

**UNIVERSIDAD ACCIÓN PRO EDUCACIÓN Y CULTURA
(UNAPEC)**



Decanato de Ingeniería e Informática

Escuela de Ingeniería

Tesis de Grado para Optar por el Título de:

Ingeniero Electrónico en Comunicaciones

**Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del
metro de Santo Domingo.**

Sustentantes:

Br. Guillermo Marcony Lorenzo Cruz	2007-0016
Br. Heine Jose Morantin Rosario	2008-0215
Br. Rubén Darío Rodríguez Regalado	2008-0733

Asesor:

Prof. Giordano Sosa

Distrito Nacional, República Dominicana
Abril, 2013

Resumen

Dada las condiciones precarias de la comunicación celular en túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo, es necesario invertir en vías de comunicación en interiores y en un caso más específico en túneles. Debido a que el uso de estos como medio de transporte se esta volviendo una practica que cobra mas adeptos con el pasar del tiempo y con la inauguraciones de nuevas líneas. Esto sumado a que hoy en día vivimos en un mundo dependiente de la comunicaciones móviles se hace necesario desplegar una red de comunicación celular dentro de los túneles. En base a lo anterior se plantea esta tesis que tiene como objetivo principal es diseñar un sistema de comunicaciones que pueda brindar servicio de voz y de datos en las estaciones y en los túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo. Esto es posible a partir de un sistema distribuido de antenas que estarán desplegadas por toda el área soterrada de la primera línea del metro de Santo Domingo. De modo tal de que el usuario sea capaz de realizar una llamada telefónica o conectarse al internet.

Dedicatorias.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

A MIS PADRES: Apolinar Lorenzo Benítez y Selidonia Cruz Mota. Por ser aquellas personas que inculcaron en mí la importancia del estudio y la superación profesional.

A MIS HERMANOS: Jheramer Alexander Lorenzo Cruz y Anderson Alexis Lorenzo Cruz, por ser parte de la motivación que me ha llevado a estar donde hoy me encuentro.

A MIS AMIGOS: Por siempre estar presente en mis actividades y ser un apoyo en el desarrollo de mi carrera. Especial a mis compañeros de tesis Heine Morantin y Ruben Rodriguez porque sin su apoyo la realización de esta no se hubiera logrado.

A todos los demás que de una u otra forma estuvieron presentes en el desarrollo de este proyecto,
Gracias a todos.

Guillermo Marcony Lorenzo Cruz

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

A mi madre y mi abuela,

Por ser mi todo en todo momento.

A mi padre,

Porque de cierta forma siempre has estado presente en mi desarrollo como persona y como profesional.

A mi familia,

Por ser un gran soporte en mi formación, sin su paciencia y cariño nada sería lo mismo.

Heine Jose Morantin Rosario

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Esta tesis se la dedico en primer lugar a Dios y los Arcángeles,

Quiénes supieron guiarme en todo momento por el buen camino, por estar en los momentos más difíciles de mi vida, por haberme dado fortaleza, fuerzas y firmeza para seguir adelante y no desfallecer en los problemas que se presentaban día a día, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la fuerza ni desalentarme en el intento, sin ambos este trabajo de grado no hubiera sido posible culminarlo sin la fuerza espiritual de ellos.

A mis padres Rubén Darío Rodríguez y Alida Milagros de Rodríguez.

Ambos me apoyaron de una forma incondicional, contribuyeron enormemente en mi formación académica, dándome consejos útiles, me enseñaron a ser siempre persistente para poder superar todos los obstáculos e inculcarme los valores necesarios y la actitud de superación para salir siempre adelante en las distintas etapas de mi vida como ser humano y como profesional.

A mi hermana Vanessa Sofía Rodríguez,

Que nunca perdió la esperanza en mi como hermano y profesional, me ha transmitido cualidades tan importantes como la lucha por ideales, la perseverancia para superar los obstáculos que te imponen, para lograr las metas y la superación en todo momento.

Rubén Darío Rodríguez R.

Agradecimientos.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

A Dios: por permitirme desarrollar este proyecto, por brindarme la fuerza y la determinación sin la cual no hubiese podido llegar a la meta.

A mis padres: Que me motivaron a estudiar y esforzarme para lograr mis metas, y me brindan apoyo y consejo incondicional.

A mis amigos de la universidad: A todos ustedes que de una manera u otra influyeron en el desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros de tesis: Heine Moratín y Ruben Rodriguez, quienes a lo largo de este proceso, brindaron su apoyo, colaboración tiempo e ideas que nos llevaron a una conclusión exitosa.

A nuestros profesores: Gracias por ser parte de esta larga experiencia a lo largo de estos años, en especial a **Porfirio Sánchez**, quien siempre estuvo dispuesto a dar su opinión sincera y profesional cuando la necesitábamos. GRACIAS.

A nuestro asesor: Ing. Giordano Sosa, por ser aquella persona la cual nos orientó y brindo innumerables ideas y soluciones en el desarrollo de este proyecto.

Guillermo Marcony Lorenzo Cruz

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como es el desarrollo de una tesis de grado es inevitable que te asalte un muy humano egocentrismo que te lleva a concentrar la mayor parte del mérito en el aporte que has hecho. Sin embargo, el análisis objetivo te muestra inmediatamente que la magnitud de ese aporte hubiese sido imposible sin la participación de personas e instituciones que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

De primer orden debo agradecer a mis compañeros de tesis **Guillermo Lorenzo y Rubén Rodríguez**, el sacrificio ha dado sus frutos y una muestra de ello es esta tesis.

Debo agradecer de manera especial al **Prof. Giordano Sosa**, su apoyo y su capacidad para guiar nuestras ideas ha sido un aporte invaluable, no solo en el desarrollo de nuestra tesis sino también en nuestra formación como ingenieros.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al **Prof. Emin Rivera** por todos sus aportes durante todo el trayecto en mi formación como ingeniero.

Por otro lado no puedo olvidarme de mis compañeros durante la carrera, sin ustedes este camino no hubiese sido lo mismo.

Heine Jose Morantin Rosario

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Le agradezco a todos mis familiares, especialmente a mi abuela **Vidalina Lara de Regalado**, la cual enseño, afrontar momentos difíciles que nos depara la vida a través de su amor y su comprensión en donde me ha apoyado condicional e incondicionalmente para alcanzar mis metas.

A todos mis compañeros de trabajo y amigos ,especialmente a **Juan Elías Guzmán**, durante todo el proceso, estuvo allí, apoyándome, le agradezco de todo corazón, todos los consejos y enseñanzas impartidas en mi vida profesional y la doctora **Nicole Galvan** por su orientación, impartíendome consejos de vida.

Un especial agradecimiento al asesor de tesis **Ing. Giordano Sosa** por su gran apoyo y motivación para la culminación y para la elaboración de esta tesis de grado. A mis compañeros de tesis **Guillermo Marcony** y **Heine Morantin**, por demostrar compañerismo y profesionalismo durante la realización de la misma y por todo el esfuerzo que pusieron para que se pueda hacer realidad nuestro objetivo.

A los profesores que marcaron cada etapa de mi vida universitaria, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

Rubén Darío Rodríguez R.

Tabla de contenidos.

Resumen.....	ii
Dedicatorias.	iii
Agradecimientos.	vii
Tabla de contenidos.	xi
Lista de Tablas	xiv
Lista de Figuras	xv
Lista de Gráficas.	xviii
Introducción	xix
CAPÍTULO I	2
Propagación de Ondas y Modelos de Propagación.....	2
1.1 - Características básicas de las ondas electromagnéticas.....	4
1.2 - Propagación de las ondas electromagnéticas.	5
1.2.1 - Propagación en ausencia de línea de vista.	5
1.2.2 - Propagación en presencia de línea de vista.	6
1.3 - Mecanismos y efectos de propagación.	7
1.3.1 - Reflexión.	8
1.3.2 - Refracción.	8
1.3.3 - Absorción.	9
1.3.4 - Difracción.....	10
1.3.5 - Interferencia.	10
1.4 - Modelos de propagación móvil.....	11
1.4.1 - Modelo de propagación en exteriores.	12
1.4.2 - Modelo de propagación en espacio libre.....	13
1.4.3 - Modelos propagación en interiores.	14
1.4.4 - Descripción de sistemas de radiación en interiores.....	19
1.5 - Sistema de antenas distribuidas.	21
1.5.1 - Distribución pasiva.....	21
1.5.2 - Distribución activa.	26

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

1.5.3 - Distribución híbridas.....	28
1.5.4 - Cable radiante.....	29
1.5.5 - Soluciones en túneles.	32
1.6 - Comunicaciones móviles.	33
1.6.1 - Sistemas de comunicaciones móviles primera generación (1G).....	34
1.6.2 - Sistemas de comunicaciones móviles de segunda generación (2G).	35
1.6.3 - Sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación (3G).....	38
CAPÍTULO II.....	42
Diseño del sistema.	42
2.1 - Descripción estructural del túnel de la primera línea de Santo Domingo.....	43
2.2 - Situación actual de la primera línea del metro de Santo Domingo.....	44
2.2.1 - Familiarización con la herramienta RF Signal Tracker.	44
2.2.2 - Validación de la herramienta.....	46
2.2.3 - Muestreo preliminar.	47
2.3 - Planteamiento de la solución.	51
2.3.1 - Solución en los túneles.....	52
2.3.2 - Solución en las estaciones.....	53
2.3.3 - Diagrama de tuberías.....	55
2.4 - Cálculos de cobertura en los túneles y estaciones de la primera línea del metro de Santo Domingo.....	57
2.4.1 - Calculo de cobertura para las estaciones de la primera línea del metro de Santo Domingo.	63
2.5 - Cálculos de capacidad en los túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo..	65
2.5.1 - Personas a proveer servicio.	65
2.5.2 - Tráfico de Voz.....	67
2.5.3 - Tráfico de Datos.	69
CAPÍTULO III.....	72
Simulación y Validación.....	72
3.1 - Simulación de diseño.	73
3.1.1 - Familiarización y simulación.	73
3.1.2 - Simulación de la propuesta de cobertura.....	84

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Conclusión	99
Recomendaciones	100
Referencias Bibliográficas	101
Anexos	103
Anexo A	104
Anexo B.....	112
Anexo C.....	153
Anexo D	204
Anteproyecto	219

Lista de Tablas

Tabla	Paginas
Tabla 1.1. Variable de pérdida de trayecto.....	16
Tabla 2.1 Niveles promedio de cobertura de la estaciones de la primera Línea del metro de Santo Domingo.....	49
Tabla 2.2 Datos recolectados en el muestro preliminar a la estación Francisco Caamaño.....	49
Tabla 2.3 Niveles promedio de cobertura de los túneles de la primera Línea del metro de Santo Domingo.....	50
Tabla 2.4 Datos recolectados en el túnel que parte en la estación Francisco Caamaño y termina en la estación Amín Abel.....	51
Tabla 2.5 Distancia entre estaciones partiendo de la estación Juan Pablo Duarte.....	55
Tabla 2.6 Datos técnicos del cable radiante.....	59
Tabla 2.7 Distancias de los tramos del túnel del metro.....	61
Tabla 2.8 Datos de cobertura del tramo 2 del túnel del metro.....	62
Tabla 2.9 Niveles de cobertura de las estaciones.....	64
Tabla 3.1 Datos de cobertura tramo, obtenidos en la simulación.....	96

Lista de Figuras.

Figura	Página
Figura 1.1 Propagación de ondas espaciales.....	6
Figura 1.2 Refracción en una frontera plana.....	9
Figura 1.3 Separadores.....	23
Figura 1.4. Tipos de Taps.....	23
Figura 1.5 Atenuador.....	24
Figura.1.6 Carga fantasma de 50Ω	24
Figura 1.7 Circulador de RF.....	25
Figura. 1.8 Acoplador de 3 dB.....	25
Figura. 1.9. Tipos de filtros empleados en un sistema de interiores.....	26
Figura. 1.10 Estructura de un Cable Radiante.....	30
Figura 2.1 Icono de la aplicación RF Signal Tracker.....	45
Figura 2.2 Interfaz de la aplicación.....	45
Figura 2.3 Relación de muestras de Qualipoc y RFSignal Tracker.....	47
Figura 2.4 Tramo soterrado de la primera línea del metro de Santo Domingo.....	48
Figura 2.5 Sección de Tuberías en estación y tramo de túnel.....	54
Figura 2.6 Diseño completo de tuberías en estación y tramo de túnel.....	55
Figura 3.1 Menú de edición herramienta TuMan.....	75
Figura 3.2 Pistas disponibles herramienta TuMan.....	75

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Figura 3.3 Elementos de las pistas herramienta TuMan.....	76
Figura 3.4 Menú de edición herramienta TuMan.....	76
Figura 3.5 Secciones transversales herramienta TuMan.....	77
Figura 3.6 Sección de la estación, herramienta TuMan.....	77
Figura 3.7 Sección transversales del túnel, herramienta TuMan.....	78
Figura 3.8 Secciones transversal del túnel y la estación, Herramienta TuMan.....	79
Figura. 3.9 Configuración del tramo, herramienta TuMan.....	79
Figura. 3.10 Propiedades del tramo, herramienta TuMan.....	80
Figura. 3.11 Barra de menú, herramienta TuMan.....	80
Figura 3.12 Configuración de materiales, herramienta TuMan.....	81
Figura 3.13 Opción de pre-procesado, herramienta TuMan.....	82
Figura 3.14 Vista interna del Tramo 2 de la primera línea del metro.....	82
Figura 3.15 Vista completa Tramo 2 de la primera línea del metro.....	83
Figura 3.16 Vista panorámica del Tramo 2 de la primera línea del metro.....	83
Figura 3.17 Vista interna del inicio de la sección de túnel.....	84
Figura 3.18 Menú de archivos.....	85
Figura 3.19 Menú de nuevo proyecto.....	86
Figura 3.20 Definición de altura.....	86
Figura 3.21 Definición del sistema de coordenadas.....	87
Figura 3.22 Escenario de trabajo.....	87
Figura 3.23 Selección de nueva posición.....	88
Figura 3.24 Selección del cable radiante.....	88
Figura 3.25 Ubicación del cable radiante y la zona de predicción.....	89

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Figura 3.26 Menú de proyectos, herramienta ProMan.....	89
Figura 3.27 Configuración de parámetros.....	90
Figura 3.28 Configuración de Sites 1.....	90
Figura 3.29 Parámetros de operación de Site 1.....	91
Figura 3.30 Menú de cálculo, herramienta ProMan.....	92
Figura 3.31 Menú de opciones de diseño, herramienta ProMan.....	92
Figura 3.32 Simulación del Tramo 2 del túnel del metro.....	93
Figura 3.33 Configuración parámetros de grafica de datos de cobertura.....	94
Figura 3.34 Grafica de datos de cobertura tramo 2.....	95

Lista de Gráficas.

Grafica	Página
Gráfica 3.1 Comparación de los resultados de cobertura del tramo 2 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados.....	96

Introducción

En los últimos años, las ciudades y las telecomunicaciones han evolucionado de forma exponencial. Uno de los indicadores de cómo van cambiando las ciudades son las vías de transporte. Como muestra de esto, hace 5 años se inauguró la primera línea del metro de Santo Domingo, lo cual ha venido a ser una solución en el tema de transporte. Por otro lado está la comunicación celular, que ya no solo se limita a realizar llamadas telefónicas sino que también ejerce la función de ser punto de acceso al internet. En base a esto, ¿Dónde está el punto de convergencia? Está en que en la actualidad dentro de los túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo no es posible realizar una llamada telefónica o enviar un correo. Por lo cual surge la necesidad de plantear una solución que permita tener cobertura celular en los túneles de la primera línea del Metro de Santo Domingo.

A lo largo de la presente tesis, se expondrá en el capítulo 1 los efectos y mecanismo de la propagación de señales que intervienen en las comunicaciones móviles, además de ver cómo se puede llevar señales de radiofrecuencia espacios cerrados, tales como los túneles. Seguido de esto, se expondrá en el capítulo 2 la metodología que se empleó para hacer el levantamiento del área de trabajo, además de plantear la propuesta de diseño y finalmente los cálculos correspondientes a la cobertura y capacidad del mismo. Por ultimo en el capítulo 3 se validará el diseño mediante software, esto para poder comprobar la funcionabilidad de lo planteado en el capítulo 2.

Esta página fue dejada en blanco intencionalmente.

CAPÍTULO I

Propagación de Ondas y Modelos de Propagación

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Las comunicaciones móviles representan un gran avance en materia de telecomunicaciones, hoy en día es común ver las diferentes interacciones de los usuarios con sus dispositivos móviles, a su vez dicho desarrollo ha demandado por parte de los usuarios mayor cobertura capacidad de las redes móviles en los diferentes entornos en los que se desenvuelven.

Si bien un aumento de cobertura y capacidad significa enfrentarse a diferentes entornos geográficos y topográficos dentro de determinadas localidades e inclusive edificios y subterráneos.

Las comunicaciones móviles dicho sea de paso se ven afectadas por variaciones en los entornos de propagación, los cuales pueden ir desde atenuaciones por choque con obstáculos entre el transmisor y receptor o bien sea por la penetración de edificios y túneles, sin mencionar las refracciones y reflexiones por irregularidades de terreno, dichas situaciones representan limitaciones significativas en el desempeño de un sistema de comunicación móvil.

Debido a la naturaleza de las comunicaciones móviles y de sus múltiples escenarios de propagación ya sean en espacios externos o espacios internos como edificios y túneles, es de suma importancia conocer las posibles implicaciones que podrían tener la propagación de las comunicaciones móviles en dichos escenarios. Condiciones de propagación, penetración de materiales, pérdidas por reflexión y refracción son solo algunos de los posibles factores que afectarían la calidad de las comunicaciones móviles, los cuales serán tratados en el siguiente capítulo al igual que consideraciones a tener en cuenta a la hora de diseñar una red móvil en espacios interiores como es el caso de túneles.

1.1 - Características básicas de las ondas electromagnéticas.

Para que las comunicaciones móviles sean posibles se requiere el envío de información vía inalámbrica desde el transmisor hasta el receptor, esto es realizado mediante las ondas electromagnéticas. Para lograr una comunicación inalámbrica efectiva las ondas electromagnéticas son usadas como medio de transporte de información entre el transmisor y el receptor. Las ondas electromagnéticas se producen cuando un campo eléctrico y un campo magnético interactúan de forma cíclica a medida que se propagan en el espacio. Estos campos son perpendiculares entre sí y perpendiculares a su vez a la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas. (Cardama, 2002).

De acuerdo al medio en que las ondas electromagnéticas se propaguen, su velocidad de propagación tiende a variar. La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre es $c = 3 \times 10^8$ m/s. (Tomasi, 2003).

Una de las características más importante de las ondas electromagnéticas es la longitud de la onda, ya que de esta dependerá la incidencia y comportamiento de otros fenómenos que se presentan durante su propagación. La longitud de onda (λ) que es la distancia que existe entre cada pico de oscilación o ciclo se determina mediante la expresión matemática 1.1:

$$\lambda = c / f \quad (1.1)$$

Dónde:

c- Velocidad de la Luz 3×10^8 m/s

f- Frecuencia expresada en Hertz (Hz)

λ - Longitud de Onda

1.2 - Propagación de las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas que se propagan dentro de la atmosfera terrestre reciben el nombre de ondas terrestres, cuya propagación es influenciada por las condiciones del ambiente y el terreno. Analizar y evaluar los fenómenos y factores que inciden en la propagación de las ondas terrestres, es parte esencial del correcto diseño y funcionamiento de toda red de comunicaciones móviles. De igual modo para la correcta planificación de cualquiera de estos sistemas resulta esencial conocer los factores que pueden alterar la propagación electromagnética, su magnitud y su influencia en las distintas bandas de frecuencias. (Cardama, 2002).

1.2.1 - Propagación en ausencia de línea de vista.

Durante la propagación de una onda electromagnética, se puede producir un fenómeno de difracción causado por la incidencia de la onda electromagnética sobre un obstáculo, dicho fenómeno se debe a que el obstáculo re-irradia parte de la energía interceptada, lo cual posibilita la recepción aun no exista visibilidad. Este mecanismo de propagación de la onda electromagnética permite alcanzar un punto de recepción cuando no exista una línea de vista hacia el transmisor es denominado propagación en ausencia de línea de vista (NLOS, por sus siglas en ingles Non Line Of Sight). En tal condición los modos de propagación dominantes son: la reflexión, la difracción, la refracción y la dispersión. Estos mecanismos varían considerablemente con la frecuencia de operación utilizada. Para las comunicaciones móviles este modo de propagación es más frecuente debido a que estas se desarrollan en entornos

complejos. Existen otros mecanismos que permiten alcanzar distancias superiores al horizonte de línea de vista, cuando esta se propaga sobre el suelo terrestre y a través de las reflexiones en dichas capas. (Seybold, 2005).

1.2.2 - Propagación en presencia de línea de vista.

La propagación de la onda electromagnética en línea recta, entre las antenas de transmisión y recepción, sin la intervención de obstáculos se denomina transmisión de línea de vista (LOS de sus siglas en inglés, Line of Sight). En dicha propagación directa de las ondas electromagnéticas están limitadas por la curvatura de la tierra. En la figura 1.0, se aprecia que la intensidad de campo en la antena receptora depende de la distancia entre las dos antenas (atenuación y absorción) y si las ondas directas y reflejadas en el suelo están en fase (interferencia). (Tomasi, 2003).

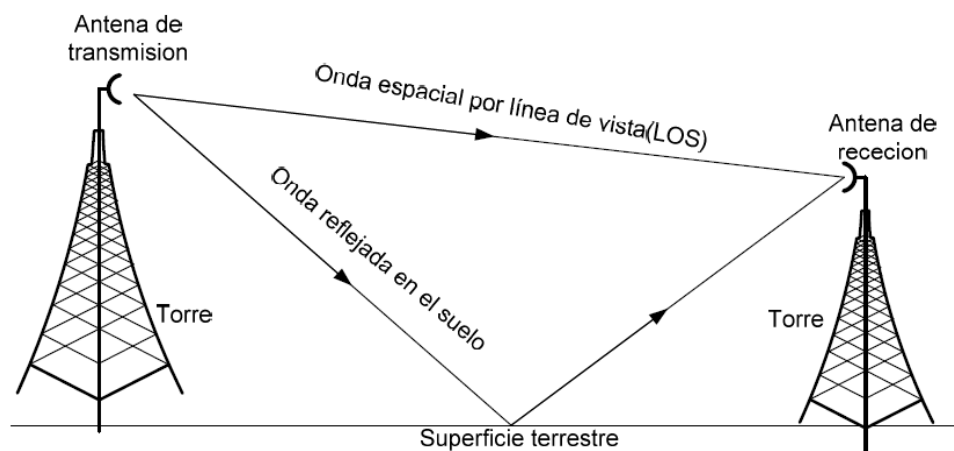


Figura 1.1 Propagación de ondas espaciales. (Fuente: Tomasi, 2003)

La curvatura de la tierra presenta un horizonte en la propagación de este tipo de ondas que suele llamar horizonte de radio. A causa de la refracción atmosférica, el horizonte de radio está más allá del horizonte óptico. La refracción se debe a la troposfera, a sus cambios en su densidad, temperatura, contenido de vapor de agua y conductividad relativa. El horizonte de radio se puede alargar elevando las antenas de transmisión o recepción o ambas respecto a la superficie terrestre. (Tomasi, 2003).

1.3 - Mecanismos y efectos de propagación.

Los mecanismos de propagación son los procesos físicos que intervienen en la expansión de las ondas electromagnéticas, como son: la atenuación, la reflexión, la difracción, la refracción y la dispersión.

Al establecerse cualquier tipo de radiocomunicación en la atmosfera terrestre surgen fenómenos que modifican las condiciones ideales de propagación en el vacío, producidos por perturbaciones al entrar en contacto con un medio dieléctrico como la tierra (Cardama, 2002). Cada uno de estos fenómenos adquieren importancias diversas de acuerdo a las características e implementación de la red inalámbrica que se vea afectada, debido a irregularidades en el terreno en la cual se propague y la ubicación de las antenas, los cuales afectan onda independientemente de su modo de propagación.

1.3.1 - Reflexión.

El fenómeno de la reflexión se produce al incidir una onda electromagnética sobre una frontera entre dos medios distintos (tierra, agua, metales, paredes, capas ionosferas, etc.). La intensidad de la onda reflejada estará relacionada con el coeficiente de reflexión (Γ) del medio, que dependerá de la frecuencia, la composición dieléctrica del terreno, el tipo de suelo, la humedad, la polarización y ángulo de incidencia de la onda, entre otros factores que afectaran la conductividad del medio. (Cardama, 2002).

1.3.2 - Refracción.

Es el cambio de dirección de un rayo al pasar en una dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por consiguiente, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro de distinta densidad. De igual modo se produce una refracción cuando un frente de onda se propaga en un medio que tiene un gradiente de densidad, perpendicular a la dirección de propagación, es decir paralelo al frente de onda. La figura 1.1 muestra la refracción de un frente de onda en una frontera entre dos medios con distintas densidades. (Tomasi, 2003).

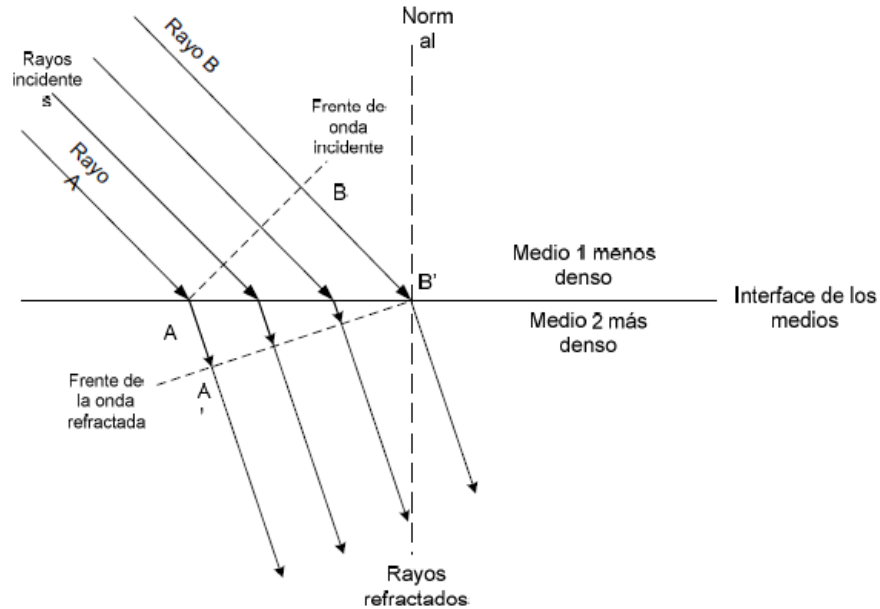


Figura 1.2 Refracción en una frontera plana. (Fuente: Tomasi, 2003)

1.3.3 - Absorción.

Cuando una onda electromagnética se propaga a través de la atmosfera terrestre, se transfiere energía de la onda a los átomos y moléculas atmosféricas. Una vez absorbida, la energía se pierde para siempre, y causa una atenuación en las intensidades de voltaje y campo magnético y una reducción correspondiente de densidad de potencia. (Tomasi, 2003).

La absorción es un fenómeno de mucha importancia en las comunicaciones móviles dedicadas a interiores, debido a los obstáculos que se encuentran presentes en el interior e interrumpen la línea de vista entre el transmisor y el receptor. La atenuación sufrida por onda electromagnética

mientras se propaga a través de estos obstáculos, se denomina pérdida de penetración y su determinación es importante para los modelar entornos interiores. (Sizun, 2004).

1.3.4 - Difracción.

Se define como la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de a la orilla de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a las esquinas (Tomasi, 2003). En estos puntos, las ondas refractadas se pueden considerar como una fuente de puntual secundaria de ondas, desde la cual se irradian y alejan otras ondas secundarias, permitiendo la propagación detrás de zonas de sombra o de difracción, donde no existe línea de vista entre transmisor y receptor. Este fenómeno es también conocido como principio de Huygens. (Rappaport, 2002).

1.3.5 - Interferencia.

La interferencia de ondas electromagnéticas se produce siempre que se combinan dos o más ondas electromagnéticas de tal manera que se degrada el funcionamiento del sistema. Por otro lado, la superposición está sujeta al principio de la superposición lineal de las ondas electromagnéticas y se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo espacio de forma simultánea (Tomasi, 2003). En la comunicación móvil se aprecian dos tipos básicos de interferencia: co-canal, producida por señales aledañas a la misma frecuencia y de canal adyacente, producida por frecuencias cercanas a la de recepción. (Rappaport, 2002)

$$P=\epsilon H \quad W/m^2 \quad (1.2)$$

Dónde:

P- Densidad de potencia (Watts por metro cuadrado).

E- Intensidad rms del campo eléctrico (volts por metro).

H- Intensidad rms del campo magnético (Amperes por metro).

1.4 - Modelos de propagación móvil.

Luego de haber visto las características y como se propagan las ondas electromagnéticas, es tiempo de comprender como se propagan las señales de radiofrecuencia. Para esto tenemos que utilizar un compendio de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos a los que llamamos modelos. Estos se suelen clasificar en: empíricos, estadísticos, teóricos o en una combinación de estos a los que se le llama semi-empíricos. (Camargo, 2009).

Estas clasificaciones se basan en los métodos que utilizan dichos modelos para realizar su análisis, por ejemplo: los empíricos se basan en mediciones, mientras que los teóricos lo hacen basándose en los fenómenos de ondas de radio y a diferencia de los anteriores no se sustenta sobre amplias mediciones sino que disponemos de detalle del entorno con lo que podemos estimar como se propaga la señal de radio frecuencia. (Camargo, 2009).

A la hora de diseñar cualquier red de radio frecuencia la utilización de modelos es vital, porque con estos podremos determinar cuáles serán las pérdidas en la trayectoria de la señal de radio frecuencia entre la estación base y el receptor, que en este caso serían los móviles. Además

podremos determinar cuántos y cuáles equipos son los que vamos a necesitar para nuestro diseño. (Camargo, 2009).

1.4.1 - Modelo de propagación en exteriores.

En el caso de los escenarios en exteriores tenemos una mayor cantidad de modelos. Esto se debe a que en los inicios de las telecomunicaciones, los diseños se hacían para brindar cobertura en amplias áreas. (Camargo, 2009).

Dentro de la variedad de modelos de propagación en exteriores se puede hacer una clasificación atendiendo al tamaño del área de cobertura donde esta manera, los modelos de propagación que abarcan áreas de varias decenas de kilómetros con emisiones de potencia de varias decenas de vatios y desde antenas elevadas denominadas macroceldas. Mientras que los modelos que cubren áreas del orden de 200 a 1000 metros, con emisiones de potencia del orden de 10 mW a 1W y antenas de entre 3 a 10 metros son denominadas microceldas. (Camargo, 2009).

Atendiendo a la denominación de los modelos de propagación en exteriores, existen diversas variaciones dedicadas a cada una de estas, como es el caso del modelo de Bullington, el modelo de Okumura, el modelo ITU (CCIR), el modelo Hata, el modelo Ericsson 9999, el modelo Lee, el modelo COST 231-Walfisch-Ikegami y muchos más, utilizados en la denominaciones de macroceldas, mientras que los modelos utilizados dentro de la denominaciones de microcelda se encuentran el modelo de dos rayos, modelos basados en (UTD, por sus siglas en inglés, Uniform Theory of Diffraction) y teoría de imágenes múltiples, el modelo Lee para microceldas, etc. (Camargo, 2009).

1.4.2 - Modelo de propagación en espacio libre.

El modelo de propagación en espacio libre se utiliza para predecir la potencia de la señal cuando entre el transmisor y el receptor existe una clara línea de vista. Como la mayoría de los modelos de propagación a gran escala, el modelo del espacio libre predice que la potencia recibida decae como función de la distancia de separación entre el transmisor y receptor elevada a alguna potencia. La potencia recibida en el espacio libre por una antena receptora, la cual está separada de la antena transmisora una distancia d , está dada por la ecuación de Friis: (Camargo, 2009).

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1.3)$$

Dónde:

$P_r(d)$ - Potencia recibida; la cual es función de la separación T-R (transmisor- receptor).

P_t - Potencia transmitida.

G_t - Ganancia de antena transmisora.

G_r - Ganancia de la antena receptora.

λ - Longitud de onda en metros.

d - La distancia de separación de T-R en metros.

L - Pérdidas del sistema no achacables a la propagación.

La ganancia de la antena está dada por la fórmula 1.4:

$$P_r(d) = \frac{(4\pi)^2 A_e}{\lambda^2} \quad (1.4)$$

La apertura efectiva A_e se relaciona con el tamaño físico de la antena y con la frecuencia de la portadora mediante la expresión matemática 1.5:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.5)$$

1.4.3 - Modelos propagación en interiores.

Los niveles de señal presentes en entornos cerrados, presentan una mayor fluctuación que en los entornos abiertos. Esta diferencia se debe al hecho, de que en una localización determinada, en el campo eléctrico es formado por un mayor número de componentes indirectos a diferencia de los entornos abiertos. Los modelos de propagación en interiores se diferencian de los modelos de propagación tradicionales en dos aspectos: (Camargo, 2009).

- ✓ Las distancias cubiertas son mucho más pequeñas.

- ✓ El componente variable del entorno es mucho mayor para separaciones más pequeñas entre transmisor y receptor.

1.4.3.1 - Modelo de pérdidas por trayectoria de sombras.

La mayor parte de los modelos de propagación empíricos están basados en este modelo, mediante el cual las pérdidas de propagación en entornos cerrados se pueden expresar en función de la distancia entre el transmisor y el receptor, expresado matemáticamente mediante la fórmula 1.6: (Camargo, 2009).

$$PL=PL(d_0)+10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X\sigma \quad (1.6)$$

Dónde:

n- Variable de pérdida de trayecto.

PL(d₀)- Pérdida a distancia cercana de referencia.

Xσ- Desviación típica.

Donde “n” es una variable de pérdida de trayecto que depende del tipo de entorno. La Tabla 1.1 muestra los valores típicos de n para diferentes entornos. Xσ, es una variable aleatoria expresada en dB que indica una desviación típica de σ dB. PL(d₀), se calcula utilizando el modelo de propagación en espacios abiertos (Ecuación 1.6) o realizando medidas de campo.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Tabla 1.1. Variable de pérdida de trayecto. (Fuente: Camargo, 2009)

Entorno	N
Edificios (Condiciones de Visión Directa)	1.6 a 2
Edificios (Sin vision directa)	2 a 4
Edificio (sin visión directa, separación de uno a tres pisos)	4 a 6

1.4.3.2 - Modelo de pérdida de trayecto basado en COST 231.

El modelo se basa en el modelo COST 231 definido como:

$$L=L_{FS}+L_C+\sum K_{Wi}L_{Wi}+n\left(\frac{n+2}{n+1}\right)*L_i \quad (1.7)$$

Dónde:

L_{FS} - Pérdida en espacio libre entre transmisor y receptor.

L_C - Constante de pérdida (normalmente en 37 dB).

K_{Wi} - Número de paredes de tipo i penetradas.

n- Número de suelos penetrados.

L_{Wi} - Pérdida debida a muro de tipo i.

L_f - Pérdida entre suelos adyacentes.

b- Parámetro empírico.

El modelo COST 231 es un modelo empírico que tiene en cuenta las pérdidas de propagación en espacio abierto así como las pérdidas introducidas por las paredes, suelos y techos penetrados en el trayecto directo entre transmisor y receptor. (Camargo, 2009).

1.4.3.3 - Modelo ITU-R.

Este modelo de propagación es similar a los dos anteriores, pero sólo tiene en cuenta explícitamente el número de suelos. Las pérdidas en el mismo piso por atravesar muros, se incluyen implícitamente cambiando el exponente en la pérdida de trayecto. (Camargo, 2009).

$$LT = L_1 + 20\log_{10}(f_c[\text{MHz}]) + 10\log_{10}(r[\text{m}]) + L_{fnf} \quad (1.8)$$

1.4.3.4 - Modelo multi-pared.

Este modelo de propagación se caracteriza por un exponente de $n=2$, como pérdida de propagación en espacio libre; junto con factores de pérdida relacionados con el número de plantas (nf) y muros (nw) que interceptan la línea en visión directa a la distancia (d) entre los terminales. La fórmula utilizada es la siguiente: (Camargo, 2009).

$$PL_{MW} = PL_1 + 20 \log(d) + n_f a_f + n_w a_w \quad (1.9)$$

PL₁- Pérdida de Propagación a 1 metro de distancia.

a_f- Factor de atenuación de suelos.

a_w- Factor de atenuación de muros.

n_f- Número de suelos atravesados.

n_w- Número de muros atravesados.

