienda la utilización del mapa de OpenStreetMap puesto que a diferencia de otros mapas este integra en su mapa la ruta del ferrocarril con lo que se puede identificar de manera más precisa los puntos de prueba y a la vez que este mapa se puede incorporar en Radio Mobile.
- Usar la banda 28 ya que obtiene una mayor área de cobertura y brinda mayor penetración en espacios con malas condiciones meteorológicas como es el caso de la ruta Tren del Hielo I, y al aplicar esto se reduce el número de radio bases.

BIBLIOGRAFÍA

- 5G Americas. (1 de 10 de 2019). La Banda de 700MHz en América Latina. 25.
- Al Maimouni, H. (Mayo de 2015). Estudio sobre la integración de sistemas de telecomunicaciones, control y protección al tren en sistemas ferroviarios de transporte urbano. 48-72. Barcelona. Recuperado el 10 de enero de 2020
- Amaguaña, L., Chamba, F., & Cobo, J. (2010). Estudio y diseño de un sistema WiMAX para la ciudad de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8548/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-216.pdf>
- Anglés, A. (2009). Despliegue y análisis de cobertura de una red WiMAX basada en IEEE 802.16-2004. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/13283470.pdf>
- Avilés, E. (s.f.). *Enciclopedia del Ecuador*. Obtenido de Ferrocarril Ecuador: <http://www.encyclopediadelecuador.com/historia-del-ecuador/ferrocarril-ecuador/>
- Ballesteros, M. (Febrero de 2009). Análisis técnico y regulatorio para la implementación de un operador móvil virtual en el país. 31. Recuperado el diciembre de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1331/1/CD-2088.pdf>
- Bouaziz, M., Yan, Y., Kassab, M., Soler, J., & Berbineau, M. (2018). Train-to-Ground communications of a Train Control and Monitoring Systems: A simulation platform modelling approach. *Transport Research Arena* , 10.
- Briso Rodríguez, C., & Guan, K. (2017). Wireless Communications in Smart Rail Transportation Systems. *Wireless Communications and Mobile Computing*.
- Calero, J. (30 de Octubre de 2019). Área Mecánica de Ferrocarriles del Ecuador en Chimborazo. (D. A. Maigualema Quimbita, Entrevistador) Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- CISCO. (13 de Abril de 2016). Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption.
- Daniel Lüdicke, A. L. (2019). Train Communication Networks and Prospects. *IEEE Communications Magazine* , 39-42.
- DAVANTEL. (11 de Abril de 2018). *IEC61735 – Redes Ethernet a bordo de trenes – Los Miércoles de Tecnología*. Obtenido de <https://blog.davantel.com/iec61735-redes-ethernet-a-bordo-de-trenes>
- Ecuador, F. d. (2020). *Datos estadísticos de pasajeros en la ruta Tren del Hielo I*. Riobamba.
- Estrada, J., & Reinoso, D. (Febrero de 2009). Diseño e implementación de un prototipo de monitoreo remoto de contaminación ambiental utilizando tecnología GSM. Quito. Recuperado el diciembre de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1137/1/CD-1984.pdf>
- Fernandez, G. (2013). Análisis de las mediciones de drive test realizadas por la Supertel en la red de servicio móvil avanzado de la ciudad de Riobamba para proponer mejoras en los niveles de cobertura y calidad de servicio. Riobamba, Ecuador. Recuperado el 11 de enero de 2020, de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/3627/1/98T00022.pdf>
- Holmberg, J. (2015). *Train Communication Networks*. Aalto University .
- Impulse Embedded. (2020). *TN-5916 EN 50155 RAIL NAT ROUTER*. Obtenido de https://www.impulse-embedded.co.uk/products/tn_5916--EN-50155-Rail-NAT-Router.htm