1.4.3.5 - Modelos basados en técnicas de trazado de rayos.

El algoritmo de trazado de rayos, calcula todos los posibles caminos desde el transmisor al receptor. En los modelos básicos de trazado de rayos, la predicción se basa en cálculos de transmisión en espacio abierto complementados con el efecto de reflexión de las paredes, teniendo en cuenta una única reflexión. Los algoritmos de trazado de rayos más complejos incluyen mecanismos de difracción, dispersión difusa y penetración a través de diversos materiales. Por consiguiente, el nivel de señal en un punto determinado se obtiene mediante la suma de los componentes de todos los caminos posibles existentes entre transmisor y receptor. Además de las pérdidas de propagación, en estos modelos se pueden predecir de manera fiable la dispersión en el tiempo de la señal. (Camargo, 2009).

Actualmente los modelos de trazado de rayos están considerados entre los más precisos de los modelos de predicción de potencia de campo; sin embargo, requieren una representación muy detallada del área a analizar. La precisión del modelo depende en gran medida de la precisión y detalle de la base de datos asociada a la representación. (Camargo, 2009).

1.4.4 - Descripción de sistemas de radiación en interiores.

En los últimos años hemos visto como a la par del crecimiento de las ciudades ha ido evolucionando la tecnología móvil. En función de esto las mayorías de las llamadas telefónicas se producen en interiores que en exteriores (Tolstrup, 2008). Además de que con la masificación de los celulares inteligentes se hace necesario tener un buen diseño para brindar tanto cobertura como capacidad en una red inalámbrica. En nuestro caso detallaremos cuales son las consideraciones que tenemos que tomar en cuenta para poder efectuar un buen diseño en túneles.

1.4.4.1 - Sistemas dedicados a túneles.

En el caso de los túneles es más difícil ofrecer cobertura fiable dentro de estos, básicamente por ser construcciones cerradas y subterráneas. Esto es debido a que para proveer cobertura en estos se debe tomar en cuenta las siguientes características para su propagación: construcción, estructura y tamaño. Otro de los factores que influye es la frecuencia de transmisión. (PSWN PROGRAM, 2002).

1.4.4.1.1 - Material de construcción del túnel.

Entre uno de los factores en que recae el comportamiento de las señales de radio frecuencia, es en los materiales de construcción del mismo. En el caso de los túneles que son construidos en metal, las señales de radio frecuencia se propagaran mejor debido a que el metal actuara como un reflector para estas señales. Al contrario esto no sucede así en los túneles que son construidos en hormigón armado. (PSWN PROGRAM, 2002).

1.4.4.1.2 - Túneles rectos.

En cuanto a los tunes rectos las señales de radio frecuencia de 800 MHz puede recorrer una distancia mayor que la señales de muy altas frecuencias (VHF, por sus siglas en inglés, Very High Frequency) o ultra alta frecuencia (UHF, por sus siglas en inglés, Ultra High Frequency). (PSWN PROGRAM, 2002).

1.4.4.1.3 - Túneles curvos.

La propagación de las señales de radio frecuencia en túneles curvos experimentan un descenso drástico en su rendimiento en comparación con los túneles rectos debido a que en un punto se pierde la línea de vista y esto conlleva a que se registren pérdidas de ganancia. (PSWN PROGRAM, 2002).

1.5 - Sistema de antenas distribuidas.

Luego de haber visto las bases de la red celular en el sistema global para comunicaciones móviles (GSM, por sus siglas en inglés, Global System for Mobile Communication), y sus características en las distintas generaciones, es tiempo de hablar, de cómo podemos llevar estas señales de radio frecuencia a un espacio en interiores. Para este fin se utiliza el sistema de antenas distribuidas. Un sistema de antenas distribuidas (DAS, por sus siglas en inglés, Distributed Antenna Systems), es una manera de disponer de manera eficiente las conexiones inalámbricas dentro de un edificio donde el acero y concreto y otros materiales pueden interferir con las señales inalámbricas. El sistema de antenas distribuidas, se puede utilizar para eliminar las "zonas muertas" interconectando las señales de radio frecuencia, a través de cableado de una sola estación base para múltiples antenas ubicados en toda la edificación.

En la actualidad hay diferentes maneras de cómo se puede diseñar un sistema en interiores con cobertura distribuida uniformemente tales como: pasiva, activa e híbridas. Cada uno de estos enfoques tiene sus pros y los contras, todo dependiendo la magnitud del proyecto.

1.5.1 - Distribución pasiva.

Estos sistemas se les designa pasivos porque la antena no utiliza componentes electrónicos (no hay amplificación). Entre la antena y la estación base transmisora (BTS, por sus siglas en inglés, Base Transceiver Station), solamente existe una conexión de cable coaxial. Debido a que no hay un elemento amplificador entre estos elementos, esto trae como consecuencia que las

antenas situadas más lejos de la BTS se encuentre con una mayor pérdida de la señal, mostrando así una potencia de salida mucho más baja. (Gislene, 2013).

Las ventajas que posee el sistema de distribución pasiva, es que los dispositivos son de bajo costo y compatibles entre los fabricantes, su arquitectura es simple, proveen un gran ancho de banda y se puede instalar en condiciones severas. En las desventajas tenemos, dificultad en la instalación (cableado), pocas mejoras en un futuro, está diseñado para construcciones pequeñas y requiere estaciones de base potencia relativamente alta y una habitación para alojar los equipos. (Tolstrup, 2008).

1.5.1.1 - Componentes de una distribución pasiva.

Los componentes de una distribución pasiva son los siguientes: cable coaxial, separadores, taps, atenuadores, carga fantasma, circuladores, pareja 3dB y filtro. A continuación se explicara de una forma más detallada de cada componente antes mencionado.

- ✓ **Cable Coaxial:** El cable coaxial se utiliza ampliamente en todos los tipos de sistemas de antenas distribuidas, especialmente en sistemas pasivos. (Tolstrup, 2008).

- ✓ **Separadores:** Los separadores se utilizan para dividir una línea coaxial en dos o más líneas. Cuando se divide la señal, la potencia se divide entre los puertos. La pérdida de inserción, típicamente es de aproximadamente 0.1dB. A continuación se presenta la fórmula de pérdida de un separador. (Tolstrup, 2008).

$$\text{Pérdida de un separador} = 10 \log (\text{número de puertos}) + 0.1 \text{ dB} \quad (1.10)$$

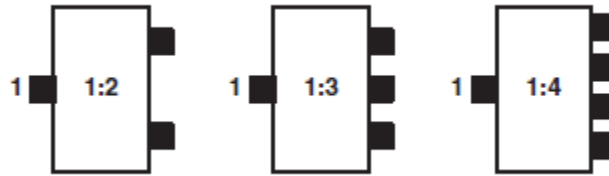


Figura 1.3 Separadores. Fuente (Tolstrup, 2008)

- ✓ **Taps:** Los taps se utilizan como separadores, los mismo se aplican para dividir la señal- potencia de una línea de entrada y dos líneas de salida, ambas salida no necesariamente tiene que tener la misma relación señal-potencia. Estos dispositivos pueden dividir en fijo y variable como se observa en la figura 1.4. (Tolstrup, 2008)

Este dispositivo se utiliza para monitorear una señal de un transmisor para este caso una estación base transmisora (BTS, por sus siglas en inglés, Base Transceiver Station), la misma está enviando una señal al transmisor sin necesidad de interrumpir otra función que puede ser utilizada como puntos de pruebas en mediciones indirectas de grandes potencias, a través de un puerto acoplado. (Redislogar, 2013)



Figura 1.4. Tipos de Taps. (Fuente: Tolstrup, 2008)

- ✓ **Atenuadores:** El atenuador es un dispositivo cuya función es reducir la potencia de una señal apreciable sin distorsionar la señal. Los valores estándar de un atenuador pueden ser de 1, 2, 3, 6 10, 12, 18, 20, 30 y 40dB. Los mismos se pueden combinar para obtener la atenuación deseada. (Tolstrup, 2008)

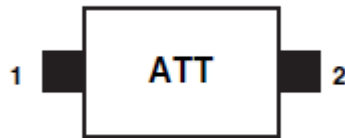


Figura 1.5 Atenuador. (Fuente: Tolstrup, 2008)

- ✓ **Carga Fantasma:** Se utilizan para simular cargas correspondientes en las líneas de transmisión. Este dispositivo se emplea para absorber la energía transmitida a ese terminal para establecer una impedancia de referencia. El estándar de la misma puede ser de 50Ω a 75Ω . (Tolstrup, 2008)

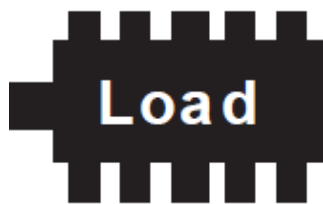


Figura.1.6 Carga fantasma de 50Ω . (Fuente: Tolstrup, 2008)

- ✓ **Circuladores:** Un circulador es un componente con tres puertos o terminales, en los cuales los puertos se pueden alcanzar de una manera tal que, cuando una señal se

alimenta en cualquier puerto se transfiera al puerto siguiente, solamente el primer puerto que es contado como el siguiente del último en orden numérica. Cuando un circulador de tres puertos tiene su carga balanceada, este puede ser utilizado como un mecanismo aislante, ya que una señal puede recorrer solamente en una dirección entre los puertos restantes. (Tolstrup, 2008).

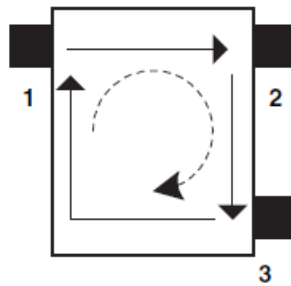


Figura 1.7. Circulador de RF. (Fuente: Tolstrup, 2008)

- ✓ **Acoplador de 3 dB:** El acoplador de 3 dB tiene cuatro puertos, dos de los cuales está desconectado el uno del otro. Se utilizan para la combinación de dos señales, al mismo tiempo. El acoplador divide las dos señales combinadas entre los dos puertos de salida. (Tolstrup, 2008)

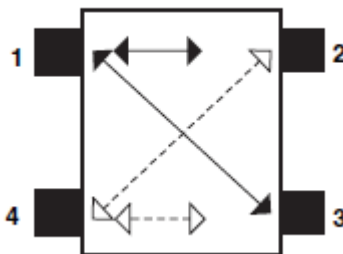


Figura. 1.8 Acoplador de 3 dB. (Fuente: Tolstrup, 2008)

- ✓ **Filtros:** Un filtro es un dispositivo con una respuesta selectiva en frecuencia, de modo que discrimina las señales en función de una frecuencia. En los diseños de sistemas interiores se utilizan diplexores o triplexores y duplexores.

El diplexor y el triplexor se utilizan para separar las señales de diferentes bandas, por puerto independiente, mientras que los duplexores pueden realizar la separación o la combinación de las señales transmisión y recepción. (Tolstrup, 2008).

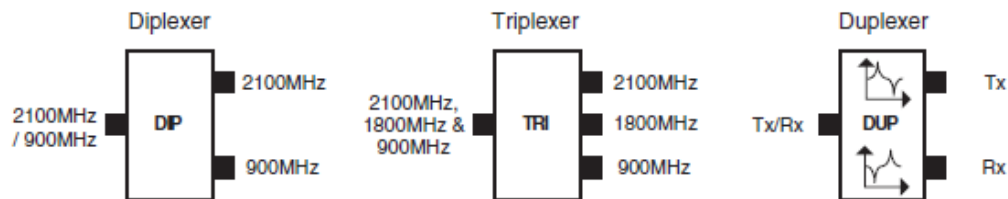


Figura. 1.9. Tipos de filtros empleados en un sistema de interiores. (Fuente: Tolstrup, 2008)

1.5.2 - Distribución activa.

En el caso de los sistemas activos, estos tienen la misma finalidad que los pasivos pero con diferencias significativas. Entre estas están que es más sencillo de instalar en base a que este tipo de sistema recae en la utilización de cables de fibras ópticas, cables finos y par trenzado. Por otro lado este sistema busca la utilización de menor potencia en el sistema. Esto se logra conectado el último amplificador del enlace de bajada y el primero del enlace de subida cerca de las antenas, con lo cual se logra tener la unidad remota más cerca evitando pérdidas innecesarias por longitud

de un cable coaxial. Esto provoca que se utilice una menor potencia en el enlace de bajada lo que ayuda a compensar las pérdidas que se producen por los cables pasivos. Mientras que las desventajas de este sistema es que las unidades remotas necesitan alimentación, el mantenimiento y los equipos son costosos. (Tolstrup, 2008).

1.5.2.1 - Componentes de una distribución activa.

Los componentes de una distribución activa son los siguientes: unidad principal, unidad de expansión, unidad remota y unidad remota óptica. A continuación se explicara de una forma más detallada de cada componente antes mencionado.

- ✓ **Unidad Principal:** La unidad principal conecta la estación base de baja potencia, la cual distribuye las señales al resto del sistema por medio de unidades de expansión. La unidad central se conecta a las unidades de expansión mediante la utilización de fibras ópticas. Además la unidad central monitorea el comportamiento del sistema, esto lo hace estableciendo una vía de comunicación entre todos los elementos de los sistemas. En caso de que un equipo falle este le enviara una alarma a la unidad central con el fin de saber en qué punto exacto esta la falla. (Tolstrup, 2008).

- ✓ **Unidad de Expansión:** La unidad de expansión están repartida en toda la edificación. La misma está conectada a la unidad principal usando fibra óptica, la unidad de

expansión convierte la señal óptica proveniente de la unidad principal, en una señal eléctrica y la distribuye a la unidad remota. (Tolstrup, 2008).

- ✓ **Unidad Remota:** La unidad remota siempre está instalada cerca de la antena, para mantener las pérdidas al mínimo y mejorar el rendimiento del enlace de radio. La unidad remota convierte y recibe la señal de radio. (Tolstrup, 2008).
- ✓ **Unidad remota óptica:** La unidad remota óptica está instalado en todo el edificio, su función es convertir la señal óptica proveniente de la unidad principal de nuevo a la radio frecuencia y viceversa. La unidad remota óptica normalmente se necesita para operen un medio de alta potencia de salida de radio frecuencia. (Tolstrup, 2008).

1.5.3 - Distribución híbridas.

Un diseño híbrido es una combinación de diseño pasivo (coaxial) con enlaces ópticos (fibra). Aunque el sistema híbrido tiene una menor pérdida de señal que los sistemas puramente pasivos, la pérdida todavía incurre desde las antenas que están conectadas a través del cable coaxial. (Gislene, 2013).

1.5.3.1 - Componentes de una distribución híbrida.

Los componentes de una distribución híbrida son los siguientes: la unidad principal, la unidad remota híbrida y el amplificador bidireccional. A continuación se explicara de una forma más detallada de cada uno de los componentes antes mencionados:

- ✓ **Unidad Principal:** La unidad principal se conecta a la estación base o repetidor, y distribuye las señales a las unidades híbridas remotas del sistema por medio de fibra óptica. (Tolstrup, 2008).

- ✓ **Unidad remota híbrida:** Estas están instaladas en toda la edificación, las mismas convierten la señal óptica de la unidad principal a radio frecuencia y viceversa. (Tolstrup, 2008).

- ✓ **Amplificador bidireccional:** Es posible añadir un amplificador bidireccional aun sistema híbrido con el fin aumentar el rendimiento tanto del enlace ascendente como descendente. Este dispositivo debe instalarse lo más cerca de la antena para evitar posibles pérdidas. (Tolstrup, 2008).

1.5.4 - Cable radiante.

Dado los distintos escenarios cobertura en interiores, ya sean edificios o túneles, el cable radiante tradicionalmente es utilizado en soluciones de cobertura de interiores en túneles. Un cable radiante se basa típicamente en un cable coaxial tradicional conformado por un conductor interno (1), un dieléctrico (2), una capa protectora externa (3), ranuras sintonizadas en el blindaje exterior (4) y finalmente la camisa (5), este se puede apreciar en la figura 1.10 . (Tolstrup, 2008).

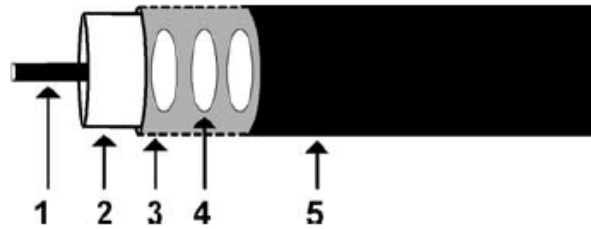


Figura. 1.10 Estructura de un Cable Radiante. (Fuente: Tolstrup, 2008).

Parámetros como el tamaño, forma, orientación y ubicación de las ranuras pueden ser ajustados para sintonizar la cobertura del cable, el cual se puede ajustar con respecto a la pérdida de enganche, a determinadas distancias, anchos de banda de frecuencia, la inserción (longitudinal) y las pérdidas. (Tolstrup, 2008).

El cable radiante actúa como una antena o pequeñas antenas en toda su longitud. Las ranuras pueden irradiar y recoger la señal a lo largo de la longitud del cable. Típicamente, el cable será optimizado para servir a un determinado rango de frecuencias del espectro radioeléctrico, y optimizado para una máxima cobertura dentro de una cierta distancia, dentro del espacio del túnel. Normalmente, un cable radiante no es aplicable para el servicio a los usuarios que no están en la proximidad del cable, es típicamente ideal para distancias de 2-10 mts perpendicular al cable. (Tolstrup, 2008).

Los parámetros más importantes a considerar en la selección, diseño e instalación de cables radiantes son los siguientes:

- ✓ **Rango de frecuencia:** El cable radiante típicamente será diseñado y optimizado para soportar rangos específicos de frecuencia o bandas. Para su uso en el diseño de sistemas para GSM / UMTS se pueden encontrar el cable estándar de radiación optimizada para soportar bandas de frecuencia de 900, 1800 y 2100 MHz. (Tolstrup, 2008).
- ✓ **Pérdida longitudinal:** La pérdida longitudinal aumenta con la distancia y pueden variar con frecuencia, también está relacionado con la pérdida de acoplamiento del cable. (Tolstrup, 2008).
- ✓ **Pérdida de acoplamiento:** Es la pérdida entre el cable y el terminal móvil, especificada a una distancia típicamente de 2 o 6 mts. La especificación de pérdida de acoplamiento por lo general tiene un margen de variación relativamente alta, generalmente de más o menos 10 dB. (Tolstrup, 2008).
- ✓ **La pérdida del sistema:** Es la suma de la pérdida longitudinal y acoplamiento. (Tolstrup, 2008).
- ✓ **Resistencia DC:** Esto se utiliza para la distribución de la fuente de alimentación a los elementos activos distribuidos en el sistema. Es importante que las características de corriente continua del cable cumplan los requisitos de carga de potencia de los equipos distribuidos en el sistema. (Tolstrup, 2008).
- ✓ **Especificaciones mecánicas:** Las especificaciones mecánicas como, el tamaño, el radio de curvatura y la calificación de fuego son importantes para la correcta instalación de los cables radiantes. (Tolstrup, 2008).

- ✓ **Los retrasos en el sistema:** Debido a la longitud de los cables radiantes, los enlaces ópticos, el retardo y el tiempo de respuesta puede ser un problema en las soluciones túneles. (Tolstrup, 2008).

1.5.5 - Soluciones en túneles.

En el caso de los túneles existen dos tipos de soluciones, uno es utilizando amplificadores en cascada y otro utilizando un sistema tipo T. Par el caso de los amplificadores en cascada se basa en que a lo largo del túnel se van instalando amplificadores entre cables radiantes para compensar las pérdidas longitudinales del cable precedente. Para el caso de los sistemas tipo T, es cuando la fuente de alimentación de los amplificadores sale directamente de la unidad principal. (Tolstrup, 2008).

La diferencia más notoria entre ambos tipos de sistemas es el manejo del ruido. En el caso que se utilice un sistema en cascada se debe ser cuidadoso con la configuración de la ganancia de los amplificadores del sistema, porque los amplificadores no solo incrementaran el nivel de señal, sino que también el ruido que provenga del cable anterior. Por el contrario en los sistemas T, que al no tener los amplificadores alimentados en cascada evita que el ruido del cable anterior sea transmitido al siguiente. Es por esta razón que es más común ver diseños en túneles que utilizan sistemas tipo T. (Tolstrup, 2008)

1.5.5.1 - Zona de traspaso en túneles.

Se denomina traspaso (de su traducción del inglés Handover) al proceso utilizado en comunicaciones móviles para transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente. Este mecanismo garantiza que un móvil cuando se traslada de un lugar a otro no pierda la conexión con alguna de las estaciones base y por tanto no pierda cobertura. (Tolstrup, 2008)

La zona de traspaso es el lugar en donde se solapan las señales de dos celdas diferentes, durante el diseño de un sistema de cobertura para túneles, es necesario tener bien definida la zona de traspaso, siendo esta el área de la estación, esto es debido que es el lugar donde mejor se pueden apreciar las diferentes intensidades de señal de las diferentes celdas. Para la delimitación de dicha zona no es recomendable el uso de antenas en las estaciones ni en los túneles debido a que estas presentan un comportamiento impredecible y se ven afectadas físicamente por la presencia de trenes en el túnel. (Tolstrup, 2008)

1.6 - Comunicaciones móviles.

Dada la naturaleza del diseño de una red de comunicaciones inalámbricas, es de suma importancia conocer las diferentes tecnologías de servicio de comunicación, debido a sus diferentes características y parámetros generales de funcionamiento, los cuales impactan de una manera directa la forma de plantear y diseñar un sistema para proveer cobertura y capacidad de forma eficiente, cumpliendo así, con los estándares requerido para cada tecnología de comunicación móviles.

1.6.1 - Sistemas de comunicaciones móviles primera generación (1G).

La primera generación de sistemas de comunicación móvil, fueron sistemas de comunicación analógicos, puestos en funcionamiento antes del año 1990. Esta primera generación se caracteriza por emplear el acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA, por sus siglas en inglés, Frequency División Múltiple Access), en conjunto con el duplexado por división de frecuencia (FDD, por sus siglas en inglés, Frequency División Duplexing), la modulación análoga de frecuencia (FM por sus siglas en inglés, Frequency Modulation), para la modulación de los canales de voz y la modulación por conmutación de frecuencias (FSK por sus siglas en inglés, Frequency Shift Keying), para el control de la señalización y proveer canales de voz analógicos. Esta generación fue implementada con bandas de frecuencias de 450 MHz a 1 GHz y la celda poseía un radio entre 20 Km y 40 Km. (Ke-LinDu, 2010)

Se emplearon los siguientes estándares de comunicación:

- ✓ El servicio telefónico móvil avanzado (AMPS, por sus siglas en inglés, Advanced Mobile Phone Services), fue desarrollado en 1970, por los laboratorios Bell y puesto en funcionamiento en 1983. En este estándar de comunicación cada canal ocupa 30 KHz, la modulación de los canales de voz se realiza en frecuencia modulada, con una frecuencia de desviación de +/- 12 KHz, los controles de señalización son la modulados por conmutación de frecuencias con una frecuencia de desviación de +/- 8 KHz. La transmisión de data en el canal de control es a 10 KBits/s. (Ke-LinDu, 2010)

- ✓ El sistema de comunicación de acceso total (TACS, por sus siglas en inglés, Total Access Communication System), implementada en 1985. Este estándar se caracteriza por poseer el ancho de banda de los canales de 25 KHz, la modulación de los canales de voz se realiza en frecuencia modulada, con una frecuencia de desviación de +/- 12 KHz, los controles de señalización son la modulados por conmutación de frecuencias con una frecuencia de desviación de +/- 6.4 KHz, logrando una velocidad de datos de 8Kbits/s. (Ke-LinDu, 2010)

El uso del acceso múltiple por división de frecuencias y el duplexado por división de frecuencia, provoca que cada usuario utilice dos partes de las bandas de frecuencia, una el enlace ascendente (UL, por sus siglas en ingles Uplink) y otra el enlace de bajada (DL, por sus siglas en ingles Downlink). (Ke-LinDu, 2010)

1.6.2 - Sistemas de comunicaciones móviles de segunda generación (2G).

La segunda generación de sistemas de comunicación móvil, fue introducida en 1990. Esta generación provee una línea de calidad digital basado en los sistemas de circuitos conmutación de datos de comunicación, se implementan nuevas técnicas de acceso como son el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA, por sus siglas en inglés, Time División Múltiple Access) y al acceso múltiple por división de código (CDMA, por sus siglas en inglés, Code División Múltiple Access), también se designan las bandas de frecuencia de operación las cuales se encuentran entre 900 MHz y 1.9 GHz. (Ke-LinDu, 2010)

Los principales estándares de esta generación son los siguientes:

- ✓ El sistema global para comunicaciones móviles (GSM, por sus siglas en inglés, Global System for Mobile Communication), introducido en 1990 por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI, por sus siglas en inglés, European Telecommunications Standard Institute), se encuentra basado en el acceso múltiple por división de tiempo, el acceso múltiple por división de frecuencias, el duplexado por división de frecuencia y la modulación por modulación mínima Gaussiana (GMSK, por sus siglas en inglés, Gaussian Minimum Shift Keying). La implementación de estas técnicas en conjunto proporciona acceso simultáneo de múltiples unidades móviles a la estación base, las bandas de frecuencias se subdividen en canales de voz con un ancho de banda de 200 KHz, un canal con una velocidad de datos de 270.833 KBits/s, con una transmisión efectiva por usuario de 33.833 KBits/s y cada canal de voz es compartido por 8 usuarios móviles. (Ke-LinDu, 2010)

- ✓ El estándar provisional 95 (IS-95, por sus siglas en inglés, Interim Standard 95) fue introducido en 1993, por la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA, por sus siglas en inglés, Telecommunications Industry Association) y la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA, por sus siglas en inglés, Electronics Industry Associations), desarrollado en Hong Kong en 1995. Este estándar emplea las técnicas de acceso múltiple por división de código y el duplexado por división de frecuencia con la modulación por compensación de desplazamiento cuaternario (OQPSK, por sus siglas en inglés, Offset

Quaternary Phase Shift Keying). En este estándar cada canal tiene un ancho de 1.2288 MHz y cada usuario tiene una velocidad de datos de 9.6Kbits/s. (Ke-LinDu, 2010)

- ✓ El estándar provisional 136 (IS-136, por sus siglas en inglés, Interim Standard 136), utiliza la técnica de modulación por desplazamiento diferencial cuaternario, ($\pi/4$ -DQPSK, por sus siglas en inglés, Differential Quarternary Phase Shift Keying), para el control de los canales, obteniendo de esta forma un mayor control de los canales de datos para servicios de voice (de la traducción del inglés paging) y envío de mensajes cortos. (Ke-LinDu, 2010)

Tanto el sistema global para comunicaciones móviles y el estándar provisional 136 migraron a 3^{era} generación en dos etapas; la primera de estas etapas es el servicio general de paquetes vía radio (GPRS, por sus siglas en inglés, General Packet Radio Service), aumenta la velocidad de datos alrededor de 115 KBits/s, aunque teóricamente la velocidad pico es 172.2 KBits/s, siempre y cuando se estén utilizando las 8 subdivisiones de tiempo (de la traducción del inglés Time slots) en el sistema global para comunicaciones móviles. (Ke-LinDu, 2010)

La segunda etapa de migración es conocida como circuitos de alta velocidad de conmutación de datos (HSCSD, por sus siglas en inglés, High Speed Circuit Switched Data), esta nueva conmutación de datos soporta velocidades de datos sobre los 38.4 KBits/s, mediante la asignación de las 8 subdivisiones de tiempo a un usuario móvil. Otra etapa fue la implementación tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM (EDGE, por sus siglas en

inglés, Enhanced Data for GSM Evolution), mejorando la velocidad de datos a 384 KBits/s. (Ke-LinDu, 2010)

1.6.3 - Sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación (3G).

En la actualidad los sistemas de comunicación de tercera generación (3G) están siendo desplegados en todo el mundo. Los estándares para los sistemas de tercera generación han sido desarrollados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, por sus siglas en inglés, International Telecommunication Union), con el nombre de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000, por sus siglas en inglés, International Mobile Telecommunications 2000) o Sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS, por sus siglas en inglés, Universal Mobile Telecommunications System). (Ke-LinDu, 2010)

Los sistemas de tercera generación se caracterizan por las comunicaciones de banda ancha. Como requisitos generales, exige una velocidad de datos de 2 MBits/s en los móviles estacionarios, 384 KBits/s para un usuario a la velocidad de peatón, y 144 KBits/s en un vehículo en movimiento, utilizan la conmutación de paquetes y típicamente despliegan en la banda de frecuencia de 2 GHz. (Ke-LinDu, 2010)

Dos de los principales estándares de esta generación son Acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA, por sus siglas en inglés, Wide band Code División Múltiple Access), y CDMA2000, que son administrados por dos cuerpos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, por sus siglas en inglés, International Telecommunication Unión), los cuales son el Proyecto Asociación de Tercera Generación (3GPP, por sus siglas en inglés, Third

Generation Partnership Project) y el Proyecto Asociación de Tercera Generación 2 (3GPP2, por sus siglas en inglés, Third-Generation Partnership Project 2). (Ke-LinDu, 2010)

1.6.3.1 - Sistema universal de comunicaciones Móviles.

El Sistema Universal de comunicaciones Móviles (UMTS, por sus siglas en ingles Universal Mobile Telecommunications System), fue introducido por el Proyecto Asociación de Tercera Generación, mediante el revisión 99 (R 99, de sus siglas en ingles Release 99), el cual combina las propiedades de la conmutación de las redes de voz con las propiedades de la conmutación de las redes de datos y ofrece una variedad de múltiples posibilidades comparadas con los sistemas anteriores. (Sauter, 2011)

Dentro de las principales mejoras de este sistema de tercera generación tenemos un rediseño del acceso a la red de datos, el uso de métodos de multiplexación de tiempo y de frecuencia, la implementación de un nuevo método de acceso múltiple por división de código de banda ancha, en el cual los usuarios no están separados uno de otros por subdivisiones de tiempo y frecuencias, sino que se les asigna un código único, se incrementó el ancho de banda de una portadora lo que permite un aumento en la velocidad de transferencia de datos hasta los 384 KBits/s por usuario, tanto en el enlace ascendente, como en el enlace de bajada. (Sauter, 2011)

1.6.3.2 - Acceso de alta velocidad en la descarga de paquetes.

El Acceso de alta velocidad en la descarga de paquetes (HSDPA, por sus siglas en inglés, High-Speed Down link Packet Access), fue introducido por el Proyecto Asociación de Tercera Generación, mediante la revisión 5 (R 5, de sus siglas en ingles Release 5), el cual introduce un nuevo esquema en la transmisión de datos, aumentando las velocidades de transmisión de datos desde la red al usuario. Mientras que en la revisión 99, la velocidad máxima de transferencia de datos, el Acceso de alta velocidad en la descarga de paquetes, aumenta la velocidad de varios megabits por segundo en condiciones normales. (Sauter, 2011)

Las velocidades máximas de transferencia de datos dependen de condiciones como la capacidad de rendimiento del dispositivo, capacidad de la red, ancho de banda del enlace remoto entre la red y la estación base, distancia entre el equipo móvil y la estación base, etc. En un entorno de radio ideal, se pueden obtener velocidades de hasta 14.4 MBits/s entre la red y el dispositivo móvil. Sin embargo, bajo condiciones menos favorables de radio y con la celda siendo utilizado por múltiples usuarios simultáneamente, un rendimiento de varios megabits por segundo todavía puede ser alcanzado. (Sauter, 2011)

1.6.3.3 - Evolución de largo término.

Evolución de largo término (LTE, por sus siglas en ingles Long-Term Evolution), fue introducida por el Proyecto Asociación de Tercera Generación, mediante el revisión 8 (R 8, de sus siglas en ingles Release 8), esta utiliza el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA, por sus siglas en inglés, Orthogonal Frequency División Múltiple Access)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

en el enlace descendente, mientras que en el enlace ascendente de una sola portadora se utiliza el acceso múltiple por división de frecuencia. (Ke-LinDu, 2010)

Esta tecnología utiliza un número de anchos de banda escalable desde 1,25 MHz a 20 MHz, y tanto duplexado por división de frecuencia y duplexado por división de tiempo, se pueden utilizar. Ambas tecnologías multiplexado por división de frecuencia ortogonal y múltiple entrada múltiple salida (MIMO, por sus siglas en inglés, Múltiple Input Múltiple Output), se emplean para mejorar la velocidad de datos a 172.8 Mbits/s para el enlace descendente y 86.4 Mbits/s para el enlace ascendente. Para una banda de 5 MHz, Evolución de largo término alcanza 43.2 Mbits/s enlace descendente y 21.6 Mbits/s de enlace ascendente. (Ke-LinDu, 2010)

CAPÍTULO II

Diseño del sistema.

2.1 - Descripción estructural del túnel de la primera línea de Santo Domingo.

La primera línea del metro de Santo Domingo tiene un trazado que va desde El Centro de los Héroes (La Feria) hasta Villa Mella, atravesando la Provincia de Santo Domingo de Norte a Sur, con una longitud total aproximada de 14.50 Km. El resultado, es una línea mixta, con un tramo de 9.2Kms, soterrado y uno de 4.3Kms, elevado, un ferroaducto de 800 mts, y los patios y talleres. En el tramo de la primera línea del metro, está comprendido entre el Centro de los Héroes y el Río Isabela, el Metro corre soterrado, razón por la cual la Oficina para el Reordenamiento del Transporte Terrestre (OPRET), se focalizó en la construcción de 6,550 metros de túneles, de las siguientes características: (OPRET, 2004- 2012)

Los túneles profundos o mineros tienen una longitud de 2,560.00 metros, distribuidos en 710 metros comprendidos entre los tramos Feria y Lincoln, y 1850 metros entre los tramos Educación y Peña Batlle. Los Túneles Profundos tienen un escudo de Hormigón Armado de 0.40 metros de espesor promedio que define una sección abovedada cuyas dimensiones interiores terminadas son de 8.00 metros de ancho y 7.00 metros de alto. La parte inferior de esta sección se localiza a unos 14.00 metros por debajo del nivel de la rasante de calle. (OPRET, 2004- 2012)

Los túneles trinchera tienen una longitud de 3,990.00 metros, distribuidos en 210 metros en el tramo Cola Feria, 17400 metros entre los tramos Lincoln y Educación y 2040 metros entre los tramos Peña Batlle e Isabela. Los Túneles Trinchera fueron excavados a cielo abierto para conformar una sección combinada de Placa de Hormigón Armado, Muros o Paneles Prefabricados de H. A., Viga de Amarre H. A., Vigas de Techo de Hormigón Pretensado y Losa

de Repartición H. A., impermeabilizada, para producir una sección rectangular cuyas dimensiones interiores terminadas son de 8.00 metros de ancho y 5.00 metros de alto. La parte inferior de esta sección se localiza a unos 7.00 metros por debajo del nivel de la calle. (OPRET, 2004- 2012).

2.2 - Situación actual de la primera línea del metro de Santo Domingo.

Luego de haber sido descritas las características estructurales de la primera línea del metro de Santo Domingo, procederemos a realizar la primera fase de nuestro diseño, el cual consiste en un muestreo preliminar de los niveles de señal en los túneles y estaciones de la primera línea del metro. Para dicho muestreo utilizamos la herramienta RFSignal Tracker, la misma está disponible para la plataforma Android. Antes de mostrar los datos recolectados por esta herramienta procederemos a explicar cómo funciona dicha herramienta y como se realizó validación de los datos recolectados con dicha herramienta.

2.2.1 - Familiarización con la herramienta RF Signal Tracker.

A continuación se detallaran los pasos a seguir para poder trabajar con RF Signal Tracker:

- 1- Se descarga la aplicación de Google Play.
- 2- Luego de tener la aplicación instalada, esta aparecerá en el menú de aplicaciones. Como se puede apreciar en la figura 2.1.



Figura 2.1 Icono de la aplicación RF Signal Tracker. (Fuentes: Autores).

3- Se procede a pulsar el icono de la aplicación, para acceder a la aplicación. En la figura 2.2, se puede observar la aplicación una vez pulsado el icono.



Figura 2.2 Interfaz de la aplicación. (Fuente: Autores).

4- Para poder realizar las grabaciones de señales, se debe de pulsar el botón RF que se encuentra en la parte inferior izquierda, como se puede visualizar en la figura 2.2.

Esta herramienta cuenta con la opción de guardar las capturas realizadas, las mismas pueden ser en varios formatos, estos son KML, CVS y XML. Este procedimiento puede ser visto en detalle en el Anexo B.