- Iturbe, X., Jiménez, J., Zuloaga, A., Lázaro, J., & Martín, J. L. (2010). The Train Communication Network: Standardization goes Aboard . *IEEE*, 1667-1672.
- Ma, L. -C., Zhong, C. -C., Cao, Y., Xing, Z., & Zhang, Y. -Z. (2014). Research on train communication network based on switched Ethernet. En C. A. Brebbia, N. Tomi, P. Tzieropoulos, & J. M. Mera, *Computer in Railways XIV* (págs. 109-121). Great Britain: WITPRESS.
- Masson, É., & Berbineau, M. (2017). *Broadband Wireless Communications for Railway Applications*. Poland: Springer International Publishing.
- Matute, M. Á. (15 de Octubre de 2016). *Viajes ferroviarios de ayer, hoy y mañana*. Obtenido de Wifi en el ferrocarril (I): dónde se puede navegar así en Europa en sus sistemas ferroviarios: <http://viajesferroviarios.blogspot.com/2016/10/wifi-en-el-ferrocarril-donde-se-puede.html>
- Mirko, J., Arjan, G., Natasa, S.-J., & Derya, M. S. (2018). Next-Gen Train Control / Management (TCMS) Architectures: “Drive-By-Data” System Integration Approach. *Embedded Real Time Software and Systems*, 10.
- MODELEC Data-Industrie. (s.f.). *Integrated IP Solutions for Smarter Railways*. Obtenido de IEC 61375-2-5 Ethernet Train Backbone: https://www.moxanederland.nl/Smart_Rail/inno_backbone.php
- Moltalvo, M. (28 de Octubre de 2019). Línea Ferrea de la ruta Tren del Hielo I. (D. A. Maigualema Quimbita , Entrevistador)
- Morcillo García, C. R., Fernandez, A., & Muñoz Frias , J. D. (2006). Redes de comunicación en trenes . *TecniRail*, 22-23.
- Moxa Inc. (12 de Noviembre de 2018). TN-5500A Series.
- Moxa Inc. (12 de noviembre de 2018). VPort 464 Series.
- Moxa Inc. (12 de noviembre de 2018). VPort P16-1MP-M12 Series.
- Moxa Inc. (20 de Agosto de 2019). AWK-3131A-RCC Series.
- Moxa Inc. (19 de Noviembre de 2019). OnCell G3150A-LTE Series.
- Moxa Inc. (09 de Enero de 2019). TN-5900-ETBN Series.
- Muñiz Aza, J. M., & Reviriego Hernández, V. (2011). Las Telecomunicaciones y el Ferrocarril. *Revista Vía Libre - Cuadernos Tecnicos*, 36.
- nPerf. (08 de 03 de 2020). *Mapa de cobertura 3G / 4G / 5G, Ecuador*. Obtenido de <https://www.nperf.com/es/map/EC/-/-/signal/?ll=-1.67784229260434&lg=-83.615&zoom=6>
- NU. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. (2013). Situación actual de los metros y ferrocarriles de América Latina. *ECLAC*, 9.
- Ogawa, Y., Ido, J., & Tatsumi, S. (2018). *Estados Unidos Patente n° US10069709B2*.
- OpenRailwayMap. (Noviembre de 2019). *Ruta Tren del Hielo I*. Obtenido de <https://www.openrailwaymap.org/>
- Ramis, E. (07 de 03 de 2016). *Redes Zone*. Obtenido de Análisis de la calidad y el rendimiento del 4G LTE sobre la banda de 800 MHz: <https://www.redeszone.net/2016/03/07/analisis-de-la-calidad-y-el-rendimiento-del-4g-lte-sobre-la-banda-de-800-mhz/>
- Regan, A., & Chen, R. (2015). Vehicular ad hoc networks. *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, 29-35. Recuperado el 9 de enero de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/long-term-evolution/pdf>
- Rodríguez, C., García, S., Fernández, A., & Frías, J. D. (2019). Análisis del estándar de comunicaciones TCN (Train Communication Network). *ResearchGate*, 9.
- Sharemap . (26 de 01 de 2018). *Ferrocarriles en Ecuador*. Obtenido de https://sharemap.org/public/Railways_in_Ecuador#!webgl
- Shift2Rail. (2015). Shift2Rail Joint Undertaking. *Multi-Annual Action Plan*, 54-75.