2.2.2 - Validación de la herramienta.

En vista de que RFSginal Tracker es una herramienta gratuita, además de que la misma no está sostenida por una compañía especializada en el área de captura de señales, es necesario validar los datos que genera el programa. Para esto hemos utilizado una herramienta llamada Qualipoc Swiss Quality, la cual es desarrollada por empresa Swissqual. Con esta herramienta y a la par de RFSignal Tracker, se realizaron unas pruebas en las captura de señal en el parqueo de vehículos del Campus II de Ingeniería de la Universidad APEC, lo cual arrojó diferencias mínimas en los niveles de señal. Una muestra de esto se puede apreciar en la figura 2.3, en la cual se puede observar la relación entre ambas muestras. En donde los dibujos circulares representan las lecturas realizadas por el programa Qualipoc Swiss Quality, mientras que las líneas amarillas representan las lecturas RFSignal Tracker. Las tablas correspondientes a las lecturas de estos programas pueden ser vistas en el Anexo B.



Figura 2.3 Relación de muestras de Qualipoc y RFSignal Tracker. (Fuente: Autores)

2.2.3 - Muestreo preliminar.

Después de haber expuesto cómo funciona la herramienta procederemos hacer el muestreo preliminar. Este consiste en hacer registro de señales dentro de las estaciones y en cada uno de los tramos de la primera línea del metro de Santo Domingo. Cabe mencionar que el muestro solo se realizó en el tramo soterrado de la primera línea del metro de Santo Domingo, debido a que la cobertura de la parte elevada de esta línea es cubierta por la red macro. En la figura 2.4 podemos visualizar el tramo que estaremos cubriendo y sus respectivas estaciones.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

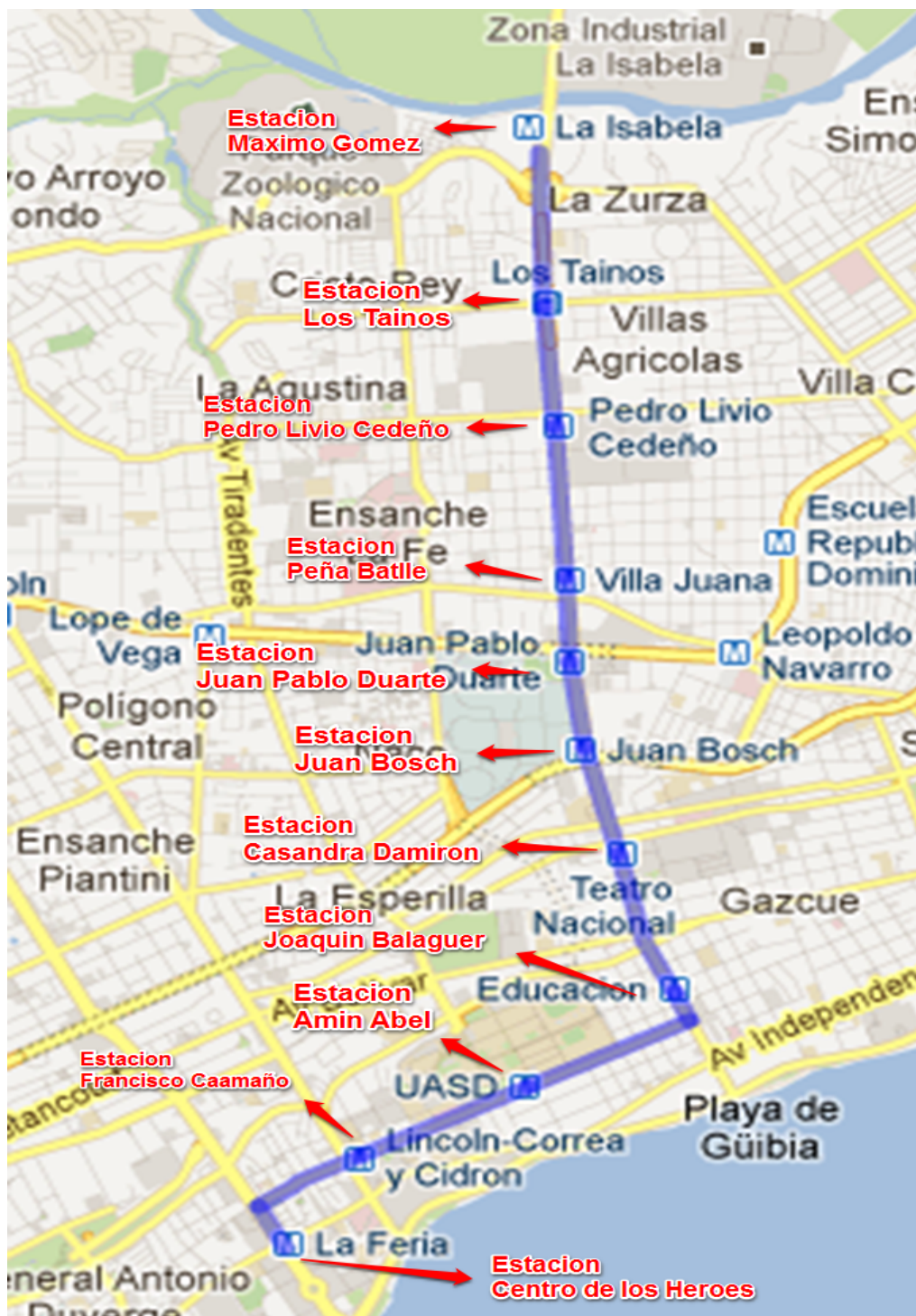


Figura 2.4 Tramo soterrado de la primera línea del metro de Santo Domingo. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

En la tabla 2.1 visualizaremos los valores promedios de cobertura dentro de los andenes de cada una de las estaciones de la primera línea del metro de Santo Domingo que vamos a cubrir.

Tabla 2.1 Niveles promedio de cobertura de la estaciones de la primera Línea del metro de Santo Domingo. (Fuente: Autores)

#	Estación	Nivel de cobertura Promedio (dBm)
1	Centro de los Héroes	-98
2	Francisco Caamaño	-77
3	Amín Abel	-80
4	Joaquín Balaguer	-91
5	Casandra Damirón	-80
6	Juan Bosch	-87
7	Juan Pablo Duarte	-94
8	Peña Batlle	-73
9	Pedro Livio Cedeño	-103
10	Los Tainos	-75

Ahora bien, para visualizar el origen de estos valores promedios utilizaremos como ejemplo los resultados de la estación Francisco Caamaño, (para ver las demás, ver anexo B), los mismo están en la tabla 2.2:

Tabla 2.2 Datos recolectados en el muestro preliminar a la estación Francisco Caamaño. (Fuente: Autores)

#	Nivel de Señal	ID de la Celda	Tecnología	Estado
1	-63	10813	HSDPA	CONECTADOS
2	-69	10813	HSDPA	CONECTADOS
3	-73	10813	HSDPA	CONECTADOS
4	-83	10813	HSDPA	CONECTADOS
5	-91	10813	HSDPA	CONECTADOS
6	-89	10813	HSDPA	CONECTADOS
7	-81	10813	HSDPA	CONECTADOS
8	-69	10813	HSDPA	CONECTADOS

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

La tabla 2.2 nos muestra los niveles de señal, la tecnología celular que se estaba utilizando, la identificación de la celda a la que estábamos conectados y el estado de la conexión. Esto nos permite visualizar que en los andenes del metro de Santo Domingo tenemos cobertura de la red macro al contrario de lo que se puede apreciar en los túneles, en los cuales el nivel de señal está por debajo del mínimo necesario para poder establecer una llamada telefónica en una red celular, esto se puede evidenciar en la tabla 2.3, donde se muestra los valores promedio de cada uno de los tramos de túnel de la primera línea del metro de Santo Domingo. Mientras que en la tabla 2.4 utilizaremos de ejemplo el tramo comprendido entre la estación Francisco Caamaño y la estación Amín Abel (para ver las demás, ver anexo B).

Tabla 2.3 Niveles promedio de cobertura de los túneles de la primera Línea del metro de Santo Domingo. (Fuente: Autores)

#	Estación Origen	Estación Fin	Nivel de cobertura Promedio (dBm)
1	Centro de los Héroes	Francisco Caamaño	-112
2	Francisco Caamaño	Amín Abel	-116
3	Amín Abel	Joaquín Balaguer	-111
4	Joaquín Balaguer	Casandra Damirón	-109
5	Casandra Damirón	Juan Bosch	-111
6	Juan Bosch	Juan Pablo Duarte	-110
7	Juan Pablo Duarte	Peña Batlle	-113
8	Peña Batlle	Pedro Livio Cedeño	-113
9	Pedro Livio Cedeño	Los Tainos	-113
10	Los Tainos	Máximo Gómez	-118

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Tabla 2.4 Datos recolectados en el túnel que parte en la estación Francisco Caamaño y termina en la estación Amín Abel. (Fuente: Autores)

ID	RSSI	CELL ID	LAC	MCC	MNC	Tecnología	Estado
1	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
2	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
3	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
4	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
5	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
6	-200	10813	1451	370	2	HSDPA	DESCONECTADOS
7	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
8	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
9	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
10	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
11	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
12	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
13	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
14	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
15	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
16	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS
17	-111	152	1001	370	1	HSDPA	DESCONECTADOS

2.3 - Planteamiento de la solución.

Después de realizar un levantamiento en el cual se determinó la situación que presenta la primera línea del metro de Santo Domingo, tanto en sus estaciones como en sus túneles, en la cual se determinó tanto las dimensiones de los mismos como los niveles de señal dentro de estos, es tiempo de exponer el diseño.

2.3.1 - Solución en los túneles.

En el caso de los túneles, estos se dividen en dos casos que son cuando los túneles son rectos o curvos. En ambos casos se utilizara cable radiante como elemento de radiación. El criterio que se empleó para optar por un cable radiante, en vez de un juego de antenas, es que en los dos tipos de túneles que utiliza la primera línea del metro de Santo Domingo no pueden colocarse elementos radiantes en la parte superior de este, debido a que no hay espacios para colocarlos, siendo los laterales los únicos lugares disponibles para colocar algún elemento radiante. Por otro lado la distancia que hay de seguridad en los laterales de los túneles, para la colocación de algún elemento radiante es de 0.7 metros de distancia (Ver anexo A). Es por esto que con colocar un cable radiante a la altura de la ventana de los vagones nos asegura que los pasajeros del metro tendrán cobertura.

El cable radiante a ser empleado es el modelo RFCL42D (1-5/8") de la compañía ORNET. (Ver anexo D). El mismo posee una pérdida de acople de 64 dB y tiene una atenuación por kilómetro de 26 dB. La razón primordial por la cual se selecciono este cable es porque es el que presenta la menor atenuación por kilometro. Esta perdida solo se vera completamente reflejada en solo dos tramos que sobrepasan 1 kilometro de distancia. Mientras que las perdidas por acople son prácticamente un estándar en esta clase de cables en nuestra frecuencia de trabajo.

En los terminales del cable radiante hay una carga hueca, la cual cumple la función de terminación eléctrica. Esto es debido a que cuando se coloca una carga hueca es para poder cerrar el circuito y prevenir reflejos de la onda transmitida. Para la selección de la carga hueca se tomaron en cuenta la frecuencia de trabajo, si puede ser utilizada en interiores y su impedancia.

Para nuestro proyecto, se eligió la carga hueca modelo T-25-DF de la compañía Commscope. (Ver anexo D)

2.3.2 - Solución en las estaciones.

En el caso de las estaciones, estas servirán como zonas de traspaso, esto se debe a que en las estaciones es donde hay una mayor concentración de personas en las horas pico y es donde los usuarios se mueven a menor velocidad, comparado con los túneles. Como el elemento radiante en las estaciones se utilizará una antena de panel alimentada con una potencia de transmisión 1dBm, en nuestro proyecto, utilizamos el modelo CELLMAX-D-CPUSE de la compañía Commscope. (Ver anexo D). Se utilizo esta antena debido a que la ganancia de la misma, (5dB), era mas que suficiente para cubrir el área de las estaciones. Como la potencia del cable radiante y de la antena de panel saldrá de la misma unidad remota, utilizaremos un divisor asimétrico (del inglés tap), para dividir la potencia, con esto dejamos la mayor parte disponible para el cable radiante.

Cabe mencionar que en las estaciones estarán las unidades remotas, las cuales estarán conectadas con la unidad principal por fibras ópticas. Dichas unidades remotas son del modelo Nexus FT4000 Fiber Base Unit de la compañía Power Wave. (Ver anexo D). Para la selección de esta unidad remota se tomaron en cuenta el ancho de banda, la potencia máxima que puede recibir en la entrada, las perdidas por inserción, los sistemas de RF soportados, y por la impedancia de entrada.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Por otro lado tenemos que mencionar que la ubicación de la unidad matriz será en la estación Juan Pablo Duarte. Debido a que esta estación es la única que se comunicara directamente con la segunda línea del metro de Santo Domingo. Para la selección de dicha matriz se tomaron en consideración que pudiera proveer la potencia necesaria para cubrir los túneles y las estaciones, que soportara múltiples prestadoras de servicios, que esta pudiera ser utilizada en interiores y que además de que se puedan los remotos de las estaciones que pretendemos cubrir también pueda ser utilizada en la segunda línea del metro de Santo Domingo. Dicha unidad matriz es del modelo RBS6601 de la compañía Ericsson. (Ver anexo D)

En lo que respecta a los cables de fibra óptica, se empleara una fibra monomodo, debido a que la distancia máxima de uno de los cables que se necesitaran será de 4.9 Km. Para nuestro proyecto se eligió la fibra D-096-L2-8W-F12NS de la compañía Commscope. (Ver anexo D). En el caso de la fibra se tomaron en cuenta varias cosas tales como:

- La distancia máxima que tienen que recorrer los cables desde la estación matriz, (Estación Juan Pablo Duarte), hacia su respectiva estación.
- Que pudiera ser utilizadas en ambientes tipo túnel.
- La cantidad de fibras que tiene el cable.
- Si la fibra cuenta con protección.

En la tabla 2.5 se pudo apreciar cuales son las distancias de las demás estaciones a la estación Juan Pablo Duarte.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Tabla 2.5 Distancia entre estaciones partiendo de la estación Juan Pablo Duarte. (Fuente: Autores)

Estación	Distancia (m)
Centro de los Héroes	4803
Francisco Caamaño	3949
Amín Abel	3054
Joaquín Balaguer	1974
Casandra Damirón	1143
Juan Bosch	509
Pena Batlle	465
Pedro Livio Cedeño	1346
Los Tainos	2018

2.3.3 - Diagrama de tuberías.

Luego de haber expuesto las soluciones en los túneles y en las estaciones, pasaremos a graficar la solución en un diagrama de tuberías. Vamos a empezar por la figura 2.5 donde vemos la unidad óptica remota que estará colocada en la estación, la cual luego se conecta con un divisor. En este divisor están conectados el cable radiante, el cual estará colocado en los túneles, y la antena de panel que estará en las estaciones soterradas de la primera línea del metro de Santo Domingo. El diagrama de tubería en todo su esplendor se puede ver en la figura 2.6

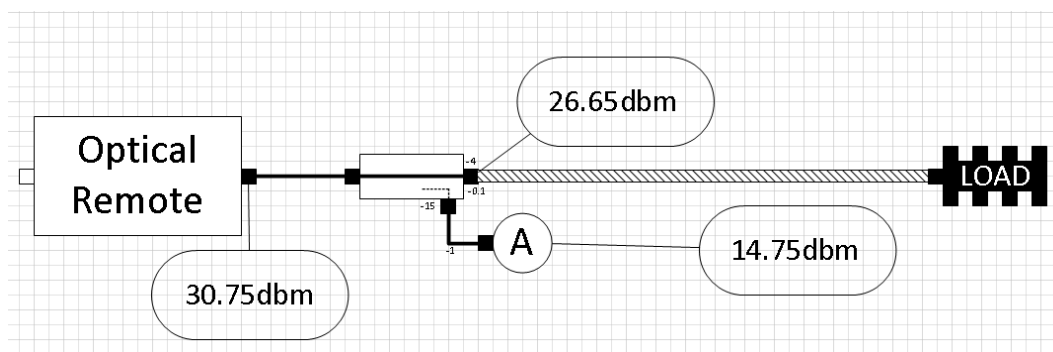


Figura 2.5 Sección de Tuberías en estación y tramo de túnel. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

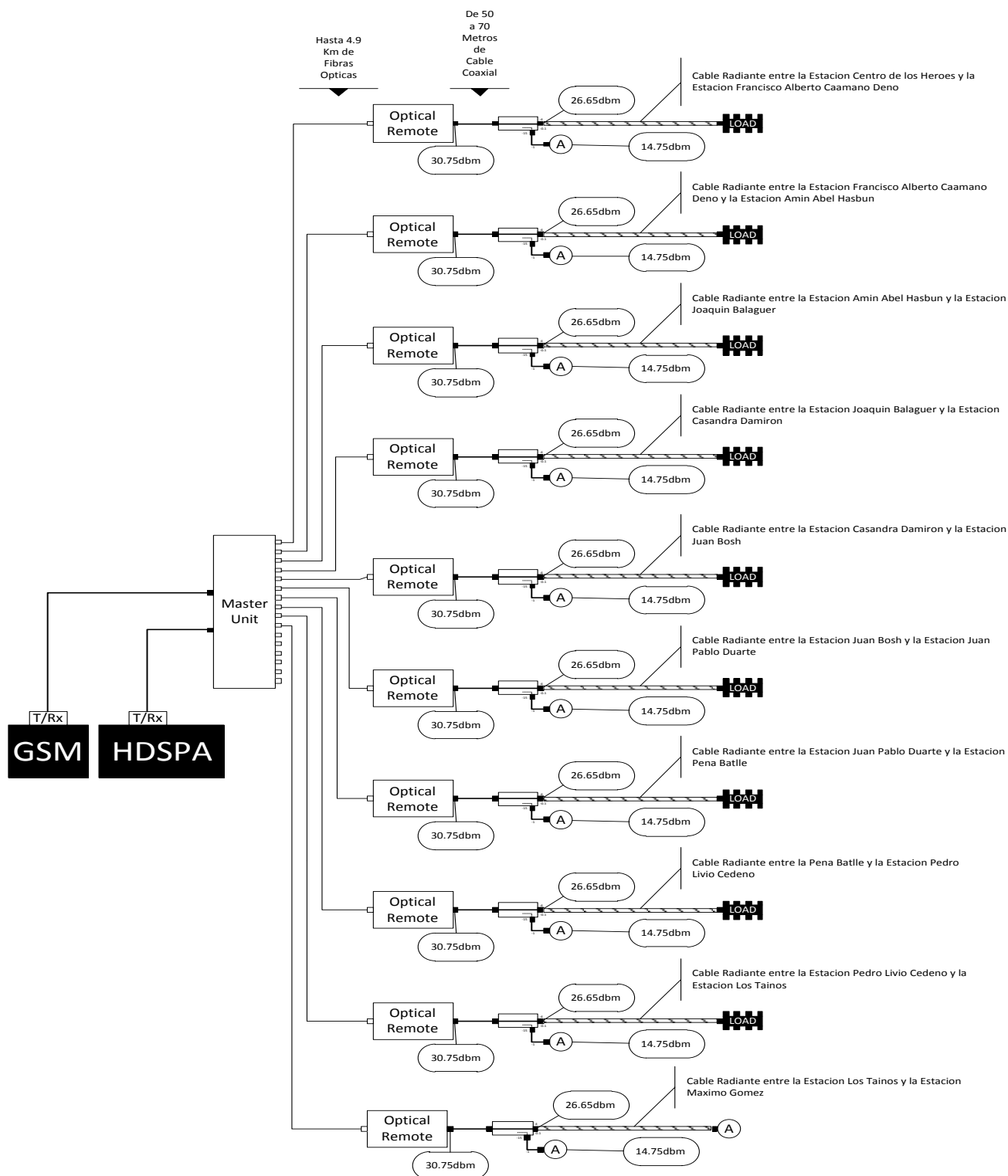


Figura 2.6 Diseño completo de tuberías en estación y tramo de túnel. (Fuente: Autores)

2.4 - Cálculos de cobertura en los túneles y estaciones de la primera línea del metro de Santo Domingo.

Para realizar un análisis en los niveles de cobertura que podríamos tener en cada una de las secciones de túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo, se realizan cálculos de cobertura en el interior de dichas secciones de túnel mediante cable radiante. Dichos cálculos son realizados para una frecuencia de 850Mhz, de igual modo se utilizan los parámetros de cable radiante facilitados por el fabricante.

Para realizar los cálculos de cobertura utilizaremos la ecuación 2.1: (Balselles, 2010)

$$P_t = P_{in} - (d \cdot L_{Att}) - L_{Coup} - L_{fc} \quad (2.1)$$

Dónde:

L_{Att} - Son las pérdidas de atenuación longitudinal por propagación en el cable radiante. Normalmente se da en dB/100 mts, pero también se puede encontrar este dato en dB/1Km. Este dato lo proporciona el fabricante.

L_{Coup} - Son las pérdidas de acoplamiento (Coupling Loss). Estas hacen referencia a las pérdidas que se producen entre el cable radiante y la antena del terminal receptor tomadas a 2m de distancia del cable radiante. Este dato lo proporciona el fabricante.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

L_{fc} - Son las pérdidas a añadir como factor de corrección en el caso de que la distancia entre el cable radiante y el punto donde se quiere calcular el nivel de señal sea mayor a los 2m. Para los cálculos de cobertura se toma este parámetro a consideración, debido que el usuario se encuentra a una separación máxima del cable radiante de 8 mts, este dato es tomado basándonos en los planos del túnel del metro de Santo Domingo (ver anexo A). Esta pérdida se puede determinar mediante la siguiente ecuación (2.2):

$$L_{fc}=20 \log (8\text{mts}/2\text{mts})=12.041\text{dB} \quad (2.2)$$

Dónde:

d- Es la distancia de cable radiante desde el punto de inyección de la señal hasta el punto donde se quiere tomar la medida.

P_{ln} -Es el nivel de potencia que se inyecta en el cable radiante.

P_t - Es el nivel de potencia que llega a la antena del terminal móvil.

Se deben de tomar en cuenta las pérdidas por la densidad de personas denominada Pérdida por Cuerpo (P_{cuerpo}) y las pérdidas por penetración del vagón denominada pérdida de vagón ($P_{vagón}$), agregando estas pérdidas a la ecuación 2.1, la cual queda expresada de la siguiente forma:

$$P_t=P_{ln}-(d.L_{Att})-L_{Coup}-L_{fc}-P_{cuerpo}-P_{Vagón} \quad (2.3)$$

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Dónde:

P_{cuerpo} - Es la pérdida por densidad de personas, esta equivale a 12dB. (Balselles, 2010).

$P_{\text{vagón}}$ - Es la pérdida generada por la penetración de la onda electromagnética en el vagón del metro, equivalente a 10dB. (Dirección de ingeniería, 2007)

Las características técnicas del cable radiante se muestran en la Tabla 2.6 (Ver Anexo D):

Tabla 2.6 Datos técnicos del cable radiante. (Fuente: Autores)

Información Técnica del Cable Radiante	
RFCL 42D (1-5/8 “)	
Attenuation (dB/1Km)	26
Coupling Loss (dB)	64

Para garantizar que hasta en el peor de los casos el usuario cuente con una cobertura óptima se debe de determinar la potencia mínima de transmisión para proveer cobertura en toda la longitud del túnel. Teniendo en cuenta este planteamiento se asumirán -90 dBm como la potencia que llega al móvil del usuario (Tolstrup, 2008). Para determinar la potencia mínima de transmisión se utiliza la ecuación 2.3.

Donde tenemos los siguientes datos:

$$P_t = -90\text{dBm}$$

$$P_{\text{cuerpo}} = 12\text{dB}$$

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

$$P_{\text{Vagon}} = 10\text{dB}$$

$$L_{\text{Coup}} = 64 \text{ dB}$$

$$L_{\text{Att}} = 26\text{dB}$$

$L_{\text{fc}} = 0\text{dB}$. Se asume este valor, debido a que el usuario se encuentra a menos de 2mts del cable radiante.

$d = 640 \text{ m}$. Distancia del tramo número 2 de túnel del metro de Santo Domingo, comprendido dentro de las estaciones Francisco Caamaño y Amín Abel.

Procedemos a despejar el parámetro P_{In} , de la ecuación 2.3.

$$P_{\text{In}} = P_t + (d \cdot L_{\text{Att}}) + L_{\text{Coup}} + L_{\text{fc}} + P_{\text{cuerpo}} + P_{\text{Vagon}}$$

$$P_{\text{In}} = -90\text{dBm} + \left(\left(\frac{640\text{mts}}{1000} \right) \times 26\text{dB} \right) + 64\text{dB} + 0\text{dB} + 12\text{dBm} + 10\text{dBm}$$

$$P_{\text{In}} = 12.64 \text{ dBm}$$

Aplicando este procedimiento en los demás tramos de la línea del metro podemos obtener las de potencia mínima de transmisión que se necesita inyectar al cable radiante requerida para proveer cobertura, como puede apreciarse en la tabla 2.7

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Tabla 2.7 Distancias de los tramos del túnel del metro. (Fuente: Autores)

Tramo de túnel	Distancia (m)	Potencia Transmisión (dBm)
Centro de los Héroes- Francisco Caamaño	594	11.444
Francisco Caamaño- Amín Abel	640	12.64
Amín Abel-Joaquín Balaguer	820	17.32
Joaquín Balaguer-Casandra Damirón	572	10.872
Casandra Damirón-Juan Bosch	376	5.776
Juan Bosch- Juan Pablo Duarte	250	2.5
Juan Pablo Duarte-Pena Batlle	205	1.33
Peña Batlle- Pedro Libio Sedeño	621	12.146
Pedro Libio Sedeño - Los Tainos	414	6.764
Los Tainos -Máximo Gómez	882	18.932

Luego de obtener la potencia mínima requerida que se necesita inyectar al cable radiante procedemos a calcular los niveles de cobertura en todo el trayecto del tramo 2, para nuestros cálculos se ha tomado un incremento de 5m para cada tramo, para realizar este cálculo de cobertura utilizaremos la ecuación 2.3.

$$P_t = P_{ln} - (d \cdot L_{Att}) - L_{Coup} - L_{fc} - L_{Body} - L_{Vagon}$$

Donde tenemos los siguientes datos:

$$P_{ln} = 12.64 \text{ dBm}$$

$$P_{cuerpo} = 12 \text{ dB}$$

$$P_{Vagón} = 10 \text{ dB}$$

$$L_{Coup} = 64 \text{ dB}$$

$$L_{Att} = 26 \text{ dB}$$

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

$$d=5m$$

$$L_{fc}=12.041dB$$

$$P_t=12.64 \text{ dBm} - \left(\left(\frac{5 \text{ mts}}{1000} \right) \times 26 \text{ dB} \right) - 64 \text{ dBm} - 12.041 \text{ dBm} - 12 \text{ dBm} - 10 \text{ dBm}$$

$$P_r = -85.40184 \text{ dBm}$$

Aplicando este procedimiento variando la distancia podemos obtener los niveles de cobertura a diferentes distancias del tramo 2 de la línea del metro. De igual modo siguiendo este procedimiento en los demás tramos del metro de Santo Domingo se pueden obtener sus diferentes niveles de cobertura en toda su longitud, como se puede apreciar en la tabla 2.8. Para ver los resultados de los demás tramos ver Anexo B.

Tabla 2.8 Datos de cobertura del tramo 2 del túnel del metro. (Fuente: Autores)

Distancia en (m)	Pérdida de cable (dB)	Coupling Loss (dB)	Pérdidas de Propagación (dB)	Total de Pérdidas (dB)	Potencia en el receptor (dBm)
5	0.13	64	22	86.13	-85.4018498
10	0.26	64	22	86.26	-85.4037998
15	0.39	64	22	86.39	-85.4070498
20	0.52	64	22	86.52	-85.4115998
25	0.65	64	22	86.65	-85.4174498
30	0.78	64	22	86.78	-85.4245998
35	0.91	64	22	86.91	-85.4330498
40	1.04	64	22	87.04	-85.4427998
45	1.17	64	22	87.17	-85.4538498
50	1.3	64	22	87.3	-85.4661998
55	3.52	64	22	89.52	-85.5947998
60	1.56	64	22	87.56	-85.4947998
65	1.69	64	22	87.69	-85.5110498
70	1.82	64	22	87.82	-85.5285998
75	1.95	64	22	87.95	-85.5474498

2.4.1 - Calculo de cobertura para las estaciones de la primera línea del metro de Santo Domingo.

Al igual que como realizamos los cálculos de propagación en los túneles, es necesario realizar dichos cálculos en las estaciones de cada tramo. En este caso las estaciones son todas de las mismas dimensiones, lo que reduce la operación de cálculo a solo una.

Para realizar el cálculo de cobertura de las estaciones emplearemos el método de pérdidas de propagación de espacio libre, en la cual determinaremos la pérdidas de potencia a lo largo de la estación, sabiendo que la potencia de alimentación de nuestra antena es 1dBm, además de tomar en consideración la pérdida por densidad de personas (Pérdida por Cuerpo) equivalente a 12dB, este cálculo lo podemos expresar matemáticamente con la ecuación 2.4:

$$FSPL = -147.55 + 20 \log F + 20 \log D \quad (2.4)$$

Dónde:

F- Es la frecuencia y se mide en Hz, equivalente a 850 MHz

D- Es la distancia expresada en metros, equivalentes a 5 m.

$$FSPL = -147.55 + 20 \log (850 \text{ Mhz}) + 20 \log (5 \text{ m})$$

$$FSPL = 45.0177786 \text{ dB}$$

$$\text{Cobertura (5mts)} = (\text{potencia de alimentación de la antena}) - (P_{\text{cuerpo}}) - FSPL$$

$$\text{Cobertura (5mts)} = 1\text{dBm} - 12\text{dB} - 45.0177786 \text{ dB}$$

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Cobertura (5mts)= -56.0177786 dBm

Siguiendo este procedimiento para las siguientes distancias podemos obtener los siguientes resultados mostrados en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Niveles de cobertura de las estaciones. (Fuente: Autores)

Distancia en (m)	Pérdida de propagación (dB)	Niveles de Cobertura (dBm)
5	45.0177786	-56.0177786
10	51.03837851	-62.0383785
15	54.5602037	-65.5602037
20	57.05897843	-68.0589784
25	58.99717869	-69.9971787
30	60.58080361	-71.5808036
35	61.9197394	-72.9197394
40	63.07957834	-74.0795783
45	64.10262879	-75.1026288
50	65.0177786	-76.0177786
55	65.8456323	-76.8456323
60	66.60140352	-77.6014035
65	67.29664565	-78.2966456
70	67.94033931	-78.9403393
75	68.53960378	-79.5396038
80	69.10017825	-80.1001783
85	69.62675703	-80.626757
90	70.1232287	-81.1232287
95	70.59285062	-81.5928506
100	71.03837851	-82.0383785
105	71.4621645	-82.4621645
110	71.86623222	-82.8662322
115	72.25233532	-83.2523353
120	72.62200344	-83.6220034

2.5 - Cálculos de capacidad en los túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo.

Luego de haber realizado los cálculos para poder proveer cobertura pasaremos a realizar los cálculos para poder brindar capacidad a nuestra red. Esta serie de cálculos se dividen en tres partes fundamentales: Las personas a proveer servicio, el tráfico de voz y el tráfico de datos.

2.5.1 - Personas a proveer servicio.

Para poder efectuar un análisis de capacidad del sistema necesitamos saber que la cantidad de personas en una hora pico. Para obtener este dato utilizaremos las estadísticas de la cantidad de personas que se ha montado en el metro de Santo Domingo desde 2009 hasta el 2012. (Ver Anexo B). A partir de estas estadísticas determinaremos la tasa de crecimiento anual y luego la cantidad de personas en hora pico en la actualidad.

Empezamos con la tasa anual de crecimiento, expresado matemáticamente con la ecuación 2.5:
(Richard Levin, 2004)

$$TCP = \sqrt[A]{pp/pn} - 1 \quad (2.5)$$

Dónde:

TCP- Es la tasa de crecimiento promedio anual.

A- Es la cantidad de años.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Pp- Es la población actual.

Pn- Es la población en la fecha de origen.

Con esta ecuación procederemos a determinar la tasa de crecimiento que tiene la primera línea del Metro de Santo Domingo. Para los valores de las poblaciones usaremos los valores de los años 2009 y 2012, los mismo fueron extraídos del anexo B. En el caso de marzo del 2009 tenemos que 1, 705,340 fue la cantidad de personas que se montaron en la primera línea del metro de Santo Domingo y para marzo del 2012 se montaron 3, 018,703 personas. Si aplicamos la fórmula 2.5 obtenemos que:

$$TCP = \sqrt[3]{\frac{3,018,703}{1,705,340}} - 1 = 21\%$$

Luego de determinar cuál era la tasa anual de crecimiento poblacional pasaremos a determinar cuál es la cantidad de personas que maneja la primera línea del metro de Santo Domingo. Para este cálculo usaremos un despeje de la fórmula 2.5, utilizada para la tasa anual de crecimiento poblacional, la formula queda de esta forma:

$$pp = pn(TCP + 1)^a \quad (2.6)$$

Para esta fórmula la población previa será de 6,200 debido a este es la cantidad de personas que manejaba la primera línea del metro de Santo Domingo en una hora pico para el año 2009, dicho valor fue extraído del anexo B, (Dominicanoahora, 2012). Al aplicar la fórmula 2.6 obtenemos:

$$pp = 6200(0.21 + 1)^4 = 13,276 \text{ personas en 1 hora pico}$$

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Teniendo la cantidad de personas haremos un análisis en base a la penetración de mercado. En República Dominicana existen dos compañías que dominan el mercado celular. Tomando esto como base, utilizaremos a la compañía “X” que maneja el 50% del mercado celular para segmentar al mercado al cual estará orientado nuestro diseño. Como resultado tenemos que nuestra cantidad de personas en hora pico se reduce a la mitad como se verá a continuación:

$$\text{Penetración de Mercado} = 13,276 * 50\% = 6,638 \text{ personas}$$

2.5.2 - Tráfico de Voz.

Luego de tener la cantidad de personas en base a la penetración de mercado de la compañía “X”, procederemos a buscar la carga que demos tener en cuenta para cubrir el tráfico de voz. Para esto debemos empezar sabiendo cual es la carga por usuario que tendrá la red. Como referencia para este cálculo utilizaremos 20mE como carga por usuario. (Wirdemark, 2004)

. En base a esto tenemos como resultado:

$$\text{Carga Total} = 6,638 * 20\text{mE} = 132.8 \text{ Erlang}$$

Esta carga será distribuida en las 10 secciones de túneles que tiene la primera línea del metro de Santo Domingo. Como resultado obtenemos que:

$$\text{Carga por seccion} = \frac{132.8}{10} = 13.276 \text{ Erlang}$$

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Por otro lado necesitamos saber cuál es la cantidad de canales GSM por sector a ocupación media (del inglés Half Rate) y en ocupación completa (del inglés Full Rate). Para eso utilizaremos la cantidad de subdivisiones de tiempo, (del inglés time slot) y la cantidad de frecuencias por sector. En el caso de las subdivisiones de tiempo, su valor será igual a 8, según el estándar GSM y la cantidad de frecuencias serán 4, según las configuraciones básicas donde una radio base consta de 12 radios (o frecuencias) y 3 sectores, resultando en 4 radios o frecuencias. Esto nos genera como resultado:

$$\text{Canales por sector en OC} = 8 * 4 = 32$$

$$\text{Canales por sector en OM} = 32 * 2 = 64$$

Para saber la cantidad de carga que necesitaremos por sector, nos auxiliaremos de la tabla Erlang B, la misma puede ser encontrada en el Anexo B. Con dicha tabla determinamos la cantidad de Erlangs que usaremos para ocupación completa con un margen de bloqueo de un 2%, obtenemos que 23.73 Erlang será la carga que manejaremos por sector. Mientras para ocupación media serán 53.43 Erlang.

Luego de esto, debemos saber cuál será la cantidad de sectores que necesitaremos para ocupación completa y ocupación media. Para velocidad completa tenemos que:

$$\text{Sectores requeridos para VC} = \frac{132.8}{23.73} = 5.59 \cong 6$$

Mientras que para ocupación media:

$$\text{Sectores requeridos para VM} = \frac{5.59}{2} = 2.48 \cong 3$$

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Por ultimo determinaremos cual será la cantidad de usuarios de voz que estaremos cubriendo por sector, como se aprecia a continuación:

$$\text{Usuarios de voz por tramo en ocupación completa} = \frac{23.73}{0.02 \text{ E}} = 1186.5 \approx 1187 \text{ personas}$$

En cuanto a la ocupación media tenemos que:

$$\text{Usuarios de voz por tramo en ocupación media} = \frac{54.43}{0.02 \text{ E}} = 2721.5 \approx 2722 \text{ personas}$$

2.5.3 - Tráfico de Datos.