- TeleSemana.com. (2020). *Panorama de Mercado-Ecuador* . Obtenido de <https://www.telesemana.com/panorama-de-mercado/ecuador/>
- Tren Ecuador . (2018). *Andres del Sur* . Obtenido de Tren del Hielo I: <http://trenecuador.com/es/expediciones/tren-del-hielo-i/>
- Tren Ecuador. (2018). *tren Ecuador* . Obtenido de <http://trenecuador.com/es/nosotros/>
- Verdezoto Veloz, B. O. (Marzo de 2015). Diseño de una red LAN para el transporte de voz, datos y video para el municipio del canton Valencia provincia de Los Ríos. Quito.
- Yupanki Chela, K. M. (Diciembre de 2016). Estudio técnico comparativo de las tecnologías Long Term Evolution – LTE Y LTE Advanced. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Zuloaga, A., Astarloa, A., Jimenez, J., & Araujo, A. J. (2014). Cost-effective redundancy for ethernet train communications using HSR. *2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 1117-1122.
- Zuloaga, A., Astarloa, A., Jiménez, J., & Bidarte, U. (2013). High-avalibility Seamless Redundancy for Train Ethernet Consist Network. *Proceedings of the XVIII Conference on the Design of Circuits and Integrated Systems* (págs. 122-127). Donostia - San Sebastian: Researchgate.

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.

Ítem	Características	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Investigación	Diseño y simulación de la red	1	10000	10000
TN-5900-ETBN	Los enrutadores de la serie TN-5900 – ETBN proporcionan un amplio rango de entrada de potencia de 24 a 110 V CC.	5	3335	16675
VPort P16-1MP-M12-CAM36	VPort P16-1MP-M12-CAM36 - EN50155, imagen HD, cámara IP resistente de domo fijo, PoE, conector M12, lente de 3.6 mm, -25 a 55 grados C	5	699	3495
AWK-1131A-RCC	Punto de acceso 802.11n, banda de la UE, 0 a 60 grados C	5	699	3495
TN-5516A-8PoE-WV-CT-T:	Conmutador Ethernet administrado L2 con puertos 8 * 10 / 100BaseT (X) y 8 * 802.3at PoE + M12 conectores, 24-110 V	5	2699	13495
VPort 464 Series	Codificador de video industrial H.264 / MJPEG de 4 canales, 2 puertos Ethernet 10/100 / 1000BaseT (X), -25 a 60 grados C	2	1249	2498
OnCell G3150A-LTE	Puerta de enlace celular industrial LTE de 1 puerto, B1 / B3 / B7 / B8 / B20, RS-232/422/485, 0 a 55 ° C	2	730	1460

DELL 3275AIO	All in One touch 7th Generation AMD A6-9225 Processor (up to 3.0 GHz) with AMD Radeon R4 integrated graphics	5	799	3995
Siren	Tone-selectable Siren/Electronic Siren//Industrial Siren	5	120	600
Smoke Detector	Modbus smoke detector fire alarm sensor for Household with cloud server	5	34,17	170,85
CBL-M12DFF4PRJ45-BK-10-IP67	Cable Ethernet UTP Cat-5E M12 a RJ45 con conector M12 hembra codificado D de 4 pines con clasificación IP67	40	45	1800
CBL-M12MM8PRJ45-BK-100-IP67	Cable Ethernet UTP Cat-5E M12 a RJ45 con conector M12 con codificación A de 8 pines macho con clasificación IP67	40	45	1800
ROLLO DE CABLE UTP	Rollo Cable F/utp Nexxt Cat 6 305m Certificado	1	150	150
CONECTORES RJ45	Paquete de 100 conectores Cat6	1	13	13
Total		49646,85		
Impuesto de importaciones		2978,811		
Total importaciones		52625,661		
IVA		6315,07932		
Costo total equipos		61919,55132		
Equipos e Investigación		71919,55132		
imprevistos		14383,91026		
Total Proyecto		86303,46158		

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN.

Proyecto	Año 2020												Año 2021				
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5			
1. Ejecución del proyecto																	
1.1 Diseñar una red de comunicación que opere en los vagones de un ferrocarril, utilizando los estándares IEC 61375-2-5 e IEC 61375-3-4.																	
1.2 Analizar de infraestructura interna de los vagones y locomotora																	
1.3 Realizar posibles correcciones en el diseño																	
2. Implementación																	
2.1 Adquisición de equipos																	
2.2 Instalación del rack central de equipos																	
2.3 Instalación de equipos de red																	
2.4 Instalación del cableado estructural																	
2.5 Instalación de equipos finales																	
2.6 Configuración de los equipos de red																	
3 Pruebas																	
3.1 Pruebas de direccionamiento y asignación de IP a equipos																	
3.2 Pruebas de conectividad entre dispositivos finales																	
3.3 Pruebas de enrutamiento de tráfico entre vagones																	
3.4 Pruebas de acceso a Internet																	
4 Fase final																	
4.1 Charlas de capacitación a empleados																	
4.2 Prueba en ruta																	

ANEXOS

ANEXO 1

Aceptación por parte de Ferrocarriles del Ecuador para acceder a información.