En el caso del tráfico de datos, se utilizan los recursos disponibles después de la carga de voz. Pero en nuestros cálculos determinaremos como la mitad de la carga de ocupación completa como la carga de datos, es decir:

$$\text{Carga de datos} = \frac{23.73}{2} = 11.86 \approx 12 \text{ Erlang}$$

Con este valor y la cantidad de canales por sector en velocidad completa podemos determinar la cantidad de espacios de tiempo que tenemos disponible para datos, como podemos ver en el siguiente calculo:

$$\text{Espacios de tiempo para datos} = 32 - 12 = 20$$

Teniendo el valor de los espacios de tiempo, podemos encontrar el rendimiento, (de su traducción en ingles Troughput), en kbps, (de sus siglas en ingles kilobits per second). Para

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

dicho cálculo debemos utilizar la constante de rendimiento por espacio de tiempo que es de 17.6kbps. (Timo Halonen, 2004)

Con esto valores el cálculo queda así:

$$\text{Rendimiento por sector} = 17.6\text{kbps} \times 20 = 352 \text{ kbps}$$

Ahora que ya tenemos el rendimiento por sector pasaremos a determinar qué cantidad de usuarios de datos podemos manejar por sector. Para esto necesitamos un constante de rendimiento por usuario por hora, que es de 15kbps (Timo Halonen, 2004) . Con esto obtenemos la relación entre el rendimiento por sector y el rendimiento por usuario:

$$\text{Relación de R. por sector \& R. por usuario} = \frac{352}{15} = 23.46$$

Para poder determinar cuál será nuestra cantidad de usuario de datos debemos asumir cual será el número de personas que están utilizando datos al mismo tiempo en una hora pico, pero sabiendo que un canal que entrega 20kbps (Timo Halonen, 2004), lo cual es suficiente para 30 usuarios a 20kbps en una hora ya que en datos los usuarios pueden esperar por el canal. En nuestro caso asumiremos que serán 25 personas. Con este dato y la relación de rendimiento por sector y por usuario podemos determinar la cantidad de usuarios de datos por sector, que es igual a:

$$\text{Total de usuarios por sector a 15kbps} = 25 \times 23.46 = 586.66 \approx 587 \text{ usuarios}$$

Como hemos podido ver en nuestros cálculos de capacidad tanto como para voz como para datos, nos damos cuenta que podemos cubrir la cantidad de usuarios en una hora pico en inclusive estamos por encima. Si bien hemos visto que la cantidad de usuarios en todo el trayecto de la primera línea son 13,276 personas, mientras que la cantidad de personas que podemos

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

cubrir por tramo son 2,722 pero al ser 10 tramos de los que vamos a cubrir eso nos da que la cantidad total de personas que podemos cubrir so de 27,220 personas, lo cual está por encima de los 13,276. Esto es sin contar a los usuarios de datos.

CAPÍTULO III

Simulación y Validación.

3.1 - Simulación de diseño.

Una vez completados en el capítulo II, el cálculo de propagación, el cálculo de capacidad y el diseño de tuberías correspondientes a cada tramo de los túneles ubicados en la primera línea del metro de Santo Domingo, procederemos a validar dichos resultados con el programa de simulación WinPro de la empresa AWE Communications, la cual permite estimar intensidad de potencia recibida en cualquier punto de un área de prueba dada y el rango de cobertura sobre la misma.

La cobertura, el rendimiento del procesamiento de los datos, las interferencias y el bloqueo se pueden predecir basándose en las predicciones de las pérdidas de las trayectorias obtenidas con el módulo ProMan. En conjunto con este módulo, esta herramienta se auxilia de otros módulos como es el caso del módulo TuMan, el cual permite diseño de las estructuras de túneles que más adelante son simuladas en el módulo de predicción ProMan.

A lo largo de este capítulo se desarrollara una explicación de las herramientas utilizadas para la simulación de propagación en los túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo, para así validar los cálculos de propagación obtenidos en el capítulo II.

3.1.1 - Familiarización y simulación.

Para realizar las predicciones de cobertura en el interior de los túneles del metro de Santo Domingo, es necesaria la familiarización con cada uno de los módulos que necesitan ser empleados para realizar las simulaciones de propagación. Para ilustrar este proceso se mostrara en detalle el diseño del tramo número 2 de túnel del metro de Santo Domingo, comprendido

dentro de las estaciones Francisco Caamaño y Amín Abel, en el módulo TuMan y posteriormente su simulación en el módulo ProMan, y obtener las predicciones de propagación en dicha estructura. Todos los tramos fueron construidos y simulados, con sus resultados en el anexo C.

3.1.1.1 - Diseño de la estructura física del túnel.

Los túneles tienen una estructura geométrica compleja. La sección transversal de un túnel puede variar a lo largo del perfil curvado, además, un túnel puede ser dividido en múltiples secciones o algunas secciones pueden fusionarse en una sección transversal única.

El conjunto de aplicaciones del programa WinProp, ofrece la herramienta TuMan editor gráfico para generar y modificar los escenarios del túnel. Este permite la definición de diferentes secciones dentro de un túnel.

3.1.1.2 - Procedimiento de diseño.

Para diseñar el túnel del metro de Santo Domingo, comprendido entre las estaciones Francisco Caamaño y Amín Abel, se deben realizar las siguientes operaciones:

1- Una vez ejecutado la herramienta, se accede al menú de edición y se hace click izquierdo en la opción de < track list>, ver figura 3.1.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

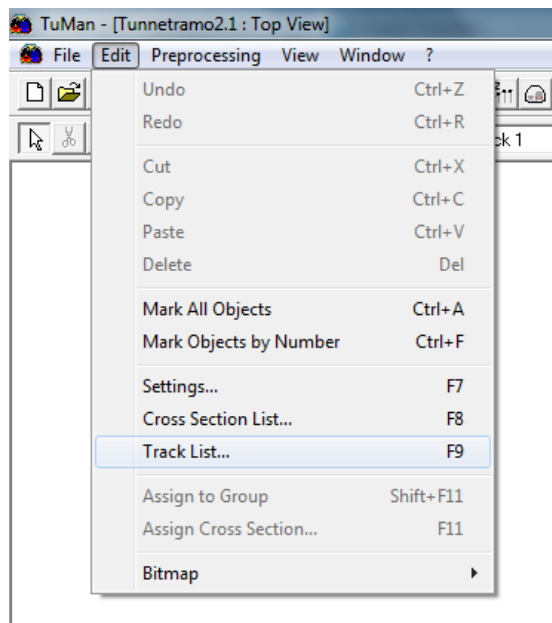


Figura 3.1 Menú de edición herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

2- Esto nos mostrara una ventana en la cual se presentan los tracks que tenemos disponibles, luego procedemos a crear un track nuevo, haciendo click izquierdo en <new>, ver figura 3.2.

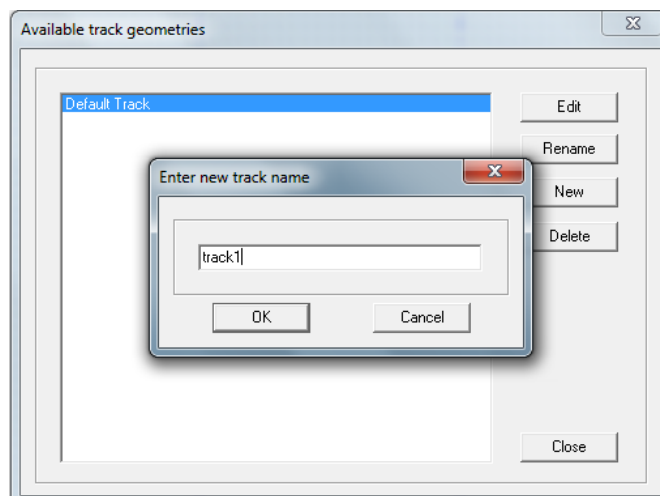


Figura 3.2 Pistas disponibles herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

3- Se selecciona el track que se acaba de crear y se procede a editarlo, para asignarle las características y dimensiones que necesitamos, ver figura 3.3.

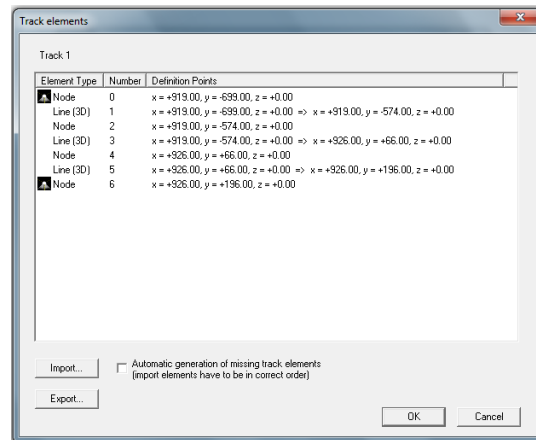


Figura 3.3 Elementos de las pistas herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

4- Luego de configurar el track list, se procede a configurar las secciones transversales del túnel, se accede al menú de edición y se hace click izquierdo en <cross section list>, ver figura 3.4.

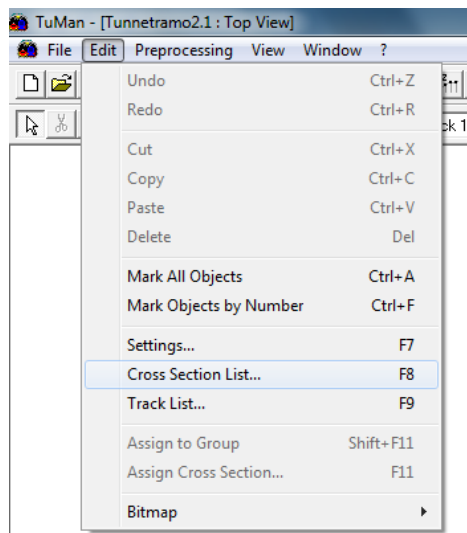


Figura 3.4 Menú de edición herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

5- Esto mostrara una ventana en donde se encuentran las secciones transversales que están disponibles. Se hace click izquierdo en <new> y se procede a crear las secciones transversales que se necesitan, ver figura 3.5.

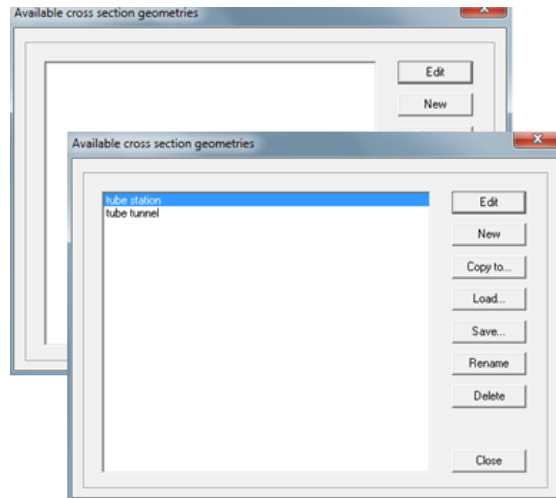


Figura 3.5 Secciones transversales herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

6- Se hace click izquierdo en editar y se procede a dibujar las formas de nuestras secciones transversales, utilizando los comandos de línea, arco y círculo en la barra de herramienta, ver figura 3.6 y 3.7.

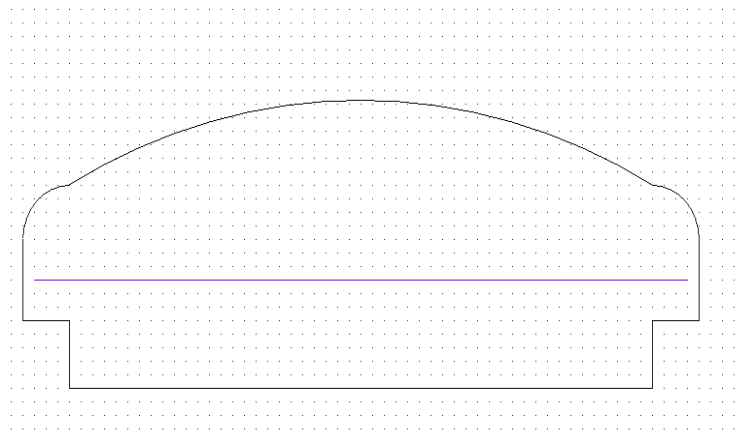


Figura 3.6 Sección de la estación, herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

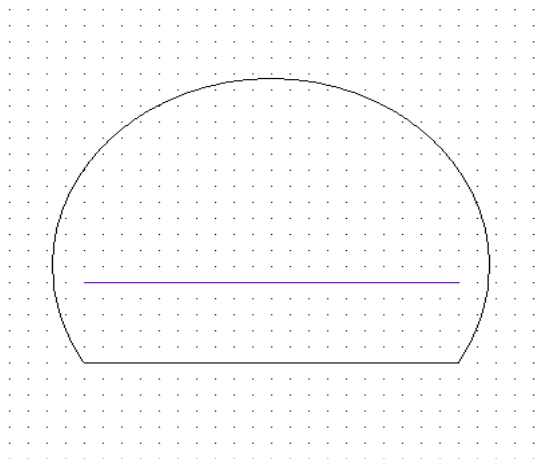


Figura 3.7 Sección transversales del túnel, herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

7- Se utilizan los comandos de portal, nodos, línea, arco y unión, se procede a dibujar la el tramo del túnel, ver figura 3.8.

Portal: Define las entradas del túnel para cada pista.



Nodos: Define las rutas del túnel mediante la colocación de nodos entre los portales.



Líneas y arcos: Permiten la conexión de los nodos.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

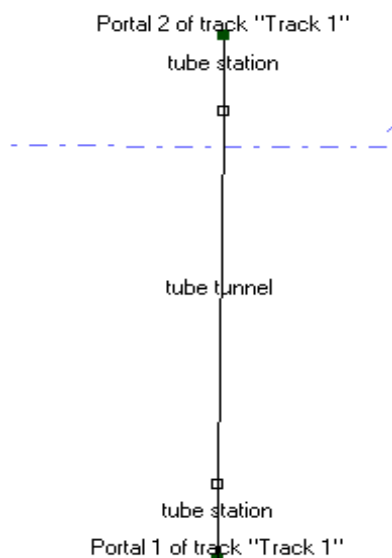


Figura 3.8 Secciones transversal del túnel y la estación, Herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

8- Una vez diseñado el tramo es necesario asignarle la sección correspondiente. Se hace click izquierdo sobre el track a modificar y se selecciona <properties>, ver figura 3.9.

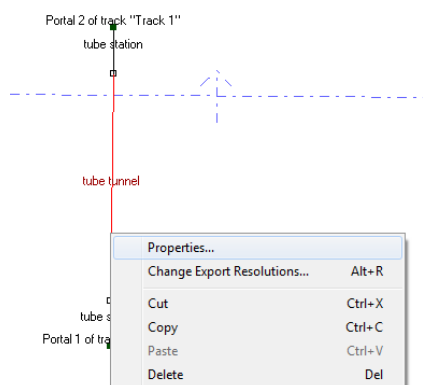


Figura. 3.9 Configuración del tramo, herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

9- Se mostrara una ventana en la cual se puede asignar las propiedades a cada pista del túnel, ver figura 3.10.

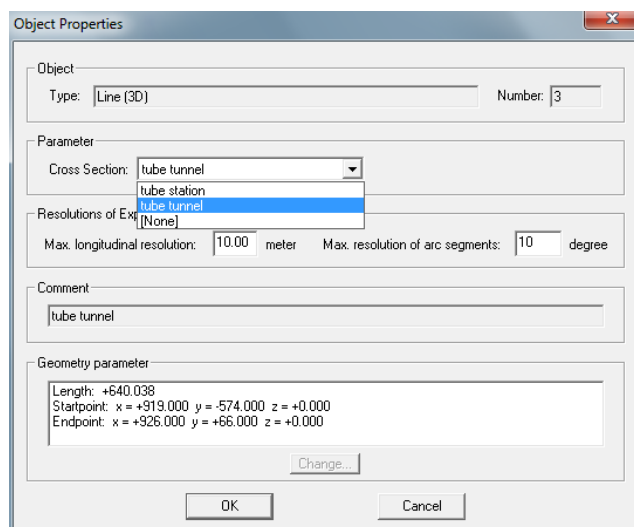


Figura. 3.10 Propiedades del tramo, herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

10- Se hace click izquierdo en el icono de cambio de parámetro, para asignarle el material a la pista del túnel, ver figura 3.11.

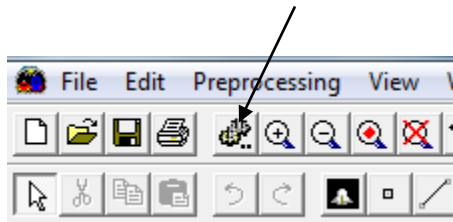


Figura. 3.11 Barra de menú, herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

11- Se presentara una ventana, se hace click derecho <edit material database>, se abrirá una ventana en la cual se verán los materiales que se usando, en dicha ventana se tiene la opción de cambiar y editar los materiales que están disponibles, ver figura 3.12.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

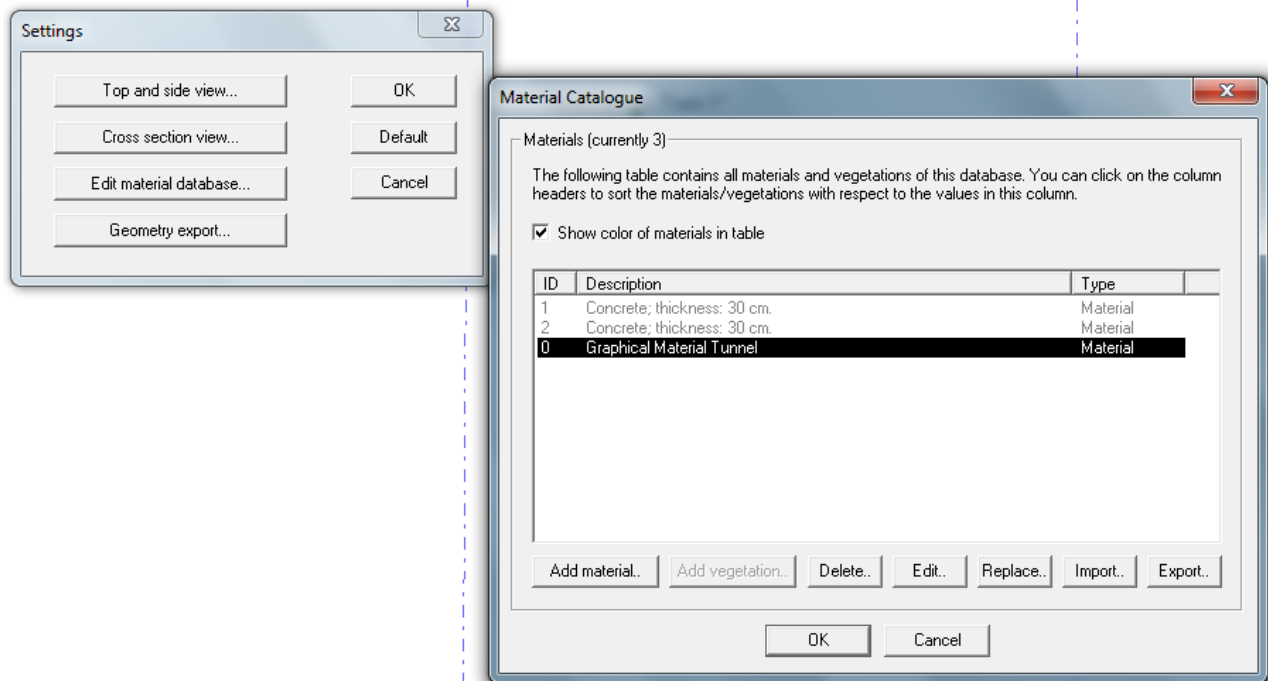


Figura 3.12 Configuración de materiales, herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

12- Una vez editados los materiales de cada pista del tramo del túnel, se procede a verificar la geometría del tramo, hacemos click izquierdo en la opción <preprocessing>, se mostrara una ventana con las informaciones básicas del tramo como es la longitud total, el número de segmentos, completando de esta forma el diseño del tramo del túnel del metro en la herramienta TuMan, ver figura 3.13. Se puede apreciar en las figuras 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, las vistas 3D del tramo 2 del luego de completar el proceso de diseño.

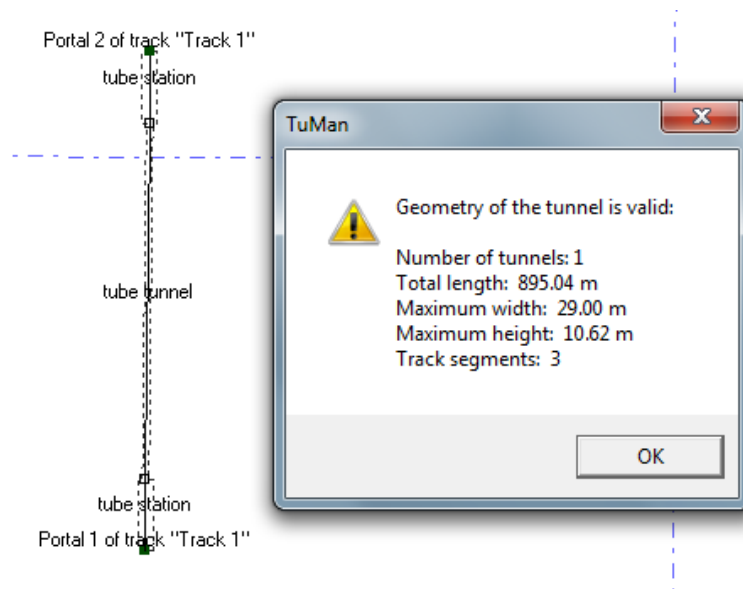


Figura 3.13 Opción de pre-procesado, herramienta TuMan. (Fuente: Autores)

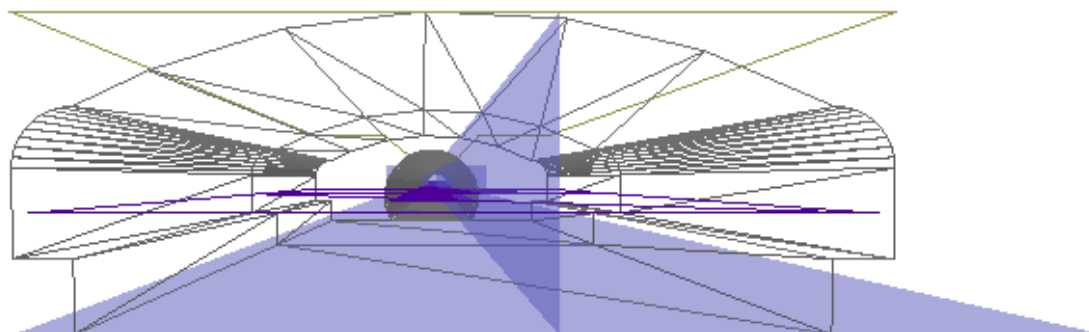


Figura 3.14 Vista interna del Tramo 2 de la primera línea del metro. (Fuente: Autores)

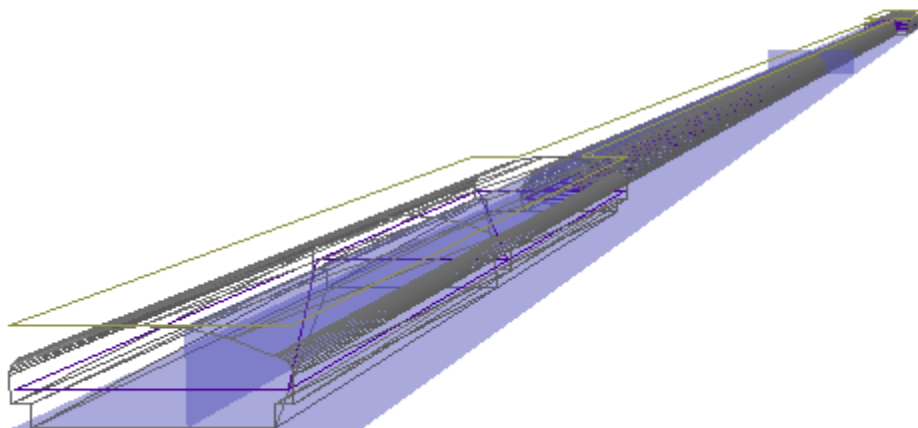


Figura 3.15 Vista completa Tramo 2 de la primera línea del metro. (Fuente: Autores)

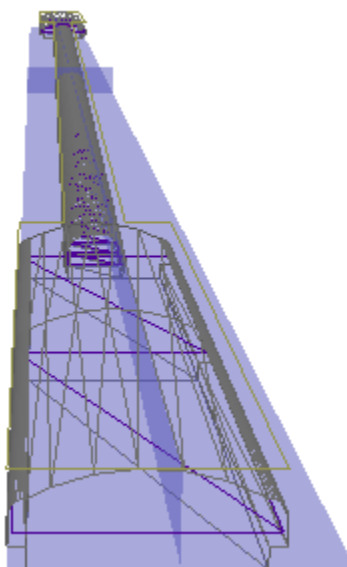


Figura 3.16 Vista panorámica del Tramo 2 de la primera línea del metro. (Fuente: Autores)

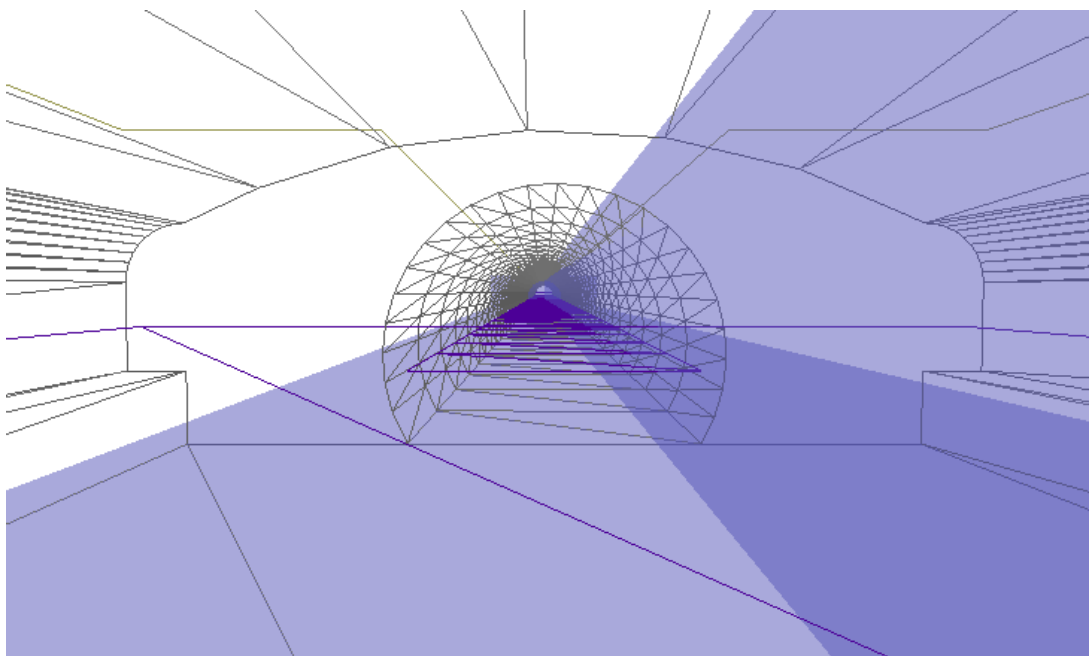


Figura 3.17 Vista interna del inicio de la sección de túnel. (Fuente: Autores)

3.1.2 - Simulación de la propuesta de cobertura.

El proceso de simular el diseño de planteado en el capítulo II, para proveer cobertura en los túneles del metro, requiere de una herramienta diseñada para predecir con precisión la pérdida de trayectoria entre el transmisor y el receptor, para estos fines el programa WinPro Posee un módulo de propagación para los escenarios rurales, urbanos y de interior y túneles, denominada ProMan.

Este permite estimar intensidad de potencia recibida en cualquier punto de un área de prueba dada y el rango de cobertura sobre la misma. Para realizar esta simulación se tomara como

ejemplo el tramo 2 previamente diseñada en la herramienta TuMan, para realizar la simulación del diseño propuesto en el capítulo II. Al igual que el tramo 2, todos los demás tramos fueron simulados y procesados, ver anexo C.

3.1.2.1 - Procedimiento de simulación.

Es importante señalar que durante el proceso de simulación de propagación, este módulo no considera dentro de sus cálculos las pérdidas por densidad de personas y las pérdidas de penetración del vagón del metro, empleadas en los cálculos de propagación realizados en el capítulo 2. Para realizar la simulación del tramo dos es necesario seguir los siguientes pasos.

1- Se ejecuta el módulo ProMan, una vez este abra se hace click derecho en <file> y se selecciona <new Project>, ver figura 3.18.

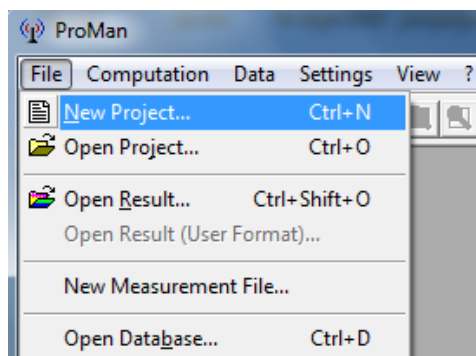


Figura 3.18 Menú de archivos. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

2- Se selecciona <indoor [or campus] escenario>, se hace click izquierdo en <select> para cargar el tramo 2 creado en la herramienta TuMan y luego se hace click izquierdo en <ok>, ver figura 3.19.

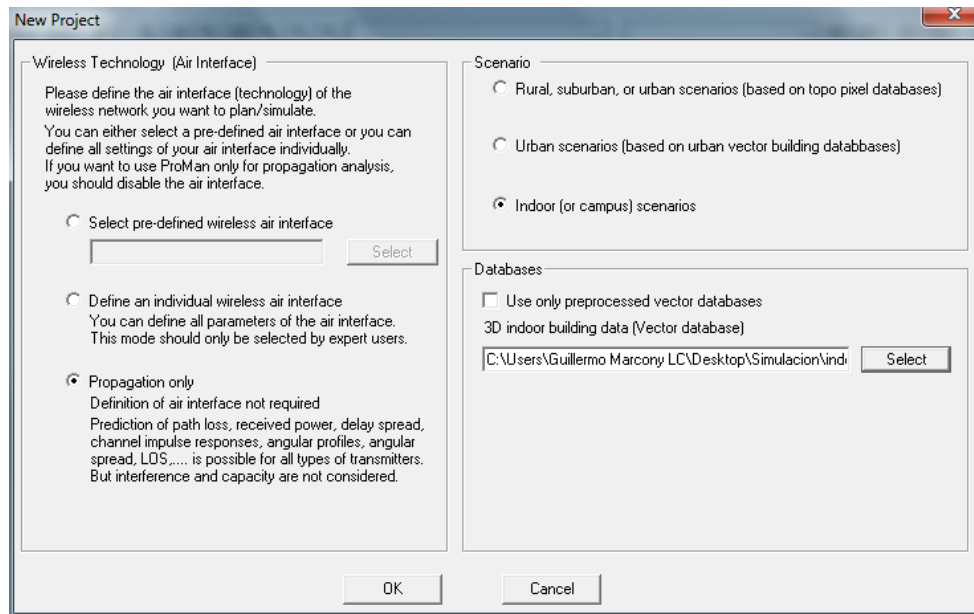


Figura 3.19 Menú de nuevo proyecto. (Fuente: Autores)

3- Se configura la altura, una vez sea configurada se hace click izquierdo en <ok>, ver figura 3.20.

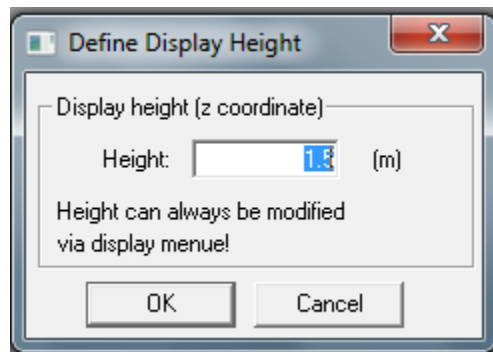


Figura 3.20 Definición de altura. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

5- Se procede a configurar el número de zona correspondiente a Santo Domingo, se hace click izquierdo en <ok>, ver figura 3.21, con esto se completan las configuraciones iniciales y se muestra el tramo de túnel que deseamos simular, ver figura 3.22.

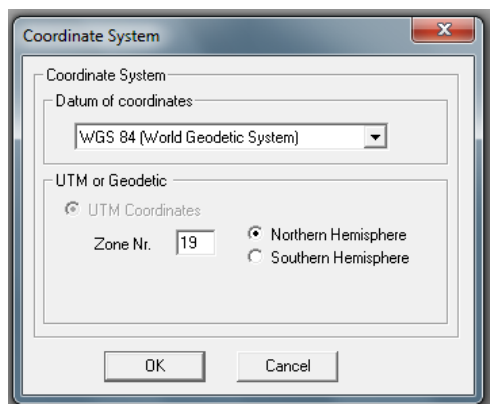


Figura 3.21 Definición del sistema de coordenadas. (Fuente: Autores)

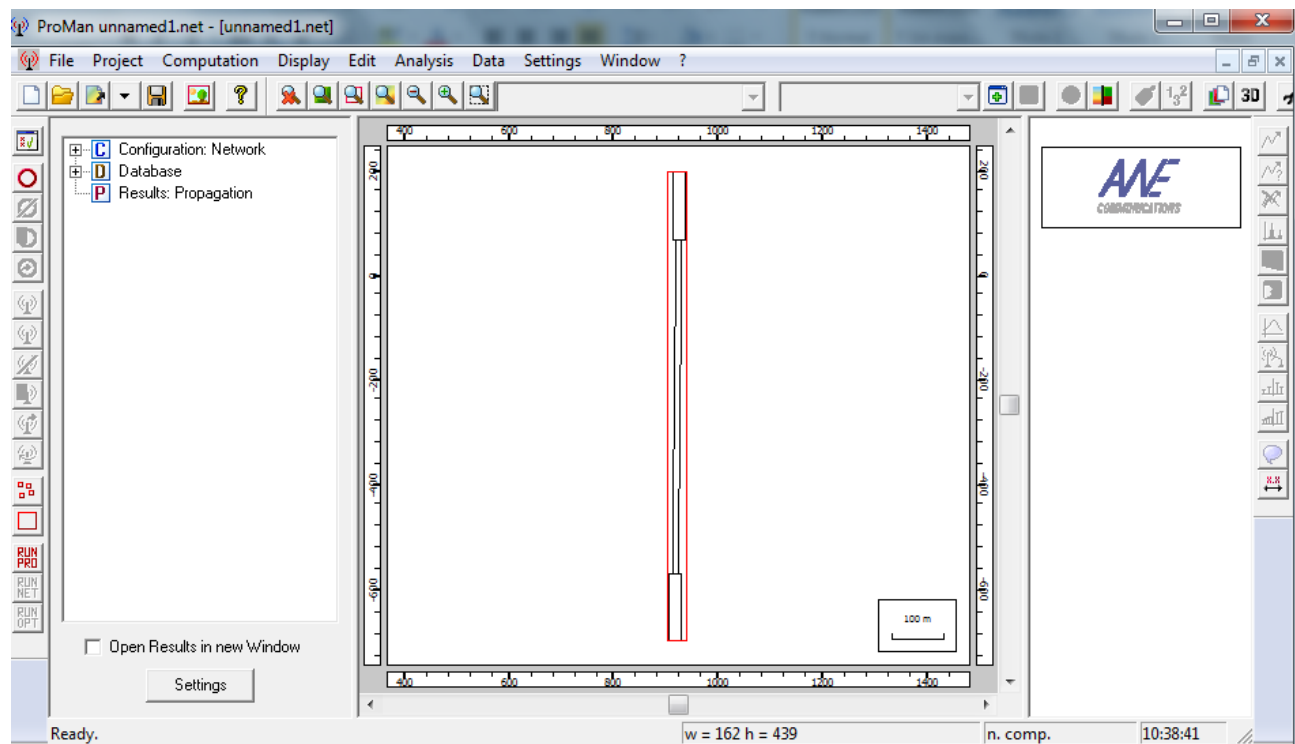


Figura 3.22 Escenario de trabajo. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

4- Se hace click derecho y se selecciona la opción <site> y luego <new site>, ver figura 3.23, luego se selecciona la ubicación del inicio de nuestro cable radiante, luego se selecciona la opción <leaky feeder cable>, ver figura 3.24.