FERROCARRILES DEL
ECUADOR EP



Oficio Nro. FEFP-GFS-2019-0197-O

Riobamba, 06 de noviembre de 2019

Asunto: Respuesta a oficio s/n solicitud de información para tesis.

Señor
Ciro Diego Radicelli Garcia
En su Despacho

De mi consideración:

En atención al oficio s/n de fecha 24 de octubre de 2019, suscrito por usted en donde manifiesta: *"A través del presente pongo en su conocimiento que desde la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo, se ha planteado la tesis de pregrado denominada: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN EN VAGONES DE FERROCARRILES A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES IEC 61375 PARA LA RUTA DEL HIELO 1 (RIOBAMBA - URBINA - LA MOYA - RIOBAMBA), la misma que será desarrollada por el Sr. Denis Andrés Maigualema Quimbita, y dirigida por mi persona.*

Bajo estos antecedentes solicitamos de manera cordial y comedida en caso de ser necesario se nos brinde las facilidades necesarias a fin de poder obtener información que podría ser de interés para la realización de dicha tesis..."; al respecto me permito indicar que se ha autorizado la petición y Ferrocarriles del Ecuador Empresa Pública - Filial Sur, brindará el apoyo necesario para la ejecución de la mencionada tesis.

Cabe indicar que la información proporcionada por FEFP para el desarrollo de la presente tesis será de utilización únicamente con fines académicos.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

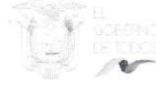
Documento firmado electrónicamente

Christian Marcelo Tamayo Toapanta
GERENTE FILIAL SUR

Copia:
Nidia Elizabeth Garces Arias
Analista de Talento Humano

ng





Oficio Nro. FEFP-GFS-2019-0197-O

Riobamba, 06 de noviembre de 2019

CHRISTIAN
MARCELO TAMAYO
TOAPANTA

ANEXO 2

Datos estadísticos del número de turistas que utilizan el ferrocarril en las rutas existentes en Chimborazo en el año 2019.

FERROCARRILES DEL ECUADOR EP

Memorando Nro. FEFP-CFS-2020-0022-M

Riobamba, 14 de febrero de 2020

PARA: Sr. Ciro Diego Radicelli Garcia

ASUNTO: RESPUESTA OFICIO S/N SOLICITUD DE ESTADÍSTICAS SR. DENIS MAIGUALEMA

De mi consideración:

Ferrocarriles del Ecuador FEFP - Filial Sur, extiende un cordial y atento saludo y desea en mejor de los éxitos en sus actividades diarias.

En atención a oficio s/n de fecha 31 de enero de 2020 en donde solicitan estadísticas de turistas nacionales y extranjeros que utilizan el Tren en la rutas habilitadas, me permito adjuntar el documento N° FEFP-GFS-SVSC-2020-0013-M, suscrito por la Ing. Ana Samaniego del área de ventas de la Filial Sur.

Con sentimientos de distinguida consideración

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Christian Marcelo Tamayo Toapanta
COORDINADOR DE FILIAL SUR

Referencias:
- FEFP-GFS-SVSC-2020-0013-M

Copia:
Ana Cecilia Samaniego Barreno
Administración y Servicio al Cliente

CHRISTIAN
MARCELO TAMAYO
TOAPANTA

Fecha de Emisión:
2020-02-14 10:10:11
Fecha de Validación:
2020-02-14 10:10:11
Fecha de Cancelación:
2020-02-14 10:10:11
Fecha de Expiración:
2020-02-14 10:10:11
Fecha de Caducidad:
2020-02-14 10:10:11

Dirección: Simchotagua s/n y Av. Maldonado. Código postal: 170603 / Quito-Ecuador
Teléfono: 593-2-3992100 - www.ferrocarrilesdel Ecuador.gob.ec

Lenin



EL GOBIERNO
DE TODOS

* Documento firmado electrónicamente por Quijux

1/1

Memorando Nro. FEED-GFS-SVSC-2020-0013-M

Riobamba, 12 de febrero de 2020

PARA: Christian Marcelo Tamayo Toapanta
Coordinador de Filial Sur

ASUNTO: RESPUESTA OFICIO S/N SOLICITUD DE ESTADÍSTICAS SR. DENIS MAIGUALEMA

De mi consideración:

En atención a oficio s/n de fecha 31 enero 2020, recibido por mi persona el 12 de febrero 2020 suscrito por el Ing. PhD. Ciro Diego Rdicellii Garcia y el Sr. Denis Maigualema, quienes solicitan estadísticas de los turistas que utilizan el tren en las rutas habilitadas, me permito remitir la información correspondiente al último año de las rutas Tren del Hielo I y Nariz del Diablo:

PASAJEROS RUTA TREN DEL HIELO I

RUTA	AÑO	NÚMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS
Tren del Hielo I	2019	6520

Fuente: Gerencia Comercial FEED

PASAJEROS RUTA TREN NARIZ DEL DIABLO

RUTA	AÑO	NÚMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS
Nariz del Diablo	2019	55376

Fuente: Gerencia Comercial FEED

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

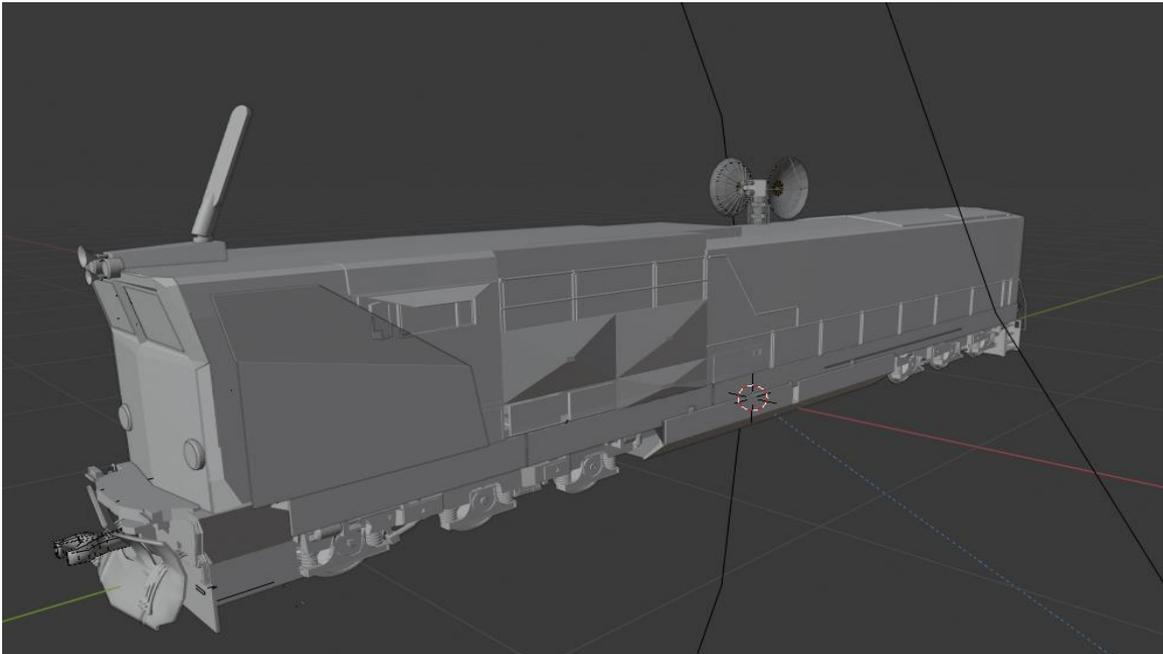


Ana Cecilia Samaniego Barreno
ADMINISTRACIÓN Y SERVICIO AL CLIENTE

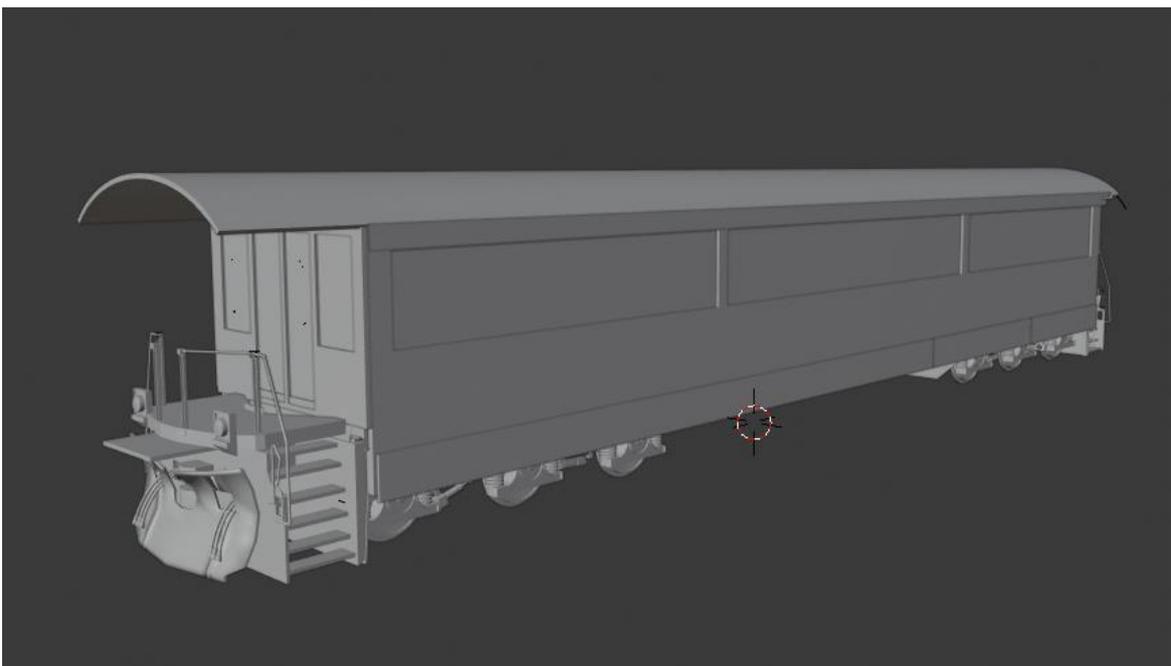
Anexos:
- solicitud_denis_maigualema.pdf

ANEXO 3

Diseño de la locomotora y vagones de ferrocarril en 3D en el software Blender.



Diseño de la locomotora en Blender



Diseño del vagón en Blender

ANEXO 4

Animación realizada en el software de Unity.



Visualización del ferrocarril con 3 vagones.



Vista interna del vagón.

ANEXO 5