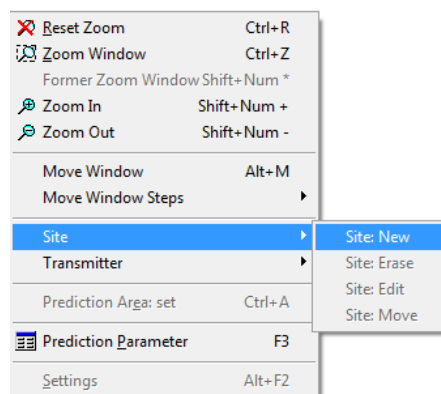


Figura 3.23 Selección de nueva posición. (Fuente: Autores)

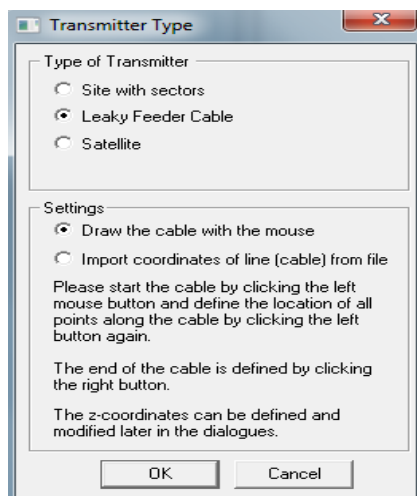


Figura 3.24 Selección del cable radiante. (Fuente: Autores)

5- Se selecciona la ubicación del cable radiante y se dibuja todo el trayecto del túnel, luego se procede a definir el área de predicción, se hace click izquierdo en <Project> y se selecciona <prediction área> y <prediction área [rectangular] draw>, ver figura 3.25.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

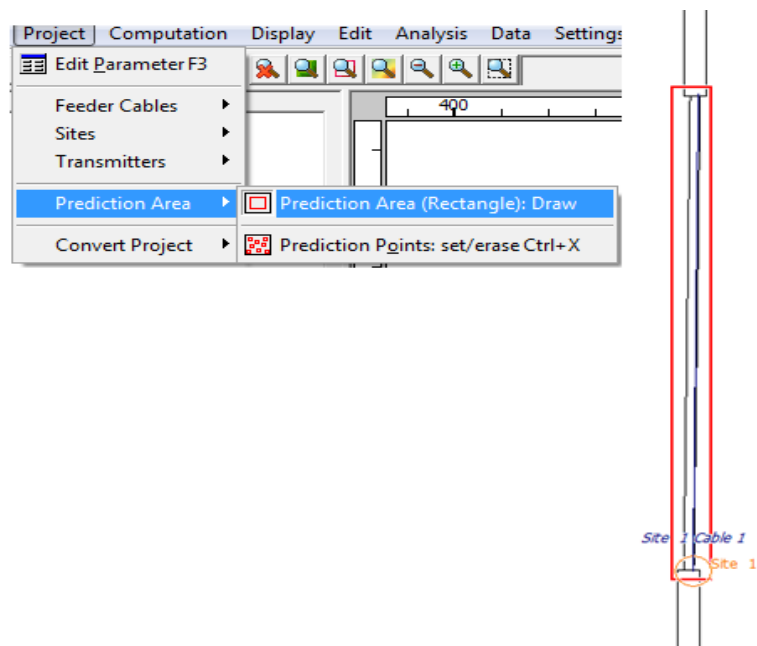


Figura 3.25 Ubicación del cable radiante y la zona de predicción. (Fuente: Autores)

6- Se accede a <projects> y se selecciona <edit parameter>, ver figura 3.26.

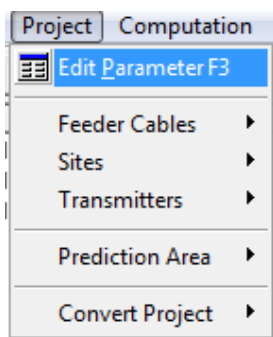


Figura 3.26 Menú de proyectos, herramienta ProMan. (Fuente: Autores)

7- Se mostrara una ventana con las siguientes opciones: <simulation>, <sites>, <propagation>, <database> y <computation>. En esta ventana se realizan las configuraciones que determinaran los resultados de las simulaciones, ver figura 3.27.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

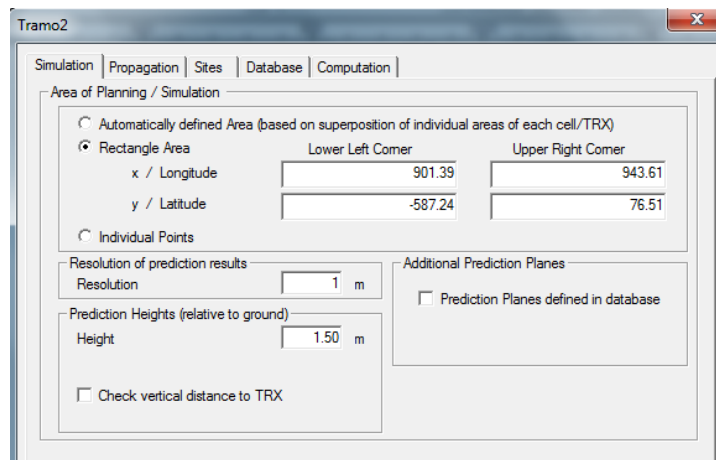


Figura 3.27 Configuración de parámetros. (Fuente: Autores)

8- Se selecciona <sites>, <site 1> y se hace click izquierdo en <edit>, luego se selecciona <sites>, <site 1> y se hace click izquierdo en <edit>, para acceder a la ventana de configuración del site 1, ver figura 3.28.

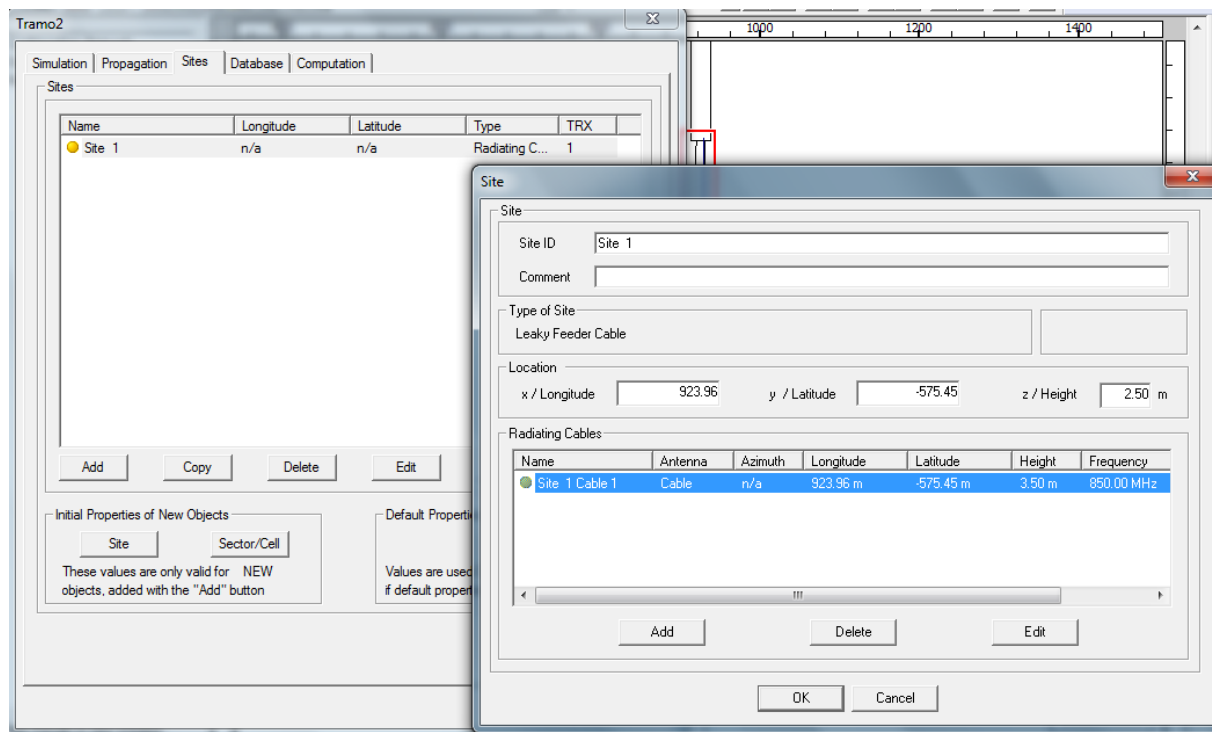


Figura 3.28 Configuración de Sites 1. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

9- Se procede a configurar los parámetros de operación, una vez configurados se hace click izquierdo en <ok>, ver figura 3.29.

Frecuencia: 850MHz

Potencia de transmisión: 12.56 dBm, este valor es la potencia de transmisión determinada en los cálculos del capítulo II, para el tramo 2 del túnel del metro.

Pérdida de cable radiante dB/1km: 26, llevado a dB/100mts equivale a 2.6 (ver especificaciones técnicas del cable radiante Anexo D)

Pérdida de acoplamiento: 64dB (ver especificaciones técnicas del cable radiante Anexo D)

Cell

Number and Name of Cell in Project

Nr 1 Name Site 1 Cable 1

Status of Cell in Project

☒ Enabled (Prediction computed)

☐ Disabled (Prediction not computed)

☒ Include this Cell in Network Optimization

Transmitter Settings

Frequency (used for propagation) 850 MHz

Tx Power 12.56 ☐ W ☒ Output PA ☒ dBm

Prediction Area (Cell)

☒ Default Prediction Area ☐ Individual Area

Settings

Measurements

Polarization

Location of Antenna

x and y coordinates are drawn with mouse on map.

Edit Location

Radiating Cable

Cable loss 2.6 dB/100m

Coupling loss 64 dB

Distance coupling loss 2 m

OK Cancel

Figura 3.29 Parámetros de operación de Site 1. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

10- Se accede a <Computation> y se selecciona <propagation: compute all>, para iniciar el proceso de simulación, ver figura 3.30.

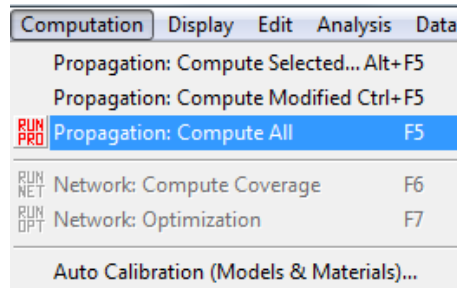


Figura 3.30 Menú de cálculo, herramienta ProMan. (Fuente: Autores)

11- Después que se complete el proceso de simulación se procede a acceder al menú de parámetros ver figura 3.31, para poder visualizar la predicción de cobertura de la simulación, ver figura 3.32.

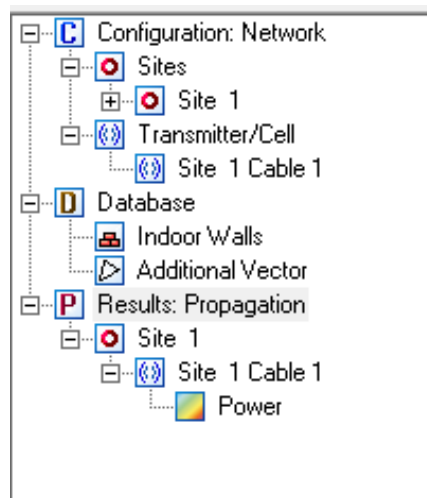


Figura 3.31 Menú de opciones de diseño, herramienta ProMan. (Fuente: Autores)

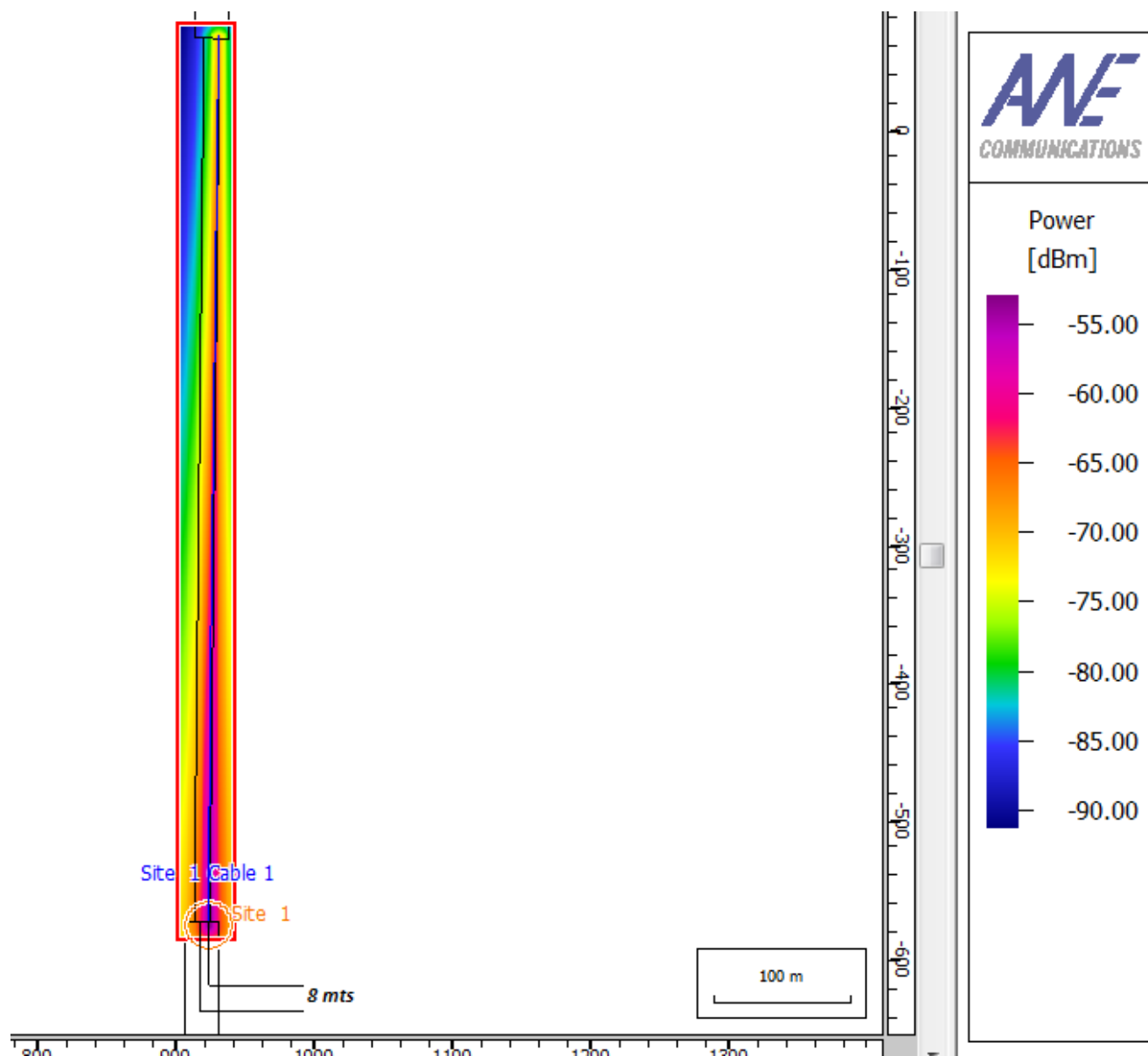


Figura 3.32 Simulación del Tramo 2 del túnel del metro. (Fuente: Autores)

12- Una vez terminada la simulación, se procede a la tabulación de los niveles de cobertura a las diferentes distancias, como se realizó en los cálculos de propagación del capítulo II, esta tabulación se hará cada 5mts. De igual modo se debe tomar en cuenta que entre el usuario y el

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

cable radiante existe una separación de 8mts, distancia a la cual deben de tomar las medidas. Se selecciona <distance> de la barra de herramientas, ver figura 3.33. Se coloca el cursor en un extremo y se desliza hasta la distancia de 8mts, ver figura 3.32.

13- Se utiliza la herramienta <line> que permite realizar una recolección de los niveles de cobertura a lo largo del tramo completo a una separación de 8mts. Se hace click izquierdo al inicio del tramo hasta el final del tramo y se establece la distancia de verificación de los niveles de cobertura y se hace click izquierdo en <ok>, ver figura 3.33.

Es importante señalar que esta herramienta funciona solo en el caso de túneles rectos, en el caso de los túneles curvos no es posible emplear esta herramienta, razón por la cual para los tramos 1 y 3 del túnel del metro, no tendrán una gráfica, sino un archivo de datos (.dat), el cual será recolectado de forma manual siguiendo este procedimiento (ver anexo C).

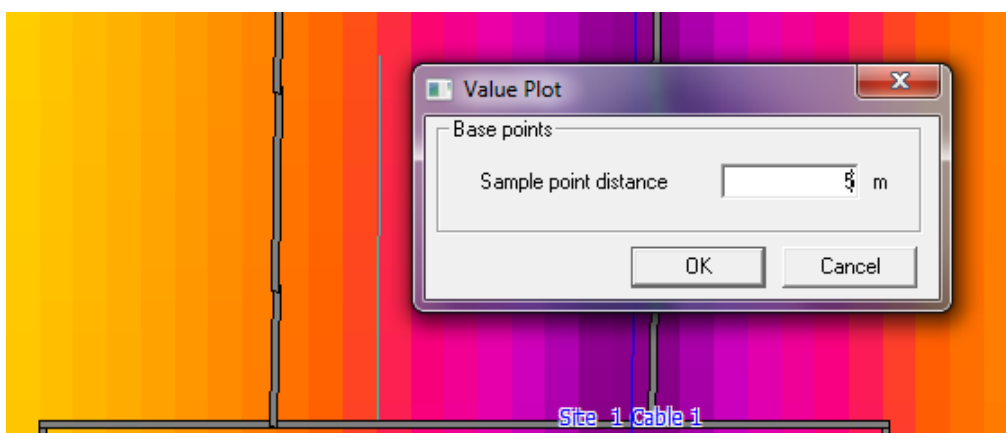


Figura 3.33 Configuración parámetros de grafica de datos de cobertura.(Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

17- Se nos mostrara una gráfica indicando los niveles de cobertura a las diferentes distancias. Sobre esta se hace click derecho y se selecciona guardar valores en formato ASCII, ver figura 3.34.

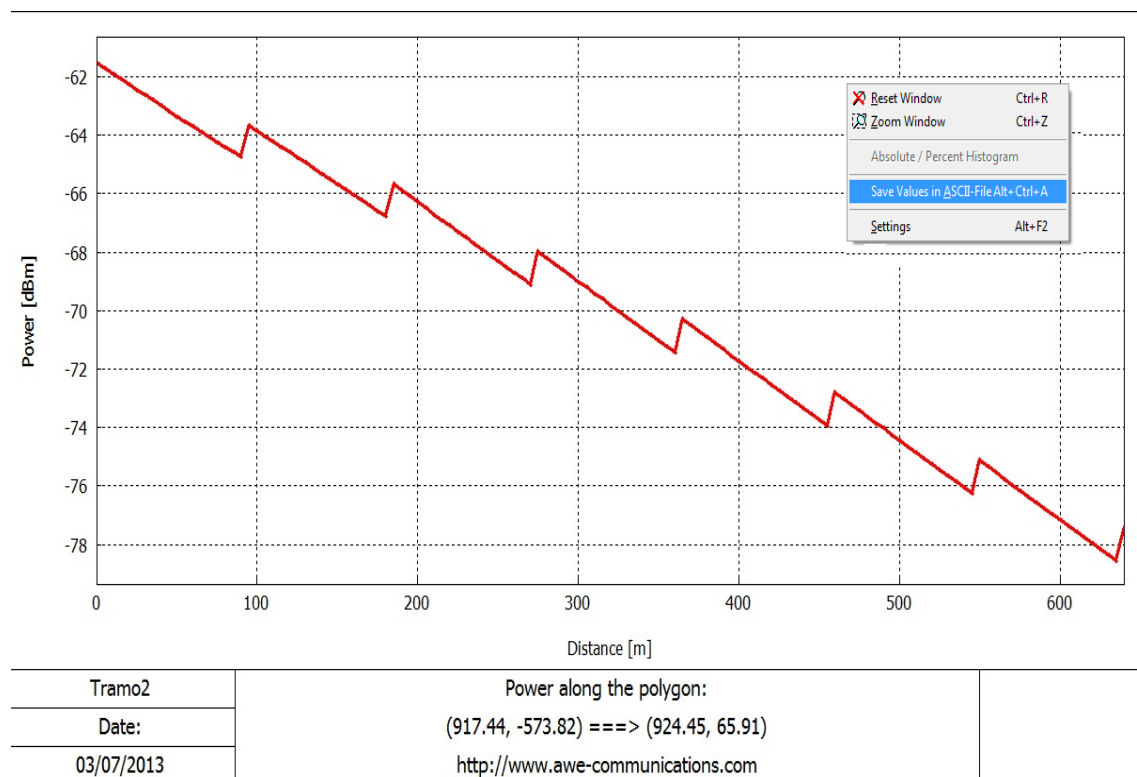


Figura 3.34 Grafica de datos de cobertura tramo 2. (Fuente: Autores)

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Tabla 3.1 Datos de cobertura tramo, obtenidos en la simulación. (Fuente: Autores)

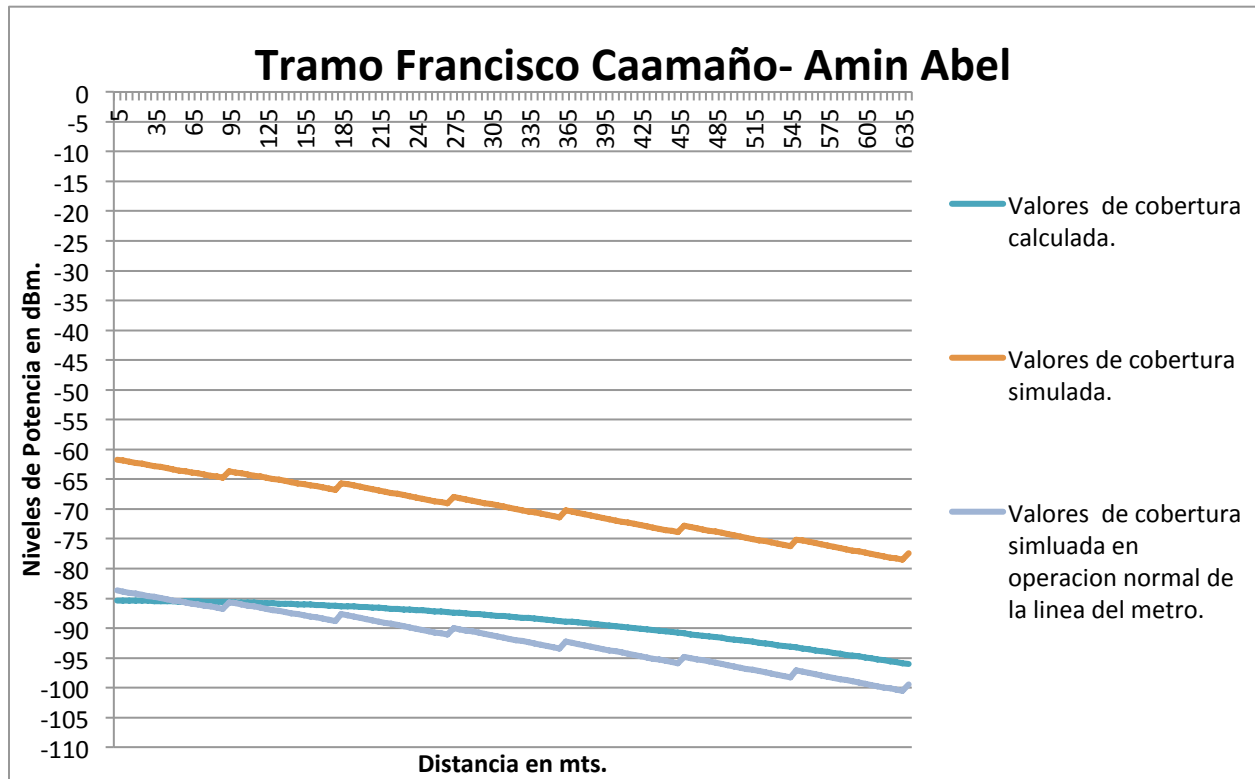
Distancia de medida (m)	Potencia en el receptor (dBm)	Distancia de medida (m)	Potencia en el receptor (dBm)	Distancia de medida (m)	Potencia en el receptor (dBm)	Distancia de medida (m)	Potencia en el receptor (dBm)
5	-61.700	185	-65.660	365	-70.270	545	-76.220
10	-61.880	190	-65.870	370	-70.480	550	-75.120
15	-62.060	195	-66.080	375	-70.690	555	-75.320
20	-62.240	200	-66.270	380	-70.900	560	-75.520
25	-62.430	205	-66.480	385	-71.090	565	-75.730
30	-62.610	210	-66.690	390	-71.300	570	-75.930
35	-62.770	215	-66.890	395	-71.510	575	-76.140
40	-62.960	220	-67.080	400	-71.710	580	-76.330
45	-63.140	225	-67.290	405	-71.910	585	-76.540
50	-63.340	230	-67.480	410	-72.110	590	-76.730
55	-63.520	235	-67.690	415	-72.300	595	-76.940
60	-63.680	240	-67.890	420	-72.510	600	-77.140
65	-63.860	245	-68.080	425	-72.710	605	-77.330
70	-64.040	250	-68.290	430	-72.910	610	-77.540
75	-64.220	255	-68.480	435	-73.110	615	-77.730
80	-64.390	260	-68.690	440	-73.300	620	-77.940
85	-64.570	265	-68.870	445	-73.510	625	-78.140
90	-64.730	270	-69.080	450	-73.710	630	-78.330
95	-63.660	275	-67.980	455	-73.900	635	-78.540
100	-63.840	280	-68.180	460	-72.800	640	-77.430
105	-64.020	285	-68.390	465	-73.000		
110	-64.210	290	-68.580	470	-73.210		
115	-64.390	295	-68.790	475	-73.410		
120	-64.570	300	-69.000	480	-73.620		
125	-64.750	305	-69.190	485	-73.820		
130	-64.930	310	-69.400	490	-74.010		
135	-65.110	315	-69.590	495	-74.220		
140	-65.290	320	-69.800	500	-74.430		
145	-65.470	325	-70.000	505	-74.620		
150	-65.660	330	-70.190	510	-74.830		
155	-65.830	335	-70.400	515	-75.020		
160	-66.010	340	-70.590	520	-75.230		
165	-66.190	345	-70.800	525	-75.430		
170	-66.370	350	-71.000	530	-75.620		
175	-66.570	355	-71.190	535	-75.820		
180	-66.760	360	-71.390	540	-76.010		

Siguiendo estos procedimientos se puede realizar la simulación y la obtención de datos de cobertura para las estaciones y túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo (ver Anexo C).

3.1.2.2 - Validación de resultados.

Para llevar a cabo la validación de los resultados obtenidos con la herramienta ProMan, se hizo la comparación de las medidas obtenidas en los cálculos de propagación del capítulo II, con los datos de propagación obtenidos durante la simulación con esta herramienta. Para esta validación fueron tomadas 188 muestras equivalentes a las lecturas de propagación distribuidas cada 5 m en toda la longitud de los 640mts de túnel.

Cabe destacar que debido a que la herramienta de simulación ProMan no asume las pérdidas por densidad de personas y por penetración de vagón equivalente a 22dB, se le sumo dicha pérdida a los resultados de simulación para su posterior comparación con los datos calculados, procediendo de esa manera a establecer la diferencia entre una y otra, lo cual se muestra en la gráfica siguiente.



Gráfica 3.1 Comparación de los resultados de cobertura del tramo 2 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados. (Fuente: Autores)

Basándonos en las diferencias en los niveles de cobertura presentados en los cálculos de propagación y los datos obtenidos mediante la simulación, podemos establecer que el margen de error de nuestro diseño es de 1.89%, sobre el valor calculado, manteniéndose así dentro de los niveles establecidos para coberturas de interiores subterráneas establecidas entre los -95 dBm a los -105 dBm. (Tolstrup, 2008)

Conclusión

Por medio del siguiente diseño se fundamentaron las bases de cómo se puede llevar cobertura de la red celular a los túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo. El cual partió en base a que en las estaciones donde hay cobertura celular proveniente de la red macro mientras que en los túneles la cobertura era nula. Es por esto que se planteó hacer utilizar un sistema distribuido de antenas en donde se utilizaron cables como medio de propagación de señal en los túneles.

Como quedo evidenciado a lo largo de los capítulos 2 y 3, la situación de incomunicación que se presenta en la actualidad a lo largo de los túneles de la primera línea del metro de Santo Domingo, puede ser corregida con un diseño de una red utilizando un sistema distribuidos de antenas. Con la utilización de este sistema en nuestro diseño nos permitió mejorar la situación actual. Por ejemplo, en actualidad tenemos que en los túneles tenemos niveles de señal entre los -110 a -115 dBm, lo cual no nos permite realizar una llamada telefónica cuando estamos viajando de una estación a otra. Mientras que con nuestro diseño esto valores mejoran, colocándose entre los -85 a -98 dBm

Mientras que en el capítulo 3, los datos obtenidos reflejan una ligera diferencia en relación a los datos obtenidos en los cálculos del capítulo 2, de apenas 2 dB, entre los valores que obtuvimos con los cálculos en relación al nivel de señal que conseguimos con la simulación. Lo cual significa que nuestro diseño cumple lo que se planteó en los objetivos de nuestra tesis.

Recomendaciones

El despliegue de un sistema distribuido de antenas en los túneles de la primera línea del metro Santo Domingo es una solución que busca la solución de un problema actual en esa vía de transporte pero se desconoce qué tan factible en el tiempo pueda ser. En consecuencia, se recomienda realizar un estudio de factibilidad económica al diseño presentado en esta tesis, con el fin de demostrar si el mismo es factible o no.

El diseño que fue presentado en esta tesis utilizó la estación Juna Pablo Duarte como la ubicación de su unidad principal, esto debido a que esta es la única estación que se interconecta con la segunda línea del metro de Santo Domingo. En base a lo planteado recomendamos hacer un diseño de sistema distribuido de antenas para la segunda línea del metro de Santo Domingo luego de que esta sea abierta al público, tomando como base nuestro diseño, con el fin de demostrar de que este es escalable.

Por otro lado se recomienda tomar en cuenta nuevas tecnologías tales como LTE, con la finalidad de demostrar si el diseño puede ser compatible con estas o no.

Referencias Bibliográficas

1. Ke-LinDu. (2010). Wireless Communication Systems From RF Subsystems to 4G Enabling. New York: Cambridge University Press.
2. Awe-communications. (n.d.). Retrieved Febrero 06, 2013, from <http://www.awecommunications.com/Demo.htm>
3. Aznar, A. C. (2002). Antennas.
4. Balselles, J. R. (2010, Abril). Diseño de una Infraestructura para dar cobertura de Telefonía Movil 2G y 3G en el interior de una línea de metro.
5. Camargo, J. L. (2009). Modelo de cobertura para redes inalámbricas de interiores. Sevilla: Universidad de Sevilla.
6. Dominicanohora. (2012, Febrero 3). El Metro de Santo Domingo transporta un promedio de 6,200 usuarios por hora .
7. OPRET. (2004 -2012). Rendición de Memorias y Cuentas.
8. PSWN PROGRAM. (2002). In Building In Tunnel User Consideration.
9. Rappaport, T. (2002). Wireless Communications Principles and Practice . Prentice Hall.
10. Sauter, M. (2011). From GSM to LTE : An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband. Germany: John Wiley & Sons.
11. Seybold, J. S. (2005). Introduction to RF Propagation. John Wiley & Sons.

12. Sizun, H. (2005). Radio Wave Propagation for Telecommunication Applications. Francia: Springer.
13. Swamy, K.-L. D. (2010). Wireless Communication Systems From RF Subsystems to 4G Enabling. New York: Cambridge University Press.
14. Timo Halonen, J. R. (2004). GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS. John Wiley & Sons.
15. Tolstrup, M. (2008). Indoor Radio Planning A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS, and HSPA. John Wiley & Sons Ltd.
16. Tomasi, W. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. México: Person Educación.
17. Wirdemark, P. (2004). Coverage Requirements for UMTS.
18. Dirección de ingeniería, m. e. (2007). *Proyecto de sistema de radiotelefonía trunking digital Tetra en la línea 6 y centro de conmutación*. Madrid, España.

Anexos

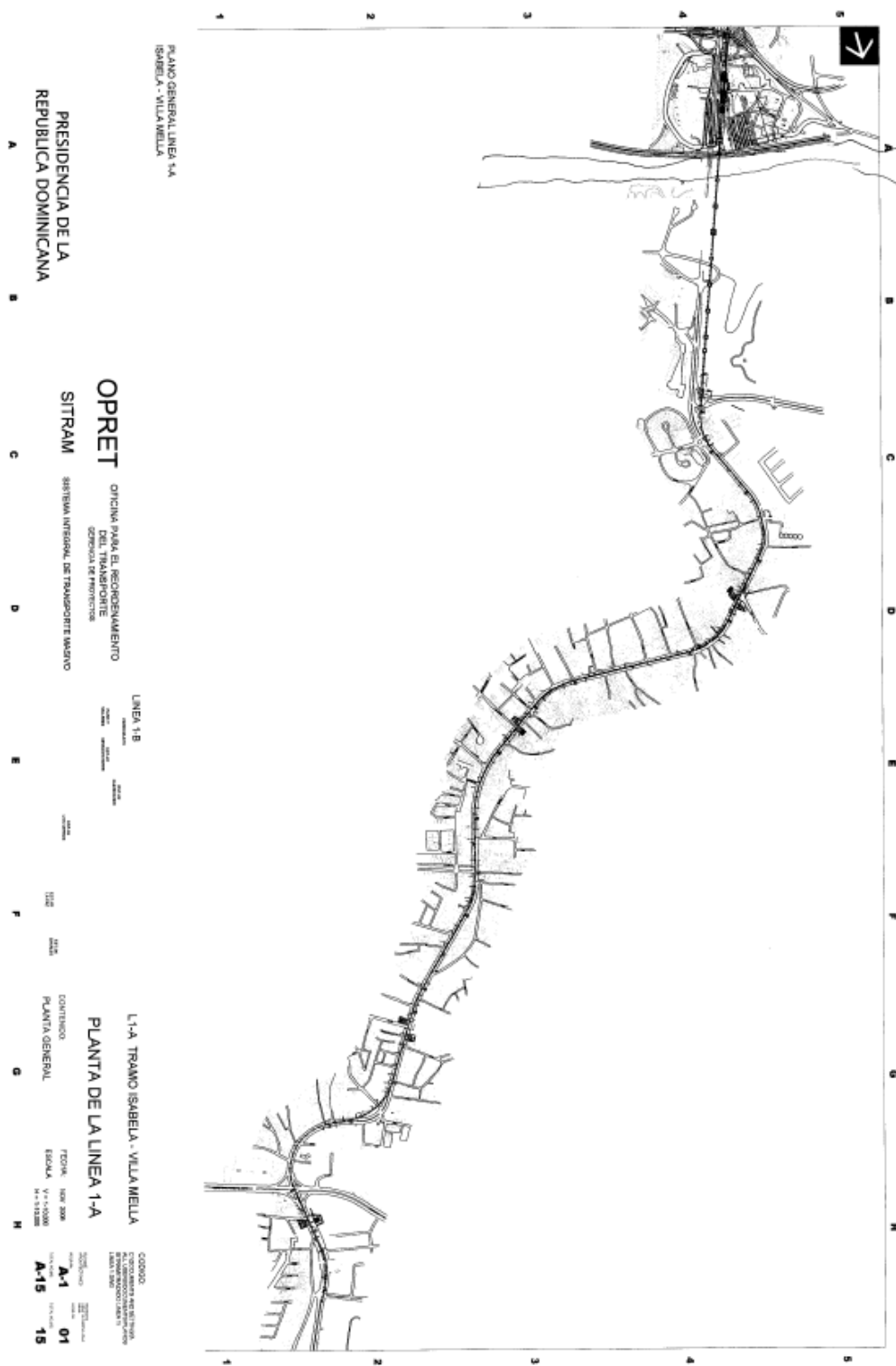
Anexo A

Vista en Planta de la primera Linea del Metro de Santo Domingo.



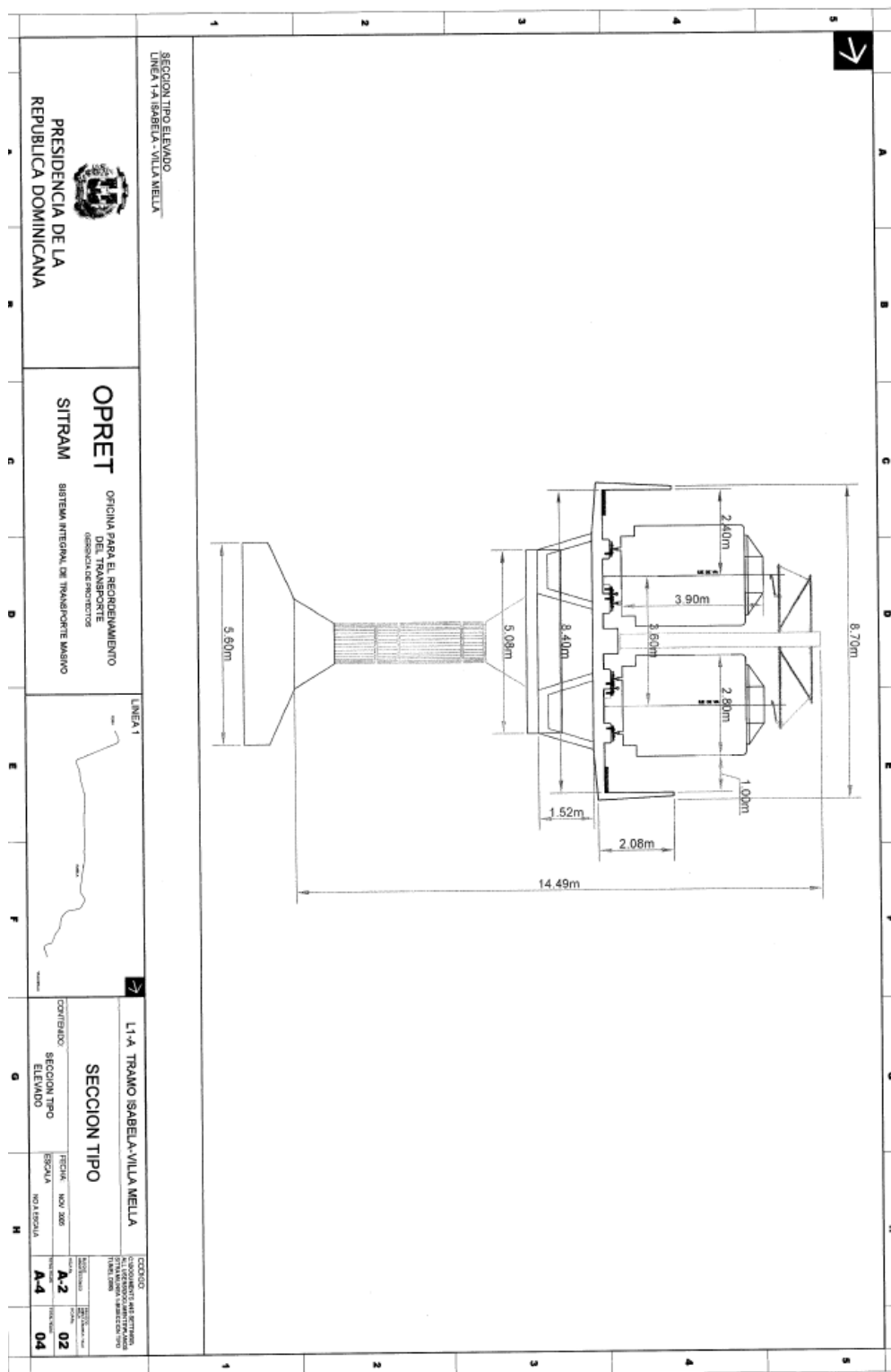
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista en Planta de la primera Línea del Metro de Santo Domingo.



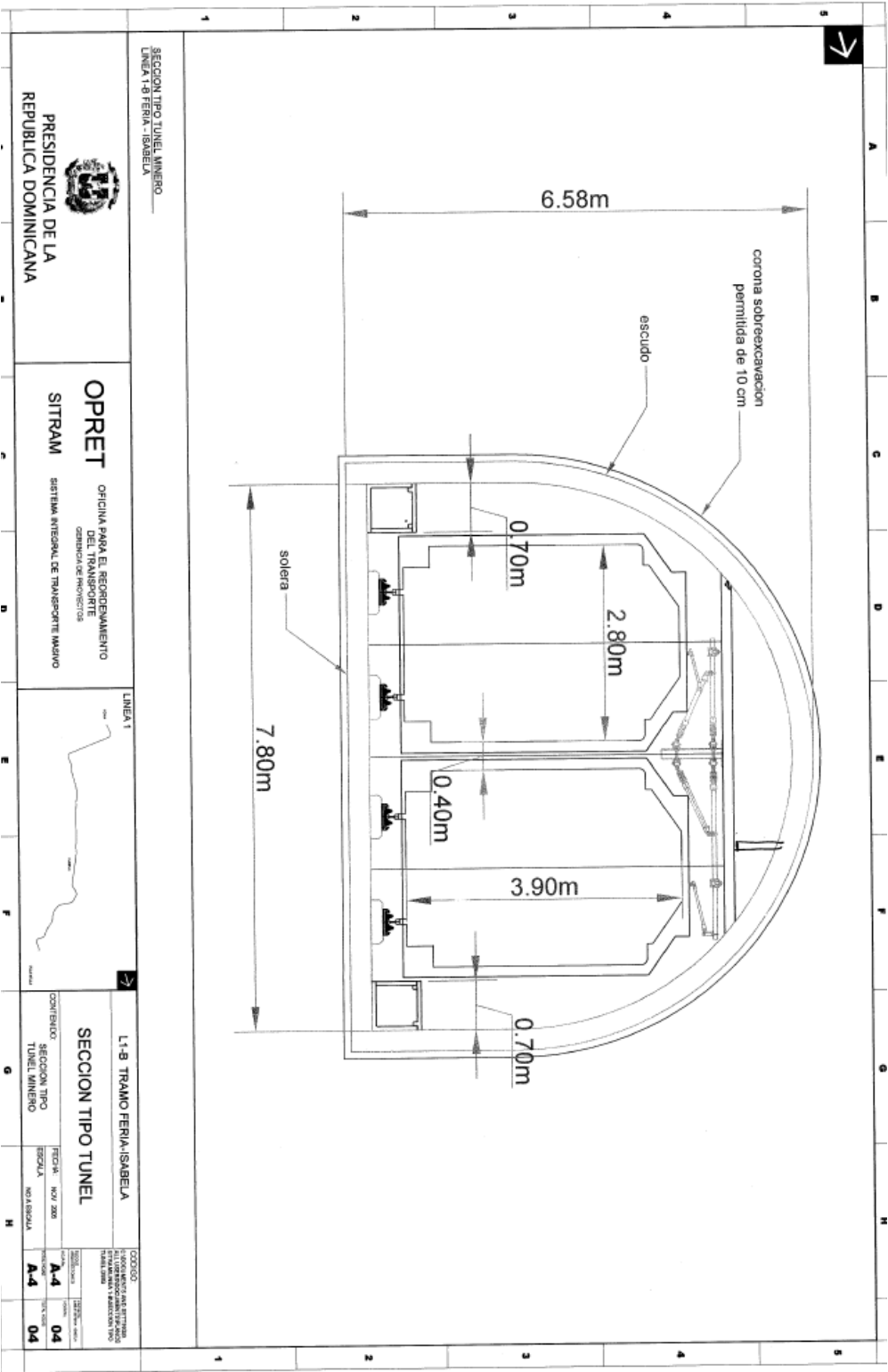
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Seccion elevada de la primera linea del metro de Santo Domingo.



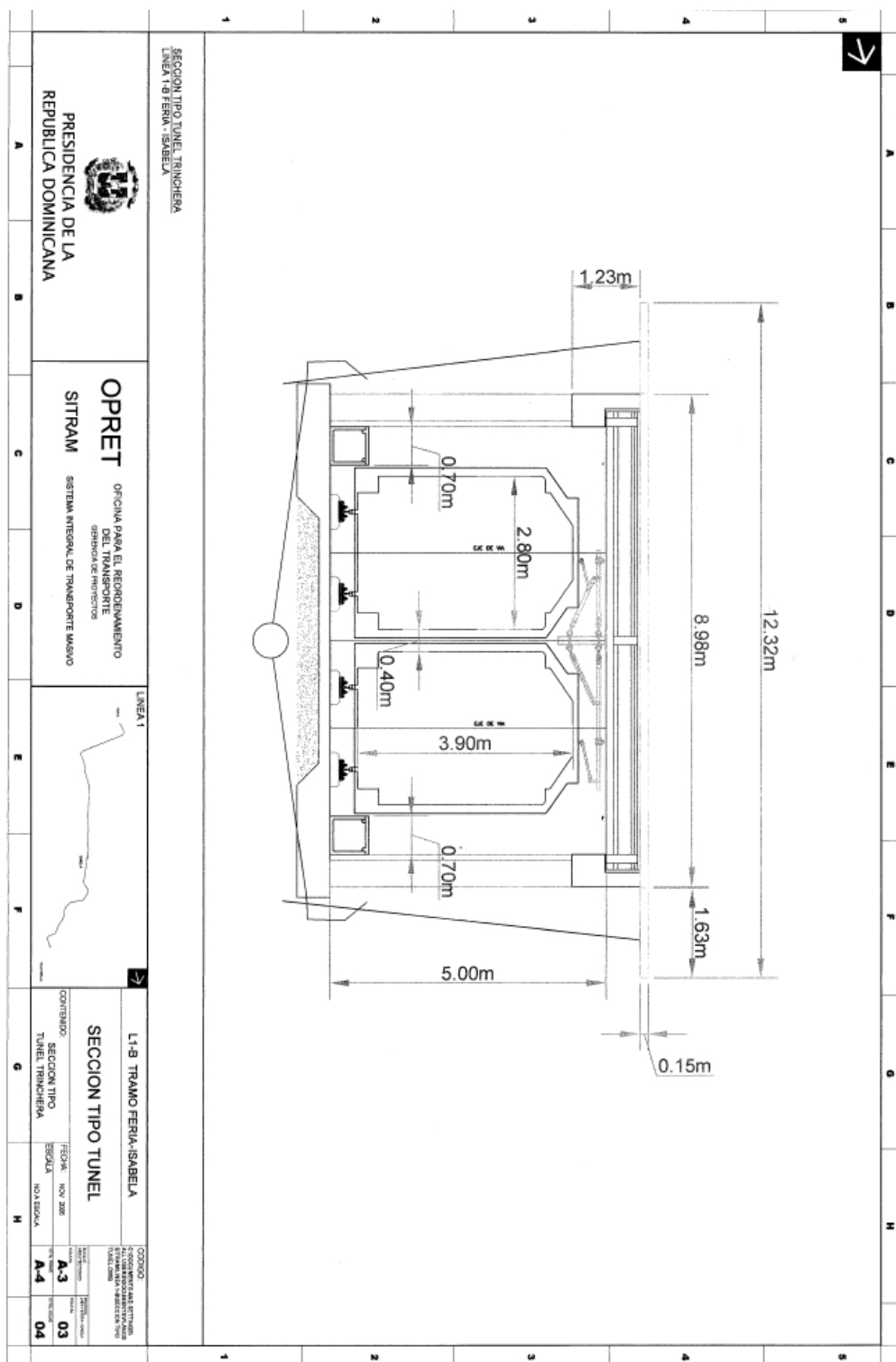
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Seccion tunnel minero.



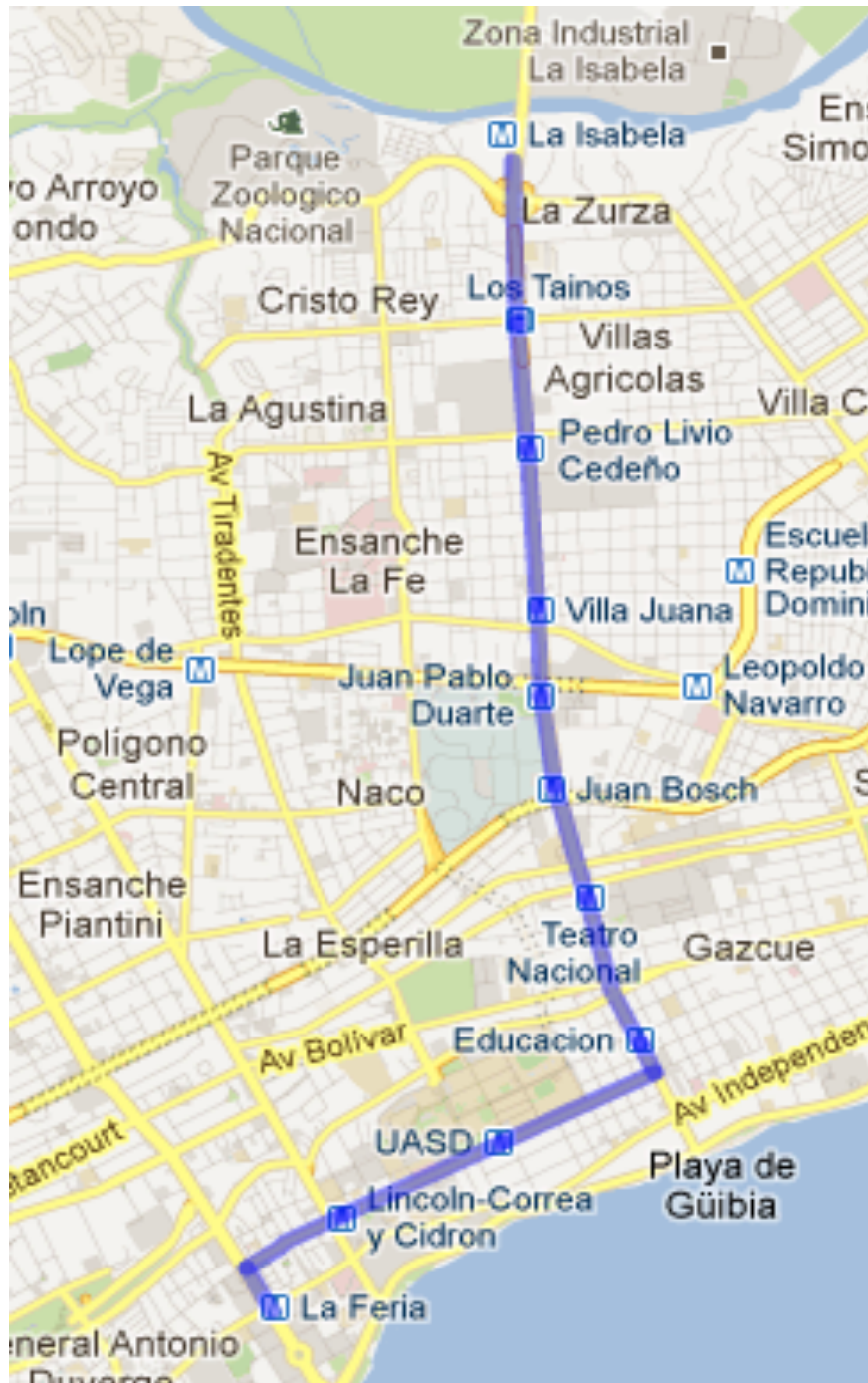
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Seccion tunel trinchera.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Trazado de la ruta de la Primera Línea del Metro de Santo Domingo.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



UNAPEC
UNIVERSIDAD APEC

2111. -
26 de Noviembre de 2012

Lic. Roberto Rodríguez Estrella
Presidente

Ing. Antonio César Alma Iglesias
Vicepresidente

Ing. Lorraine Cruz
Tesorera

Dra. Cristina Aguilar
Secretaria

Lic. Álvaro Sousa Sevilla
Miembro

Dr. Fernando Ferrán
Miembro

Lic. Peter Croes
Miembro

Lic. Isabel Morillo
Miembro

Lic. Alejandro Fernández W.
Miembro

Lic. José De Moya Cuesta
Miembro

Lic. Norma Rivera de Vargas
Presidente de APEC

Ing. Francisco Hernández
Pasado Presidente

Dr. Franklyn Holguín Haché
Delegado Permanente del Consejo
APEC de Pasados Presidentes

Dr. Radhamés Mejía
Rector

Señores
Oficina para el Reordenamiento del Transporte
OPRET
Asunto: Solicitud Planos del Metro de Santo Domingo

Atención: Ing. Ramon Leonel Carrasco
Oficina Acceso a la Información

Distinguido Señores:

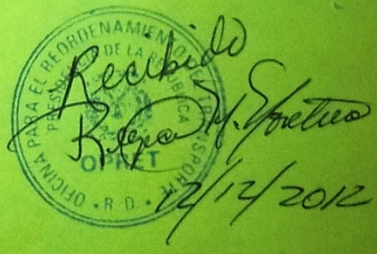
Nos permitimos presentarles al estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica Mención Comunicaciones de esta Universidad Guillermo Marcony Lorenzo Cruz, Mat. 2007-0016, el cual solicita copia de los planos del Metro Santo Domingo, para realizar su propuesta de proyecto de trabajo de grado titulado "Diseño de una Red Inalámbrica para proveer Voz y Data en la Primera Línea del Metro de Santo Domingo", acorde a las reglamentaciones establecidas.

Agradeciendo su atención, le saluda.

Teléfono: 809-686-0021
Fax: 809-287-8702
Av. Máximo Gómez # 72
www.unapec.edu.do
Apartado postal 2867
Santo Domingo, R.D.
RNC 401-005107


Ing. *Norma Rivera*
Director Escuela de Ingeniería
Universidad APEC

P.R.





Abriendo caminos, logrando metas



ACBSP
CANDIDATE FOR
ACCREDITATION

Anexo B

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Dominicanoahora.com

[PORTADA](#) [NACIONALES](#) [INTERNACIONALES](#) [POLÍTICA](#) [ECONOMÍA](#) [DEPORTES](#) [ENT](#)

UD. ESTÁ AQUÍ: [NACIONALES](#) > [DISTRITO NACIONAL](#) > [EL METRO DE SANTO DOMINGO TRANSPOR](#)
[USUARIOS POR HORA](#)

El Metro de Santo Domingo transporta un promedio de 6,200 usuarios por hora

VIERNES, 03 DE FEBRERO DE 2012 08:15 DOMINICANOAHORA

Cuando entre en funcionamiento la segunda línea del Metro de Santo Domingo, los dominicanos comenzarán a beneficiarse de los múltiples servicios que ofrece ese moderno sistema de transporte masivo de pasajeros.

Así lo afirmó el director de la Oficina para el Reordenamiento del Transporte (OPRET), ingeniero Diandino Peña, en el marco de un encuentro que realizó este jueves con representantes de los medios de comunicación, invitados especiales y empleados de la institución, a los que presentó los diferentes elementos y accesorios que conforman la estación de transferencia de las líneas 1 y 2 del Metro, la cual está ubicada en la intersección de las avenidas John F. Kennedy y Máximo Gómez.

Peña dijo que las modernas instalaciones de la segunda línea del Metro, por las que el presidente Leonel Fernández hará un recorrido de prueba el 27 de este mes, permitirán a los usuarios movilizarse de Este a Oeste y de Sur a Norte, con el costo de un solo pasaje.



PREV 1 of 2 PRÓXIMO

El encuentro de este jueves fue organizado con la finalidad de permitir el acceso del público a la segunda línea del Metro, en procura de que los presentes y futuros usuarios logren dominar sin ninguna dificultad el ejercicio de transbordo, y así generar una efectiva agilización del movimiento de pasajeros, sin que se ocasionen inconvenientes.

El director de la OPRET explicó que el evento se enmarca en los actos organizados por la institución que dirige para conmemorar el tercer año de explotación comercial ininterrumpida de la línea uno del Metro, la cual fue abierta al público en febrero del 2008, con un recorrido encabezado por el Presidente Fernández.

Durante su intervención, el ingeniero Peña también destacó que en sus tres años de operaciones, la flotilla de trenes del Metro ha transportado 68 millones de pasajeros, generando a favor de los usuarios un ahorro equivalente a 4,500 millones de pesos.

"Así también se concluyó con una economía por reducción promedio en el costo del pasaje de 16 pesos, ascendentes a 1,087 millones de pesos", destacó el funcionario.

Peña indicó que una tercera variable de ahorros consistió en que el promedio por hora de pasajero transportado ascendió a 6,200 usuarios, para lo que se hubiera necesitado, en ausencia del Metro, la cantidad de 899 carros de concho o 24 minibuses, con un consumo durante los tres años ascendente a 1, 644 millones de pesos.

Asimismo, señaló que el componente medioambiental, como un importante aporte en términos de reducción de monóxido de carbono, significó un estimado de 75 millones de pesos en ahorro.

De igual manera, el director de la OPRET hizo énfasis en que el Metro ha contribuido a que la población capitalina comience a rescatar sus hábitos de convivencia, manteniendo el respeto de las reglas, lo mismo que la preservación de la higiene, además de mantener un comportamiento ejemplar y digno de ser emulado por otras ciudades.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Tabla comparativa de los valores recolectados con las herramientas de captura de datos.

Comparativo de herramientas de captura de datos.						
ID	CELL ID	MCC	MNC	LAC	RSSI (RF Signal Pro)	RSSI (Qualipoc Swiss Quality)
1	14793	370	2	462	-81	-83.1
2	14793	370	2	462	-81	-85.2
3	14793	370	2	462	-83	-85.6
4	14803	370	2	462	-81	-83.1
5	14809	370	2	462	-81	-83.8
6	14809	370	2	462	-79	-78
7	14809	370	2	462	-77	-81.5
8	14809	370	2	462	-77	-78.6
9	14809	370	2	462	-75	-76.7
10	14809	370	2	462	-75	-78
11	14809	370	2	462	-77	-76.7
12	14809	370	2	462	-77	-78.6
13	14809	370	2	462	-77	-76.7

Proceso para guardar la captura de datos con la herramienta RF Signal Tracker.

El procedimiento es el siguiente:

1 – Luego de que se han capturado una cantidad significativa de lecturas de señal, procederemos a guardar dichas lecturas. Para este fin haremos una serie de pasos. Primero volveremos a pulsar el botón de RF para detener las lecturas. Luego pulsaremos el icono DB en la parte superior izquierda para acceder al menú de datos del programa, tal como se puede ver en la figura B.1.



Figura B.1 Menú de Datos de RFSignal Tracker. (Fuente: Autores).

2 - Luego de que estamos en el menú de datos procederemos a guardar los datos recolectados. Para esto nos vamos a desplazar a la sección de datos red móvil, en esa

sección pulsaremos en guardar los datos de intensidad de la señal. Luego nos aparecerá una ventana para seleccionar el formato del archivo que queremos grabar, tal como se ilustra en la figura B.2.

3 - Posteriormente procedemos a colocarle el nombre que deseamos que tenga el archivo como se puede ver en la figura B.2. Si se desea tomar nuevos datos de otra área en específico solo tenemos que pulsar en Eliminar registros de intensidad de señal antes de comenzar el proceso de captura de señales. Esta opción se puede visualizar en la figura B.3.



Figura B.3 Selección del tipo de archivo. (Fuente: Autores).



Figura B.4 Introducción del nombre de archivo. (Fuente: Autores).

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

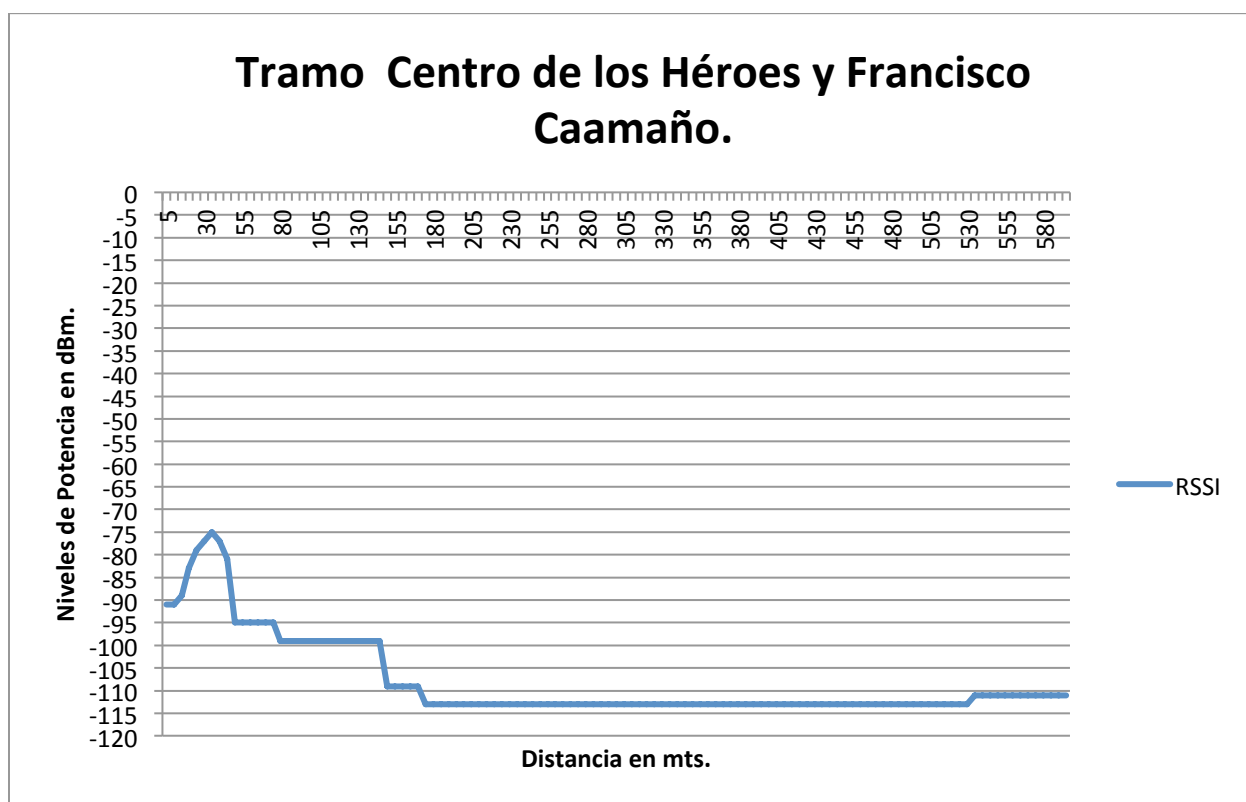
Número de personas transportadas por tipo de día desde febrero del 2009.

Laborables				
	2009	2010	2011	2012
Enero		958196	1,332,945.00	1,794,708.00
Febrero	1,081,652.00	1,553,626.00	1,946,551.00	2,255,307.00
Marzo	1,352,698.00	1,765,064.00	2,322,906.00	2,451,989.00
Abril	1,253,542.00	1,623,645.00	1,781,622.00	
Mayo	1,028,085.00	1,559,773.00	2,112,708.00	
Junio	1,085,966.00	1,505,080.00	1,885,810.00	
Julio	1,157,007.00	1,534,382.00	1,735,679.00	
Agosto	1,085,705.00	1,541,340.00	1,820,315.00	
Septiembre	1,349,273.00	1,860,131.00	2,252,769.00	
Octubre	1,424,317.00	1,892,071.00	2,194,512.00	
Noviembre	1,261,798.00	1,947,519.00	2,350,891.00	
Diciembre	1,202,296.00	1,689,167.00	2,350,891.00	

Sábados					Festivos			
	2009	2010	2011	2012	2009	2010	2011	2012
Enero		182.22	191,832.00	176,902.00		207,986.00	236,128.00	243,755.00
Febrero	191,337.00	232,086.00	259,779.00	302,446.00	183,815.00	111,002.00	127,599.00	180,122.00
Marzo	190,901.00	213,606.00	287,491.00	389,945.00	161,741.00	109,651.00	185,867.00	176,769.00
Abril	164,000.00	162,671.00	277,898.00		120,741.00	119,805.00	128,912.00	
Mayo	219,914.00	261,555.00	300,661.00		222,997.00	172,016.00	222,913.00	
Junio	138,226.00	181,802.00	244,995.00		94,629.00	110,266.00	163,823.00	
Julio	135,112.00	231,493.00	283,339.00		81,581.00	102,929.00	150,475.00	
Agosto	172,781.00	194,722.00	237,731.00		107,944.00	155,581.00	156,308.00	
Septiembre	173,292.00	218,608.00	204,812.00		101,910.00	118,376.00	149,788.00	
Octubre	224,566.00	301,753.00	349,905.00		82,434.00	138,560.00	166,258.00	
Noviembre	175,615.00	183,192.00	291,614.00		124,258.00	134,596.00	142,961.00	
Diciembre	147,006.00	177,588.00	291,614.00		110,994.00	139,942.00	142,961.00	

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

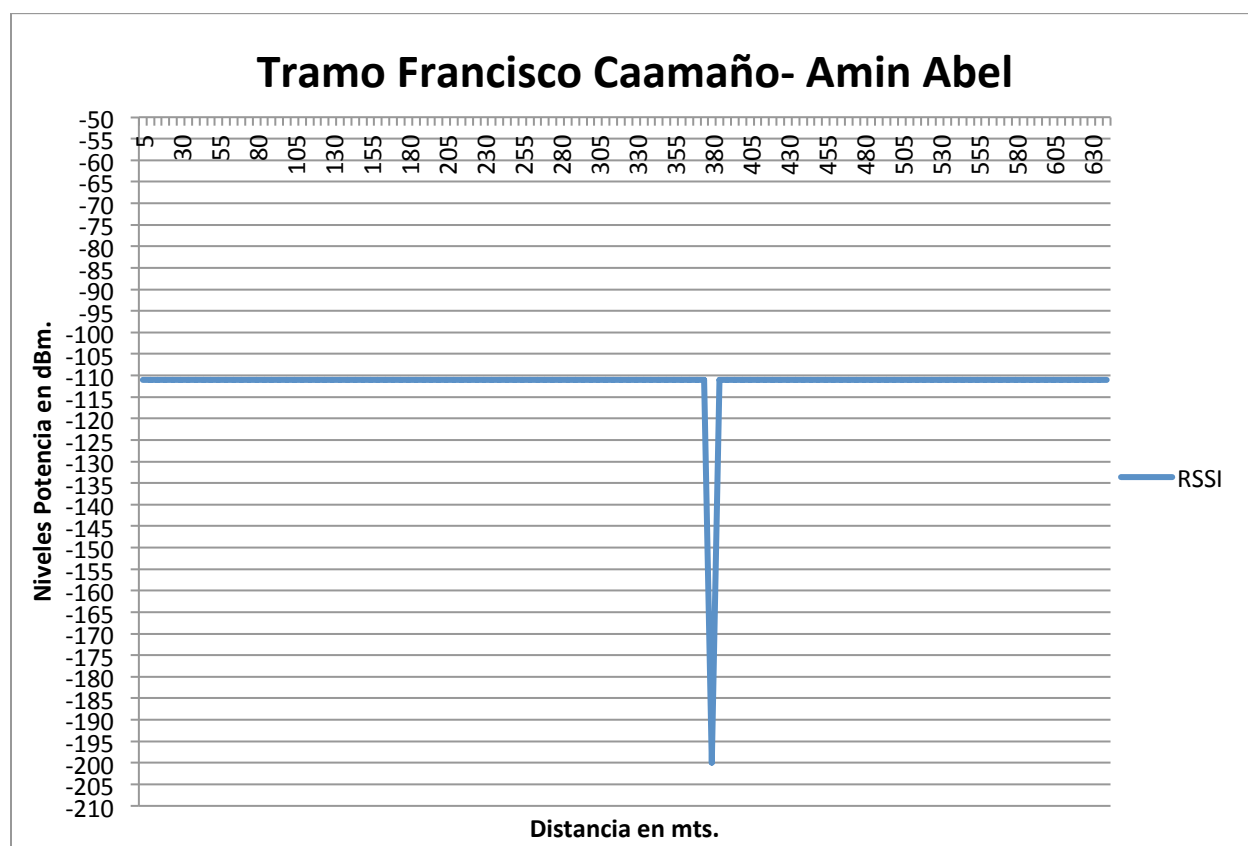
Situación actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Centro de los Héroes y Francisco Caamaño.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 1 – Feria-Caamaño.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

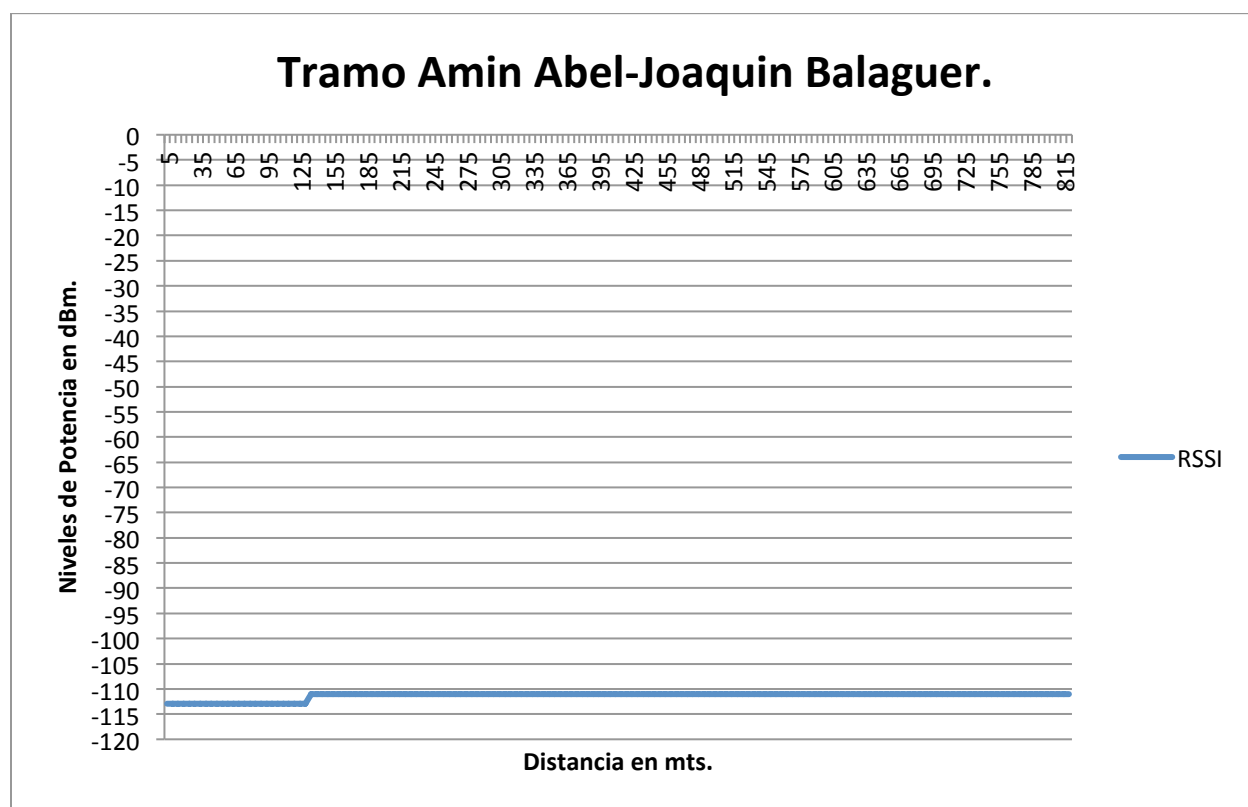
Situación actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Francisco Caamaño y Amín Abel.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 2 – Caamaño-Abel Hasbun.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

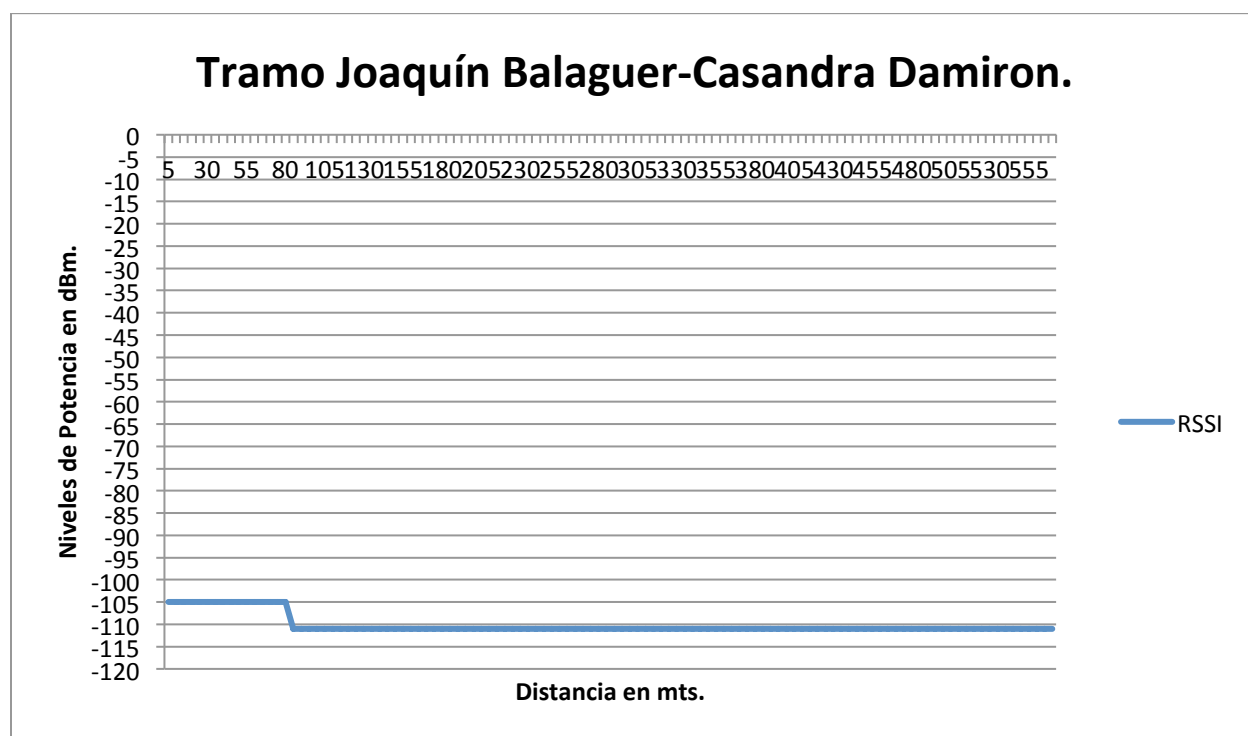
Situación actual tramo del túnel comprendido entre las estaciones Amín Abel y Joaquín Balaguer.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 3 – Abel Hasbun-Balaguer.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

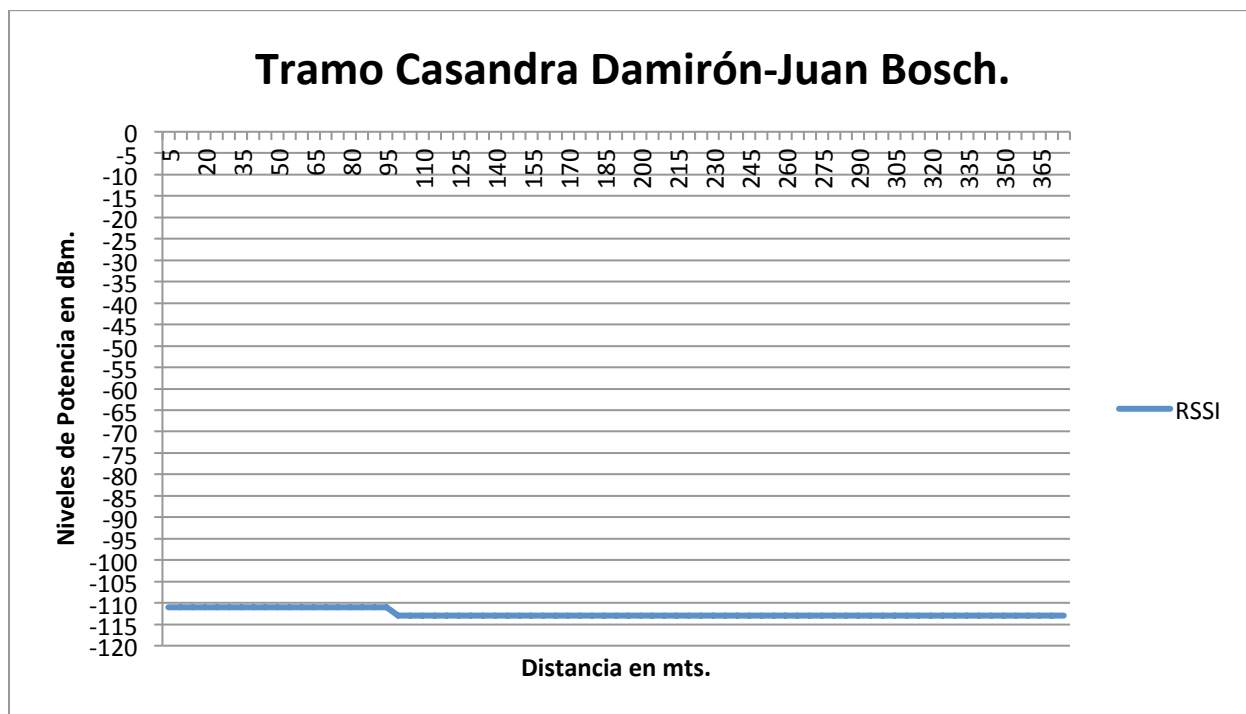
Situación actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Joaquín Balaguer y Casandra Damirón.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 4 – Balaguer-Damiron.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

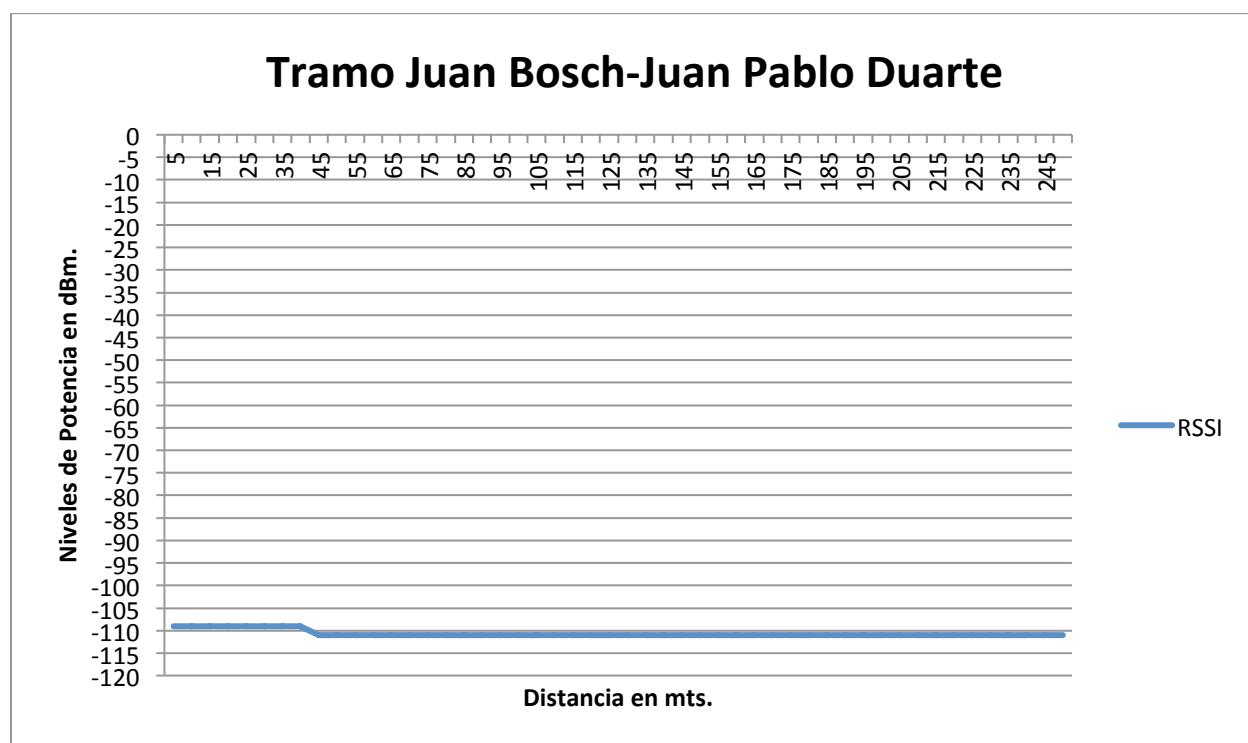
Situación actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Casandra Damirón y Juan Bosch.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 5 – Damiron-Bosch.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

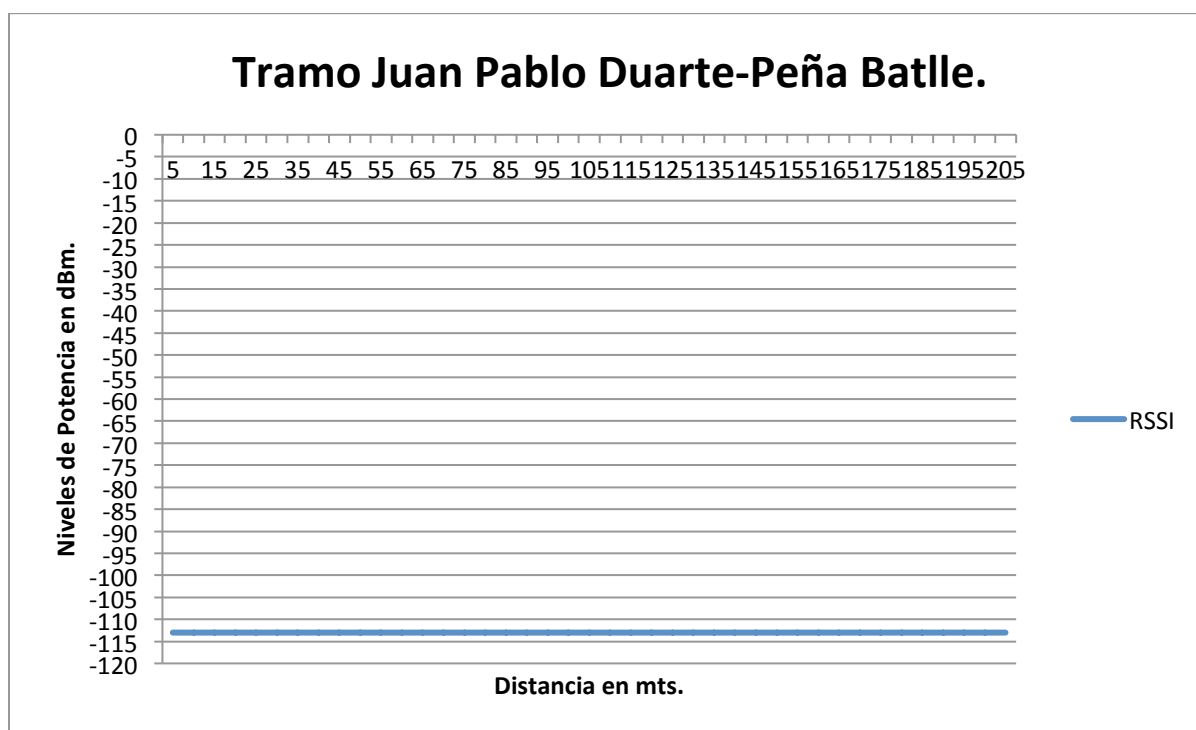
Situación actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Juan Bosch y Juan Pablo Duarte.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 6 – Bosch-Duarte.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Situación actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Juan Pablo Duarte y Peña Batlle.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 7 – Duarte-Peña Batlle.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

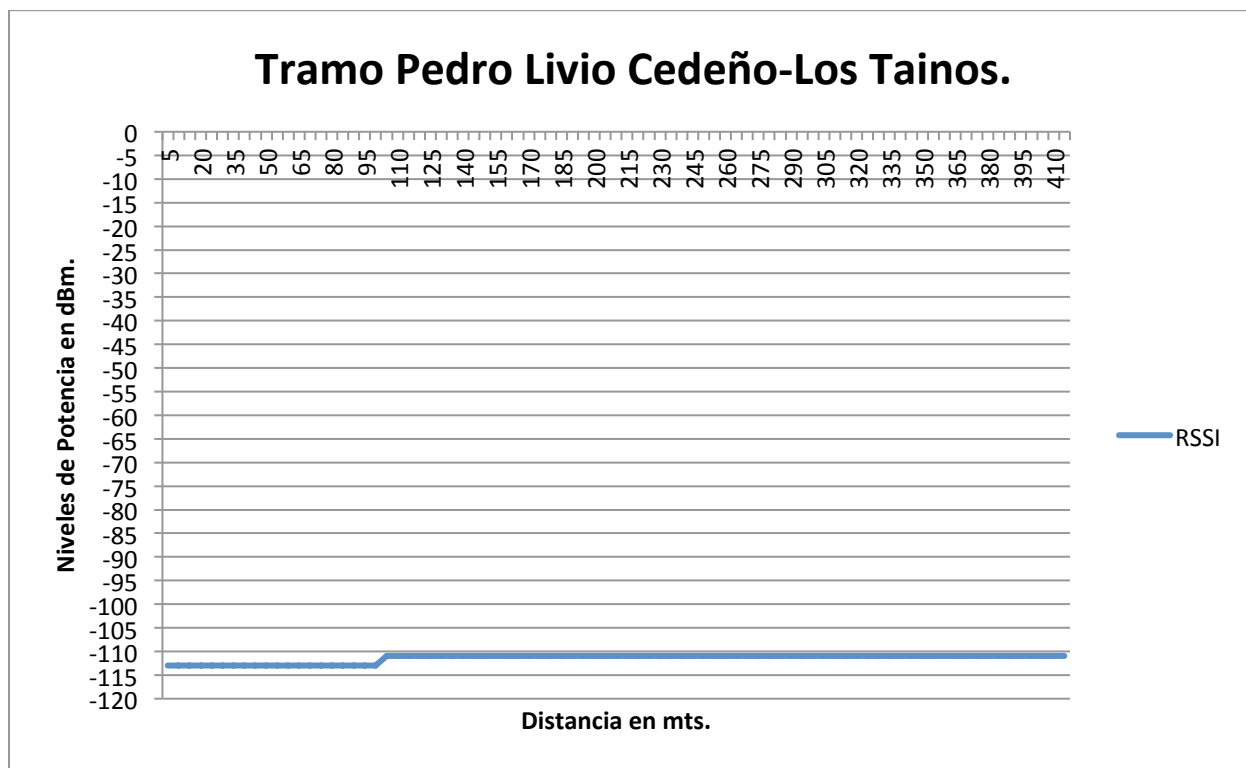
Situación Actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones **Peña Batlle** y **Pedro Livio Cedeño**.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 8 – Peña Batlle-Livio Cedeño.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

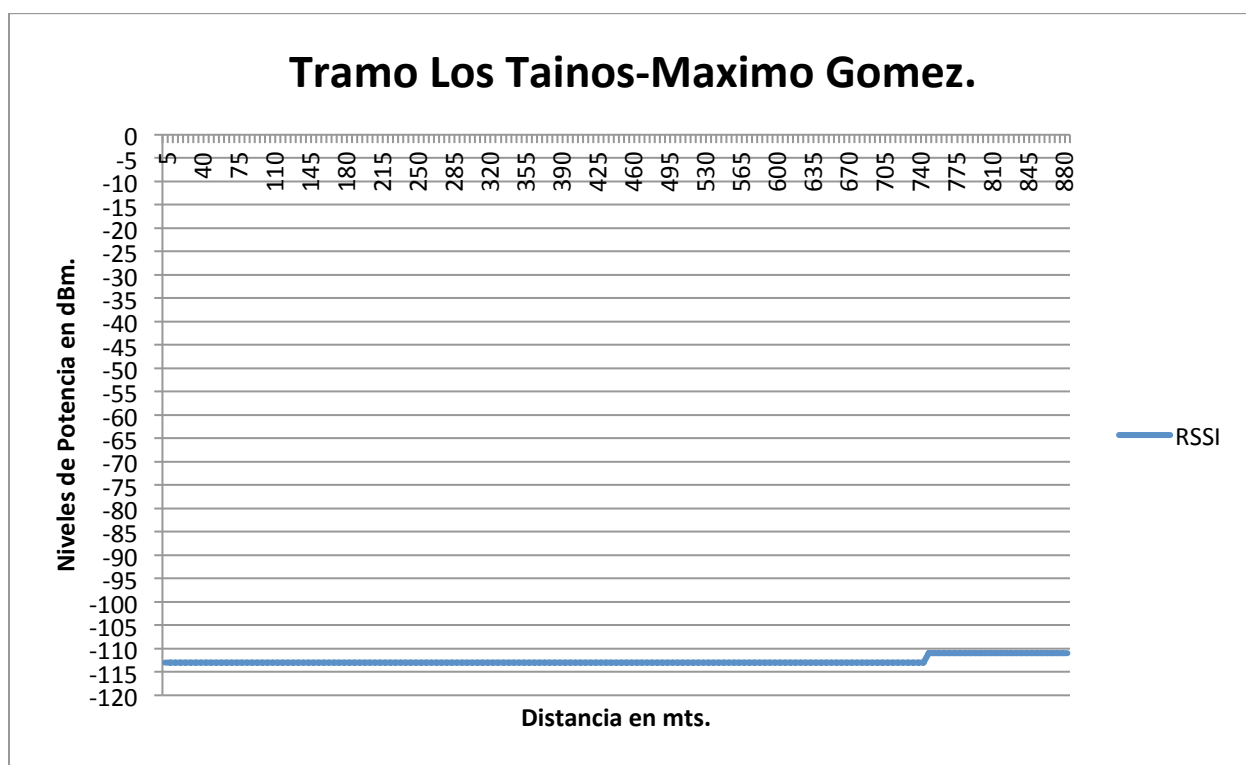
Situación actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Pedro Livio Cedeño y Los Tainos.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 9 – Livio Cedeño-Tainos.

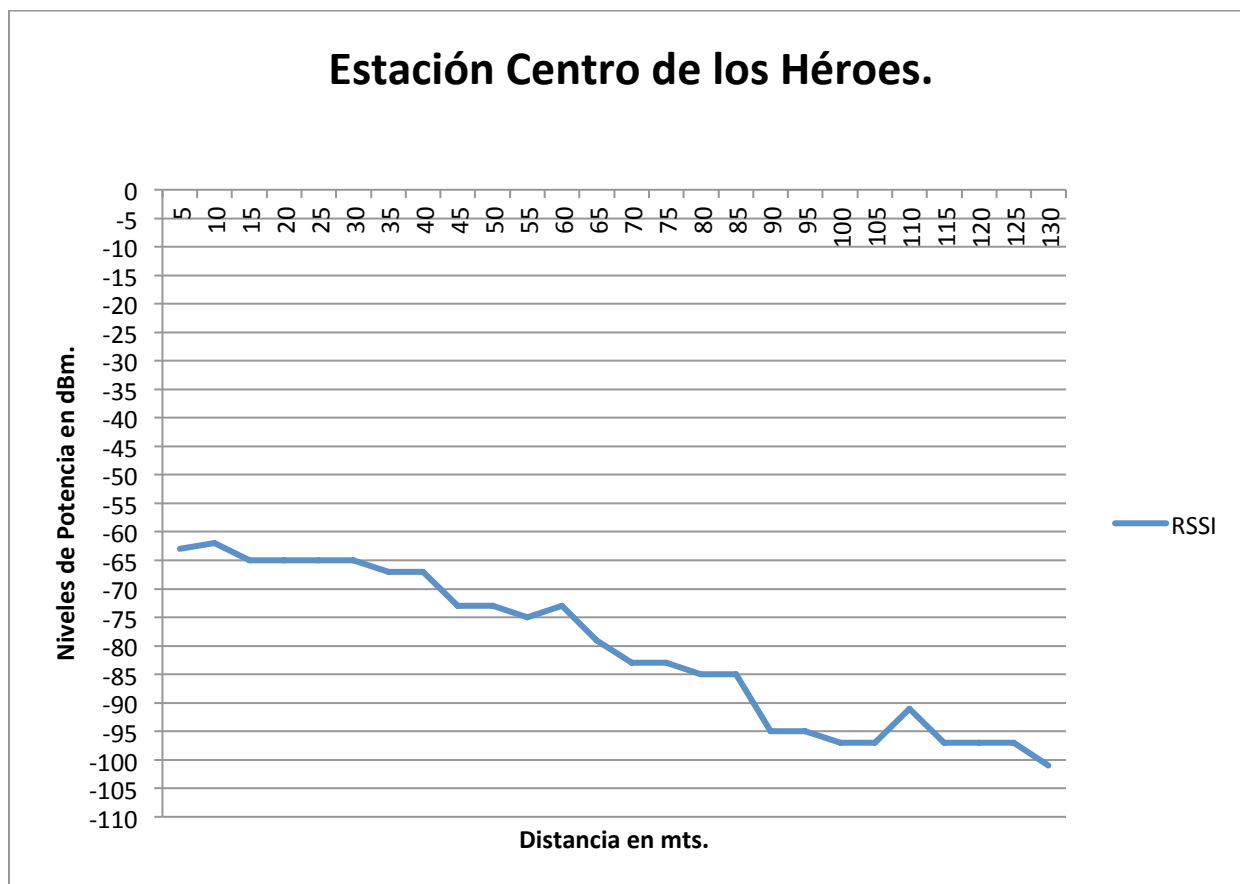
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Situación actual del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Los Tainos y Máximo Gómez.



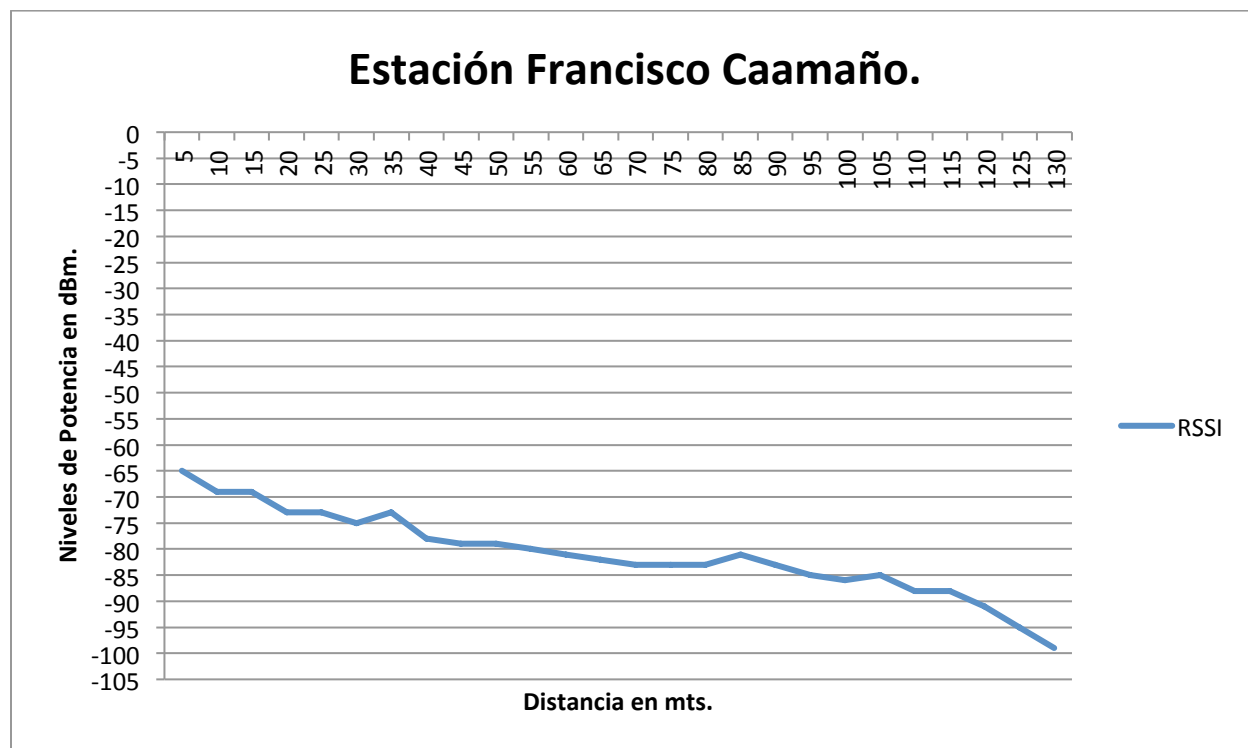
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de los Tuneles.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 10 – Tainos-Gomez.

Situación actual de la estación Centro de los Héroes.



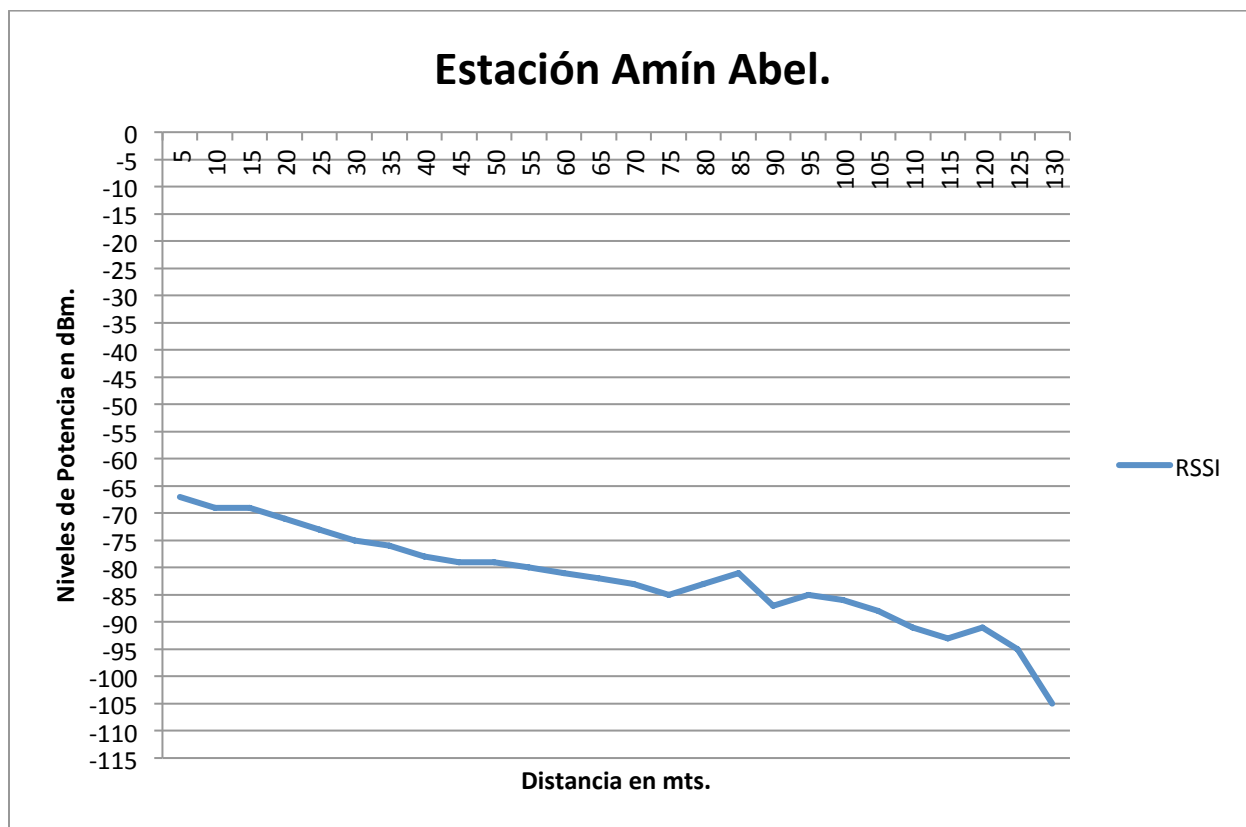
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Heroes.

Situación actual de la estación Francisco Caamaño.



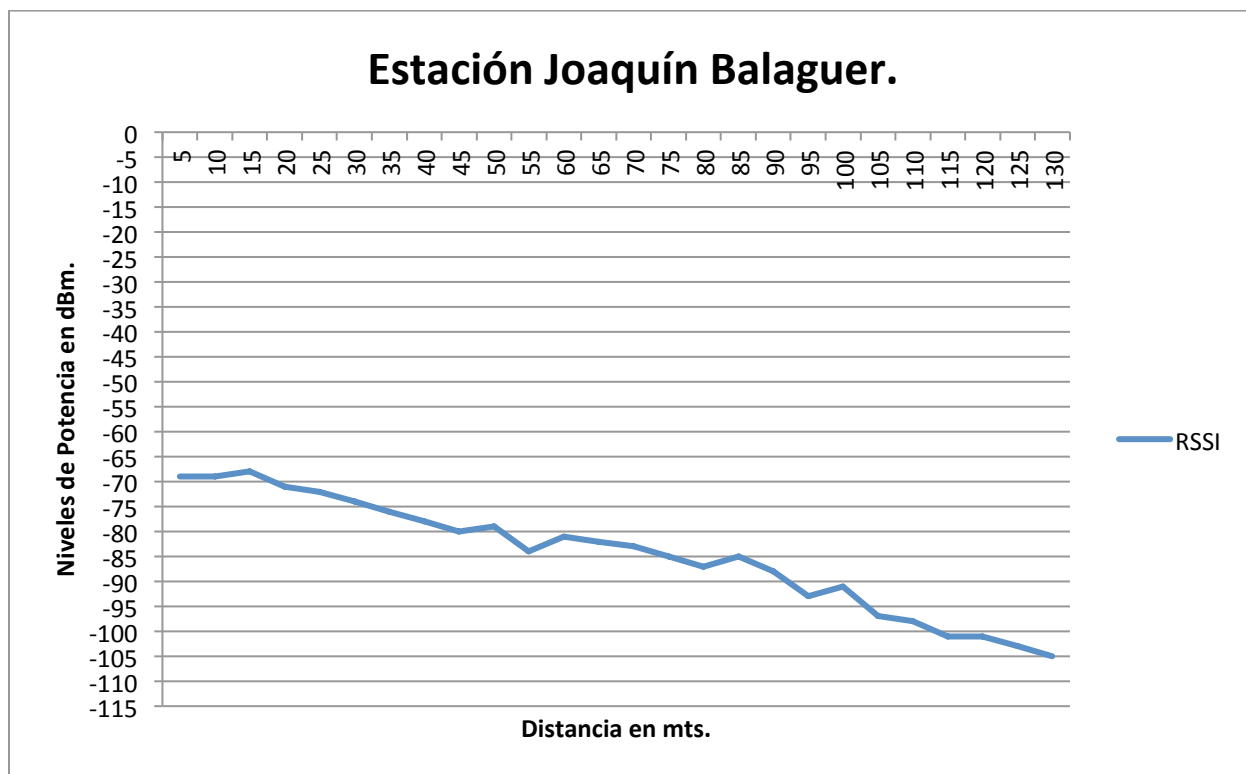
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Caamaño.

Situación actual de la estación Amín Abel.



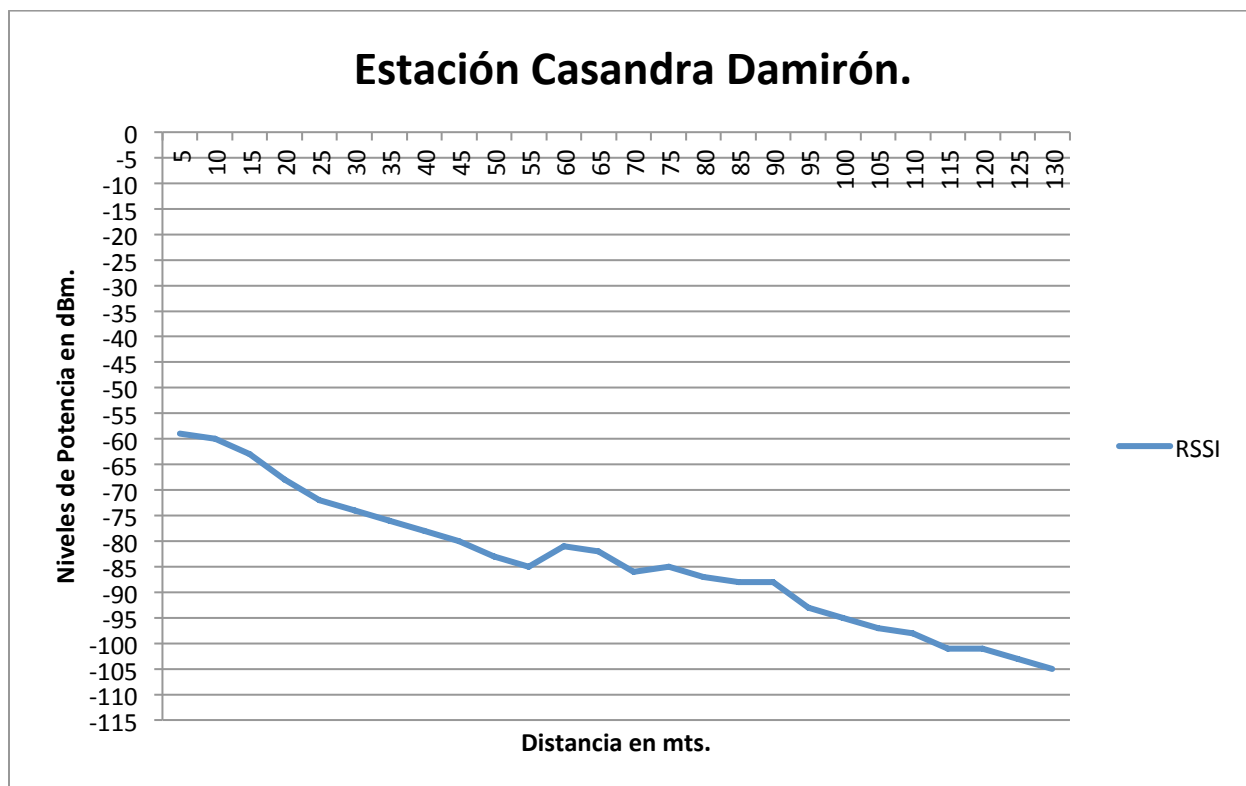
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Abel Hasbun.

Situación actual de la estación Joaquín Balaguer.



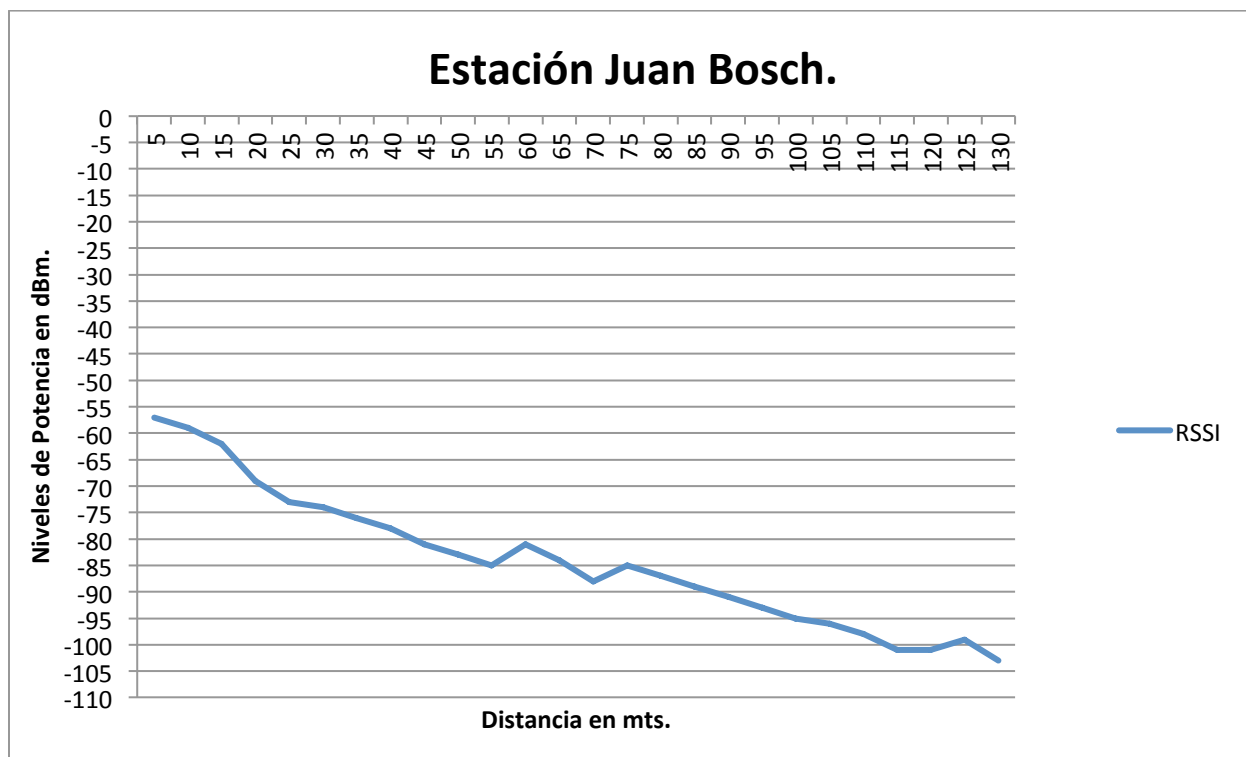
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Balaguer.

Situación actual de la estación Casandra Damirón.



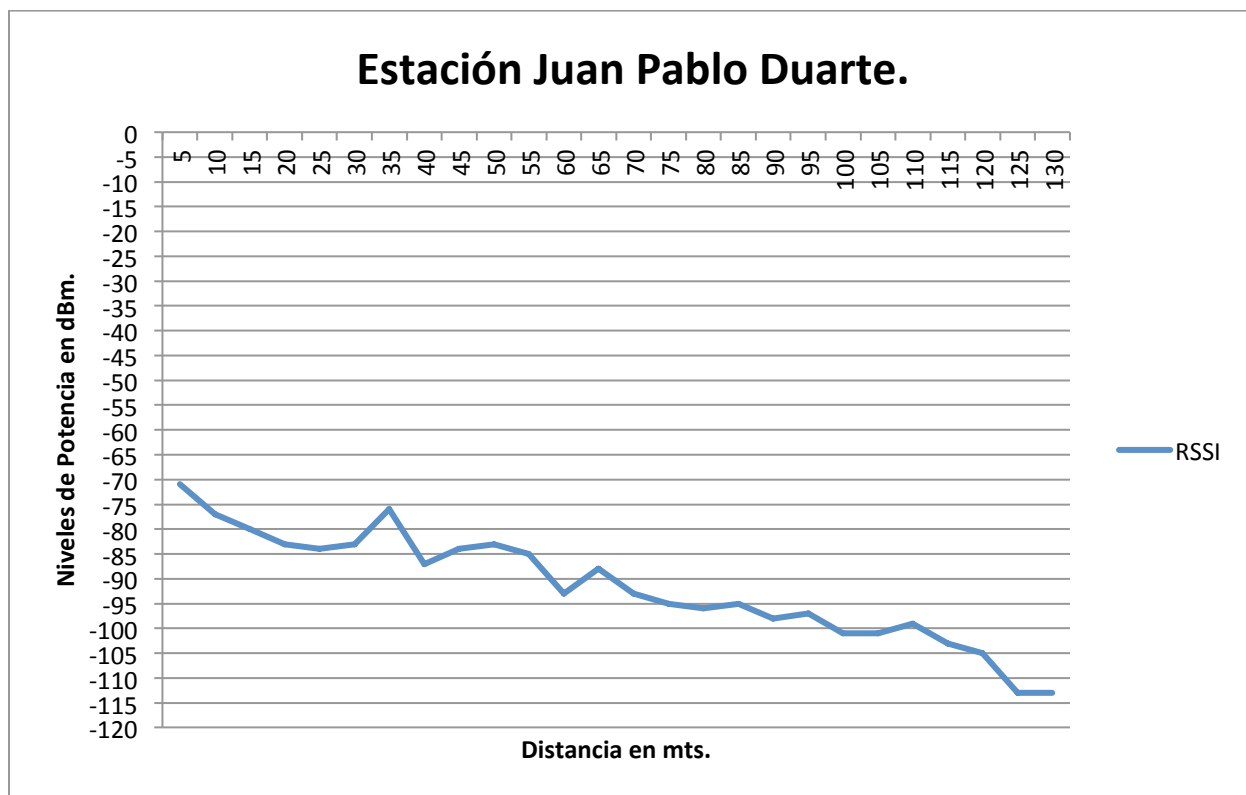
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Damiron.

Situación actual de la estación Juan Bosch.



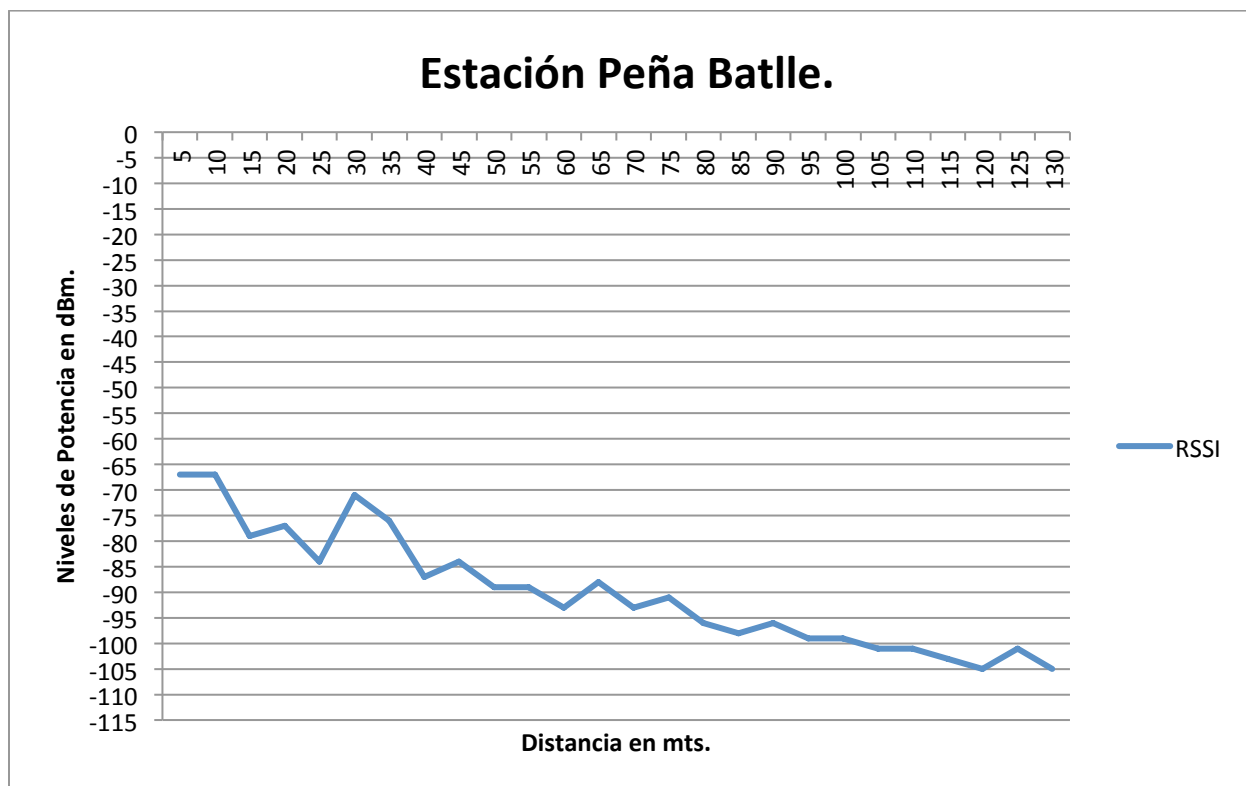
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Bosch.

Situación actual de la estación Juan Pablo Duarte.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Duarte.

Situación actual de la estación Peña Batlle.



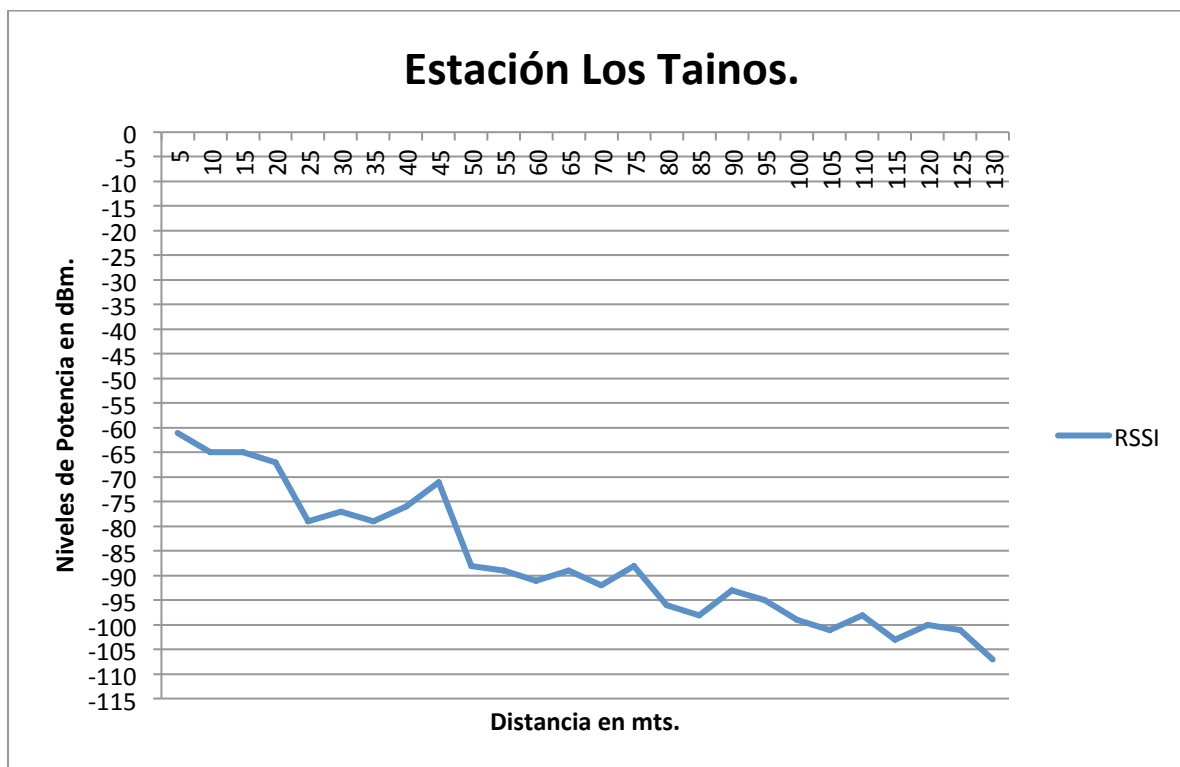
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Peña Batlle.

Situación actual de la estación Pedro Livio Cedeño.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Livio Cedeño.

Situación actual de la estación Los Tainos.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/01 – Situacion Actual, el archivo de Excel que lleva por nombre Estado Actual de las Estaciones.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Tainos.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Tabla Erlang B

Erlang B Traffic Table												
Maximum Offered Load Versus B and N												
N/B	B is in %											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46
23	9.583	10.87	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74	23.03	25.28	30.15	36.12
24	10.23	11.56	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78	24.16	26.50	31.56	37.78
25	10.88	12.26	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83	25.30	27.72	32.97	39.44
26	11.54	12.97	13.70	15.80	16.96	18.38	20.94	23.89	26.43	28.94	34.39	41.10
27	12.21	13.69	14.44	16.60	17.80	19.27	21.90	24.94	27.57	30.16	35.80	42.76
28	12.88	14.41	15.18	17.41	18.64	20.15	22.87	26.00	28.71	31.39	37.21	44.41
29	13.56	15.13	15.93	18.22	19.49	21.04	23.83	27.05	29.85	32.61	38.63	46.07
30	14.25	15.86	16.68	19.03	20.34	21.93	24.80	28.11	31.00	33.84	40.05	47.74
31	14.94	16.60	17.44	19.85	21.19	22.83	25.77	29.17	32.14	35.07	41.46	49.40
32	15.63	17.34	18.21	20.68	22.05	23.73	26.75	30.24	33.28	36.30	42.88	51.06
33	16.34	18.09	18.97	21.51	22.91	24.63	27.72	31.30	34.43	37.52	44.30	52.72
34	17.04	18.84	19.74	22.34	23.77	25.53	28.70	32.37	35.58	38.75	45.72	54.38
35	17.75	19.59	20.52	23.17	24.64	26.44	29.68	33.43	36.72	39.99	47.14	56.04
36	18.47	20.35	21.30	24.01	25.51	27.34	30.66	34.50	37.87	41.22	48.56	57.70
37	19.19	21.11	22.08	24.85	26.38	28.25	31.64	35.57	39.02	42.45	49.98	59.37
38	19.91	21.87	22.86	25.69	27.25	29.17	32.62	36.64	40.17	43.68	51.40	61.03
39	20.64	22.64	23.65	26.53	28.13	30.08	33.61	37.72	41.32	44.91	52.82	62.69
40	21.37	23.41	24.44	27.38	29.01	31.00	34.60	38.79	42.48	46.15	54.24	64.35
41	22.11	24.19	25.24	28.23	29.89	31.92	35.58	39.86	43.63	47.38	55.66	66.02
42	22.85	24.97	26.04	29.09	30.77	32.84	36.57	40.94	44.78	48.62	57.08	67.68
43	23.59	25.75	26.84	29.94	31.66	33.76	37.57	42.01	45.94	49.85	58.50	69.34

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

44	24.33	26.53	27.64	30.80	32.54	34.68	38.56	43.09	47.09	51.09	59.92	71.01
45	25.08	27.32	28.45	31.66	33.43	35.61	39.55	44.17	48.25	52.32	61.35	72.67
46	25.83	28.11	29.26	32.52	34.32	36.53	40.55	45.24	49.40	53.56	62.77	74.33
47	26.59	28.90	30.07	33.38	35.22	37.46	41.54	46.32	50.56	54.80	64.19	76.00
48	27.34	29.70	30.88	34.25	36.11	38.39	42.54	47.40	51.71	56.03	65.61	77.66
49	28.10	30.49	31.69	35.11	37.00	39.32	43.53	48.48	52.87	57.27	67.04	79.32
50	28.87	31.29	32.51	35.98	37.90	40.26	44.53	49.56	54.03	58.51	68.46	80.99
51	29.63	32.09	33.33	36.85	38.80	41.19	45.53	50.64	55.19	59.75	69.88	82.65
52	30.40	32.90	34.15	37.72	39.70	42.12	46.53	51.73	56.35	60.99	71.31	84.32
53	31.17	33.70	34.98	38.60	40.60	43.06	47.53	52.81	57.50	62.22	72.73	85.98
54	31.94	34.51	35.80	39.47	41.51	44.00	48.54	53.89	58.66	63.46	74.15	87.65
55	32.72	35.32	36.63	40.35	42.41	44.94	49.54	54.98	59.82	64.70	75.58	89.31
56	33.49	36.13	37.46	41.23	43.32	45.88	50.54	56.06	60.98	65.94	77.00	90.97
57	34.27	36.95	38.29	42.11	44.22	46.82	51.55	57.14	62.14	67.18	78.43	92.64
58	35.05	37.76	39.12	42.99	45.13	47.76	52.55	58.23	63.31	68.42	79.85	94.30
59	35.84	38.58	39.96	43.87	46.04	48.70	53.56	59.32	64.47	69.66	81.27	95.97
60	36.62	39.40	40.80	44.76	46.95	49.64	54.57	60.40	65.63	70.90	82.70	97.63
61	37.41	40.22	41.63	45.64	47.86	50.59	55.57	61.49	66.79	72.14	84.12	99.30
62	38.20	41.05	42.47	46.53	48.77	51.53	56.58	62.58	67.95	73.38	85.55	101.0
63	38.99	41.87	43.31	47.42	49.69	52.48	57.59	63.66	69.11	74.63	86.97	102.6
64	39.78	42.70	44.16	48.31	50.60	53.43	58.60	64.75	70.28	75.87	88.40	104.3
65	40.58	43.52	45.00	49.20	51.52	54.38	59.61	65.84	71.44	77.11	89.82	106.0
66	41.38	44.35	45.85	50.09	52.44	55.33	60.62	66.93	72.60	78.35	91.25	107.6
67	42.17	45.18	46.69	50.98	53.35	56.28	61.63	68.02	73.77	79.59	92.67	109.3
68	42.97	46.02	47.54	51.87	54.27	57.23	62.64	69.11	74.93	80.83	94.10	111.0
69	43.77	46.85	48.39	52.77	55.19	58.18	63.65	70.20	76.09	82.08	95.52	112.6
70	44.58	47.68	49.24	53.66	56.11	59.13	64.67	71.29	77.26	83.32	96.95	114.3
71	45.38	48.52	50.09	54.56	57.03	60.08	65.68	72.38	78.42	84.56	98.37	116.0
72	46.19	49.36	50.94	55.46	57.96	61.04	66.69	73.47	79.59	85.80	99.80	117.6
73	47.00	50.20	51.80	56.35	58.88	61.99	67.71	74.56	80.75	87.05	101.2	119.3
74	47.81	51.04	52.65	57.25	59.80	62.95	68.72	75.65	81.92	88.29	102.7	120.9
75	48.62	51.88	53.51	58.15	60.73	63.90	69.74	76.74	83.08	89.53	104.1	122.6
76	49.43	52.72	54.37	59.05	61.65	64.86	70.75	77.83	84.25	90.78	105.5	124.3
77	50.24	53.56	55.23	59.96	62.58	65.81	71.77	78.93	85.41	92.02	106.9	125.9
78	51.05	54.41	56.09	60.86	63.51	66.77	72.79	80.02	86.58	93.26	108.4	127.6
79	51.87	55.25	56.95	61.76	64.43	67.73	73.80	81.11	87.74	94.51	109.8	129.3
80	52.69	56.10	57.81	62.67	65.36	68.69	74.82	82.20	88.91	95.75	111.2	130.9
81	53.51	56.95	58.67	63.57	66.29	69.65	75.84	83.30	90.08	96.99	112.6	132.6
82	54.33	57.80	59.54	64.48	67.22	70.61	76.86	84.39	91.24	98.24	114.1	134.3
83	55.15	58.65	60.40	65.39	68.15	71.57	77.87	85.48	92.41	99.48	115.5	135.9
84	55.97	59.50	61.27	66.29	69.08	72.53	78.89	86.58	93.58	100.7	116.9	137.6
85	56.79	60.35	62.14	67.20	70.02	73.49	79.91	87.67	94.74	102.0	118.3	139.3
86	57.62	61.21	63.00	68.11	70.95	74.45	80.93	88.77	95.91	103.2	119.8	140.9
87	58.44	62.06	63.87	69.02	71.88	75.42	81.95	89.86	97.08	104.5	121.2	142.6
88	59.27	62.92	64.74	69.93	72.82	76.38	82.97	90.96	98.25	105.7	122.6	144.3
89	60.10	63.77	65.61	70.84	73.75	77.34	83.99	92.05	99.41	107.0	124.0	145.9
90	60.92	64.63	66.48	71.76	74.68	78.31	85.01	93.15	100.6	108.2	125.5	147.6

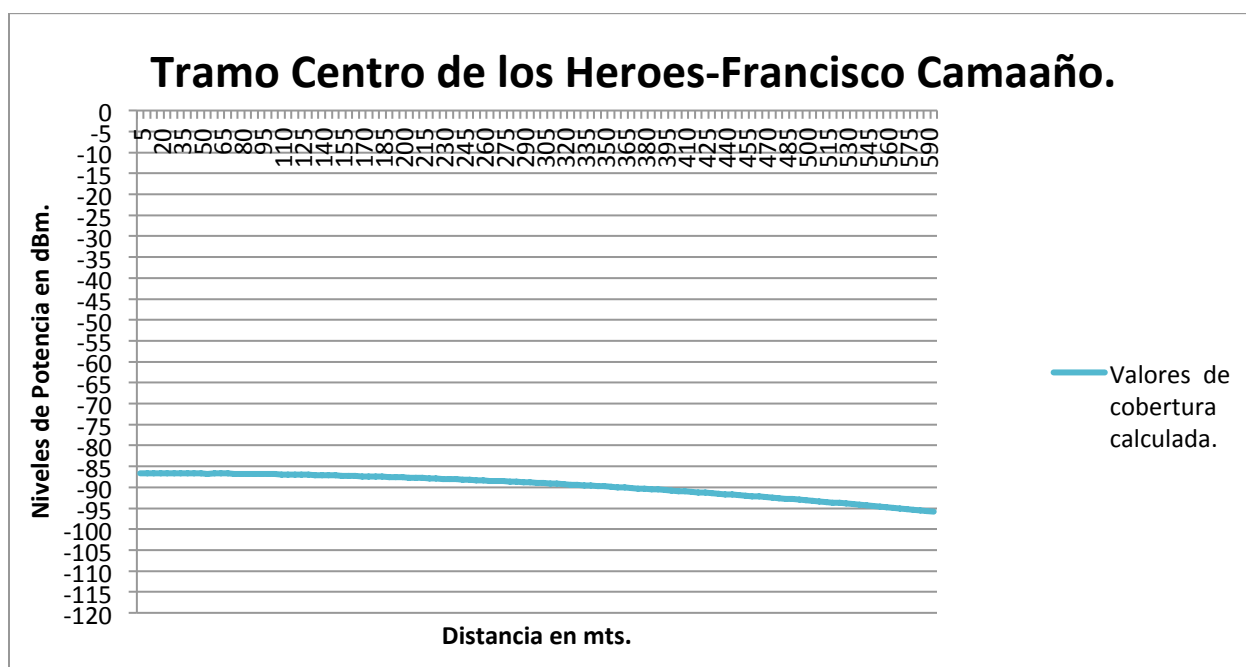
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

91	61.75	65.49	67.36	72.67	75.62	79.27	86.04	94.24	101.8	109.4	126.9	149.3
92	62.58	66.35	68.23	73.58	76.56	80.24	87.06	95.34	102.9	110.7	128.3	150.9
93	63.42	67.21	69.10	74.50	77.49	81.20	88.08	96.43	104.1	111.9	129.8	152.6
94	64.25	68.07	69.98	75.41	78.43	82.17	89.10	97.53	105.3	113.2	131.2	154.3
95	65.08	68.93	70.85	76.33	79.37	83.13	90.12	98.63	106.4	114.4	132.6	155.9
96	65.92	69.79	71.73	77.24	80.31	84.10	91.15	99.72	107.6	115.7	134.0	157.6
97	66.75	70.65	72.61	78.16	81.25	85.07	92.17	100.8	108.8	116.9	135.5	159.3
98	67.59	71.52	73.48	79.07	82.18	86.04	93.19	101.9	109.9	118.2	136.9	160.9
99	68.43	72.38	74.36	79.99	83.12	87.00	94.22	103.0	111.1	119.4	138.3	162.6
100	69.27	7~.25	75.24	80.91	84.06	87.97	95.24	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3

N is the number of servers. The numerical column headings indicate blocking probability B in %. Table generated by Dan Dexter

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

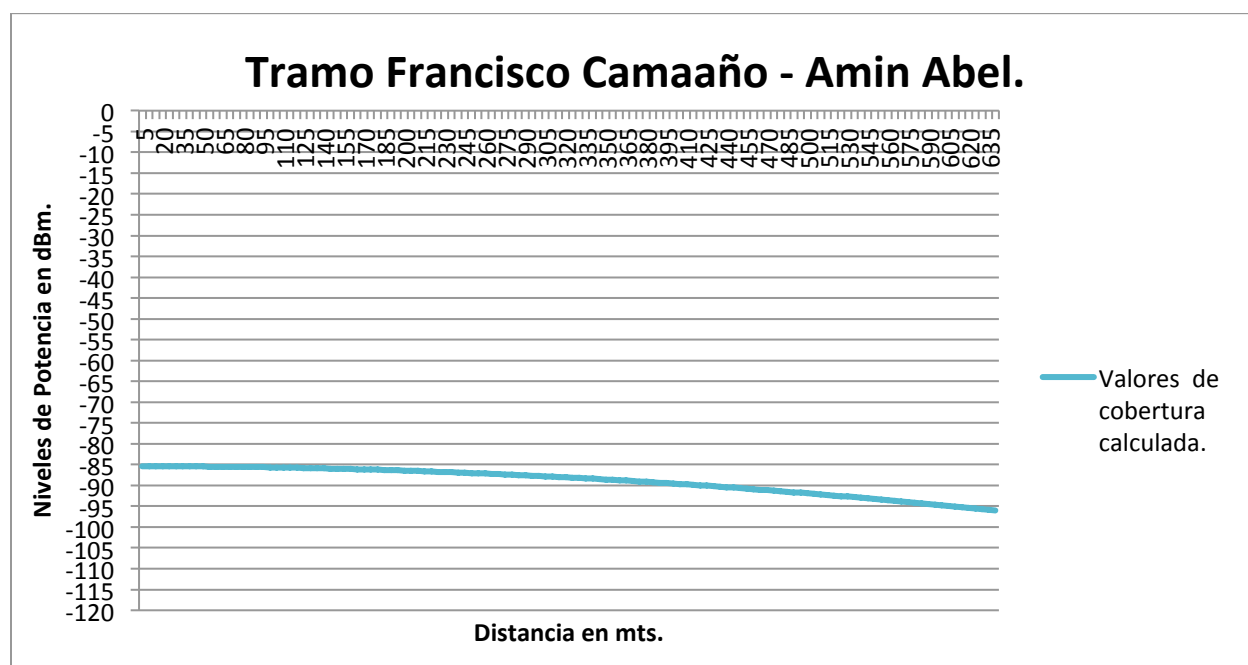
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Centro de los Héroes y Francisco Caamaño.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 1 - Feria-Caamaño.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

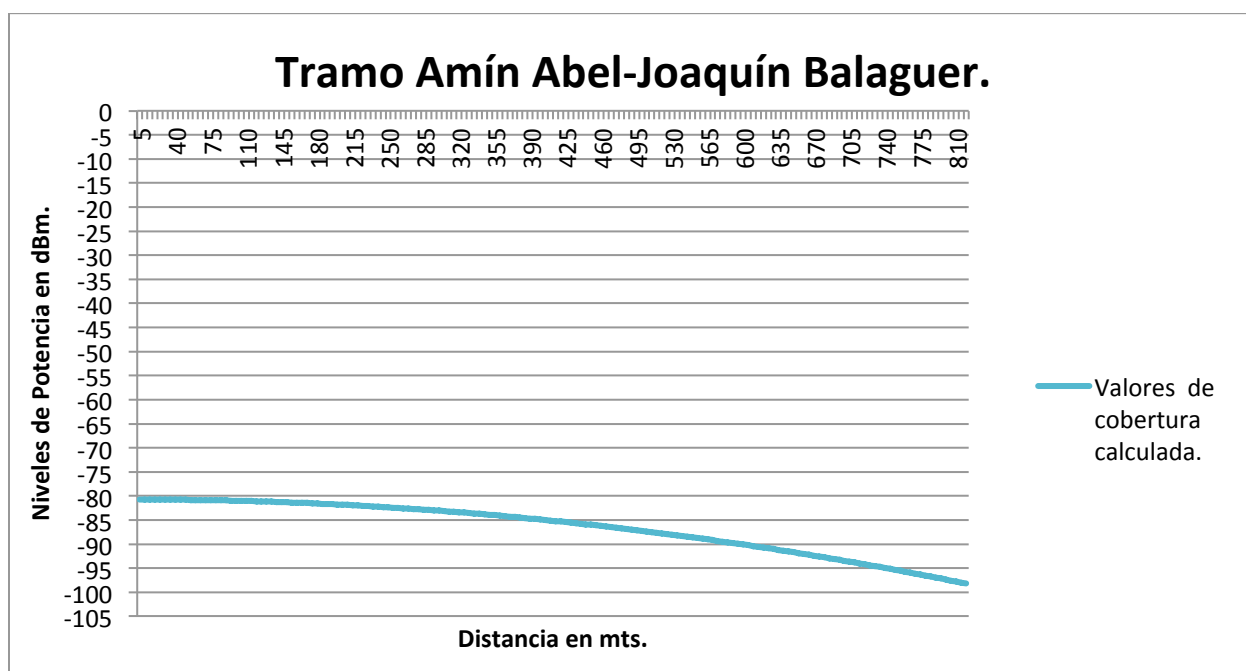
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Francisco Caamaño y Amín Abel.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 2 - Caamaño-Abel Hasbun.

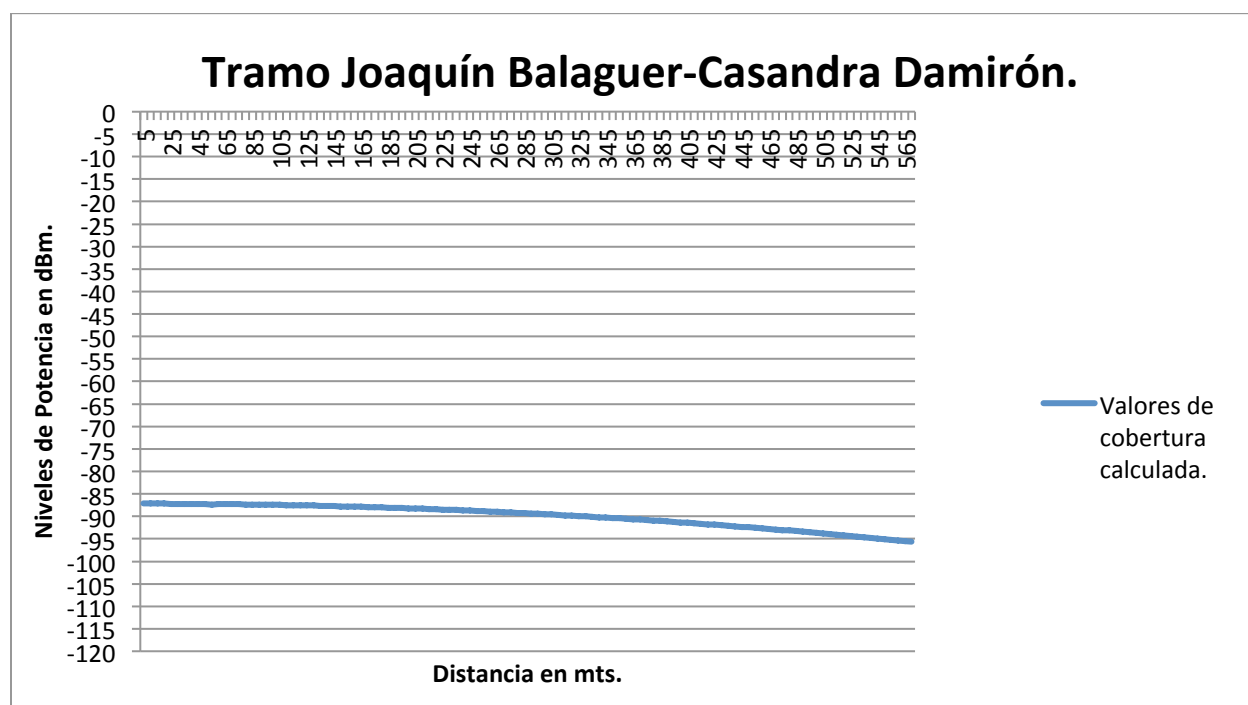
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Gráfica de lo cálculos de propagación tramo del túnel comprendido entre las estaciones Amín Abel y Joaquín Balaguer.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 3 - Abel Hasbun-Balaguer.

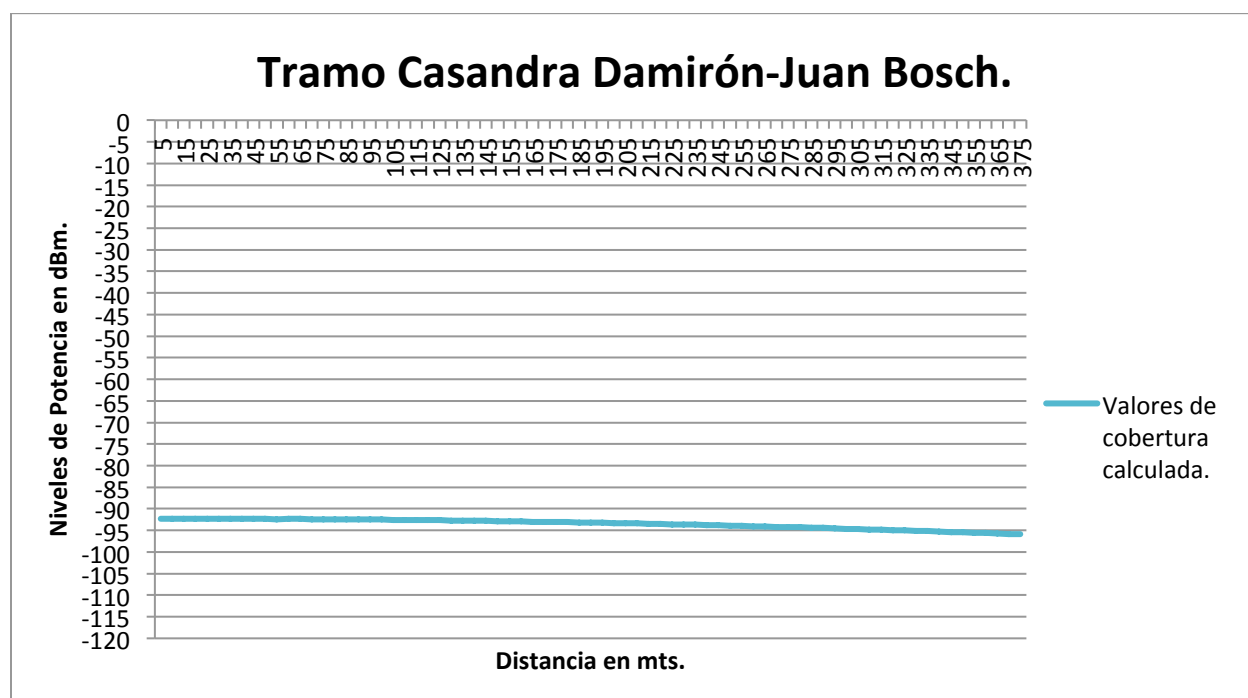
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Joaquín Balaguer y Casandra Damirón.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 4 – Balaguer-Damiron.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

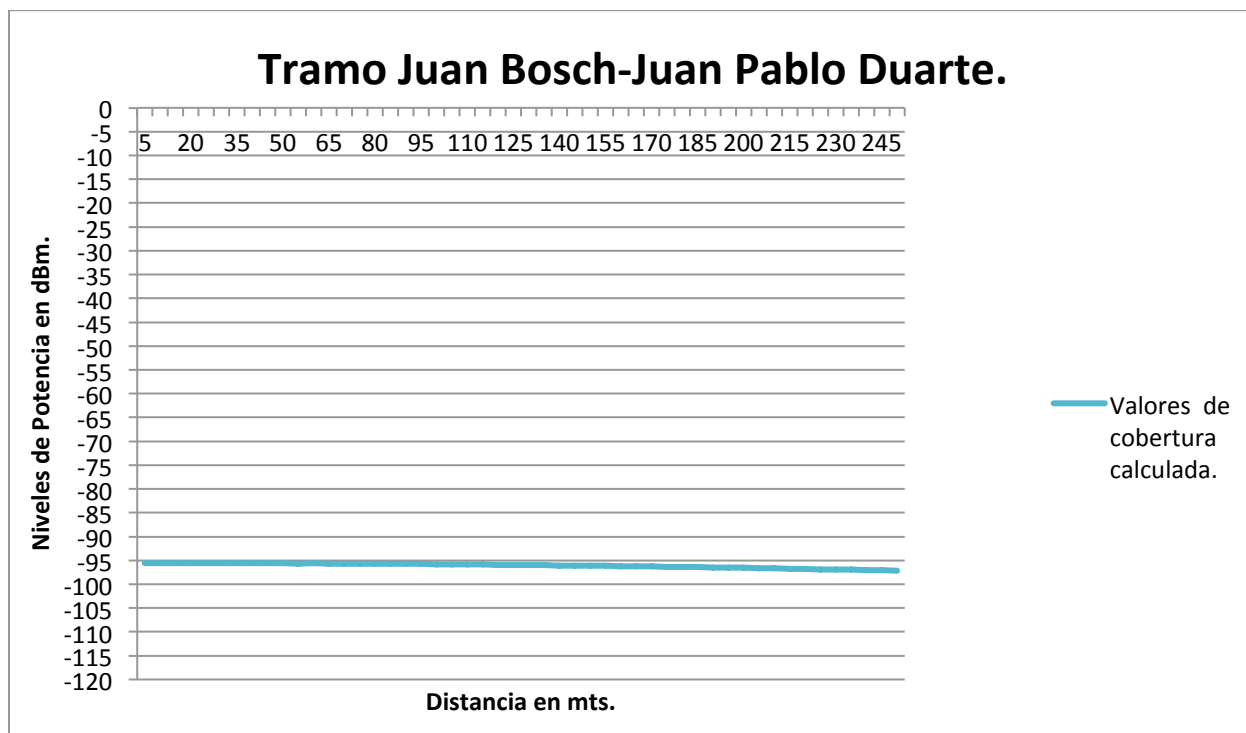
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Casandra Damirón y Juan