Link de acceso para descargar un ejecutable de la simulación 3D para Windows y visualización de un video e imágenes.

- https://unachedu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/dmaigualema_fie_unach_edu_ec/EjHvtvHZ1slCpD_SkHW8XZcBWLAMrm1yreE0AqypR-M7nA?e=U0Txd

Instrucciones:

- Descargar la carpeta build.rar
- Extraer los archivos.
- Ejecutar el archivo Simulacion Ferrocarril.exe
- Dejar que se produzca la animación, una vez que llega a la estación esperar un lapso para que inicie la siguiente animación.
- Una vez finalizada con la letra A se puede reiniciar la animación y también se puede realizar el cambio de cámaras.
- Para intercambiar las diferentes cámaras se presiona la barra espaciadora.
- Posteriormente se puede ver las diferentes cámaras asignadas a las teclas

Tecla	Vista
z	Vista desde la locomotora
x	Vista interna del vagón
c	Vista intermedia del vagón
v	Vista de los equipos de red
b	Cámara desde la estación del tren

- Para finalizar se lo realiza mediante alt+F4.

ANEXO 6

Porcentaje de plagio, análisis URKUND



Document Information

Analyzed document	Ferrocarriles urkund.docx (D68377602)
Submitted	4/17/2020 12:37:00 AM
Submitted by	Ciro Radicelli
Submitter email	cradicelli@unach.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	cradicelli.unach@analysis.arkund.com

Sources included in the report

	Fetchd: 11/3/2019 11:59:17 PM	
W	URL: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/97457/WIFI_EMBARCADO_TRENES_CERCANIA_S_PFC_ISAIAS_GARCIA_ETSETB.pdf?sequence=8&isAllowed=y	 2
SA	Fetchd: 9/21/2018 11:48:00 PM URL: UPEC-CP-LIBXP-2018-003 - HIDALGO, YANDÚN.docx	 1
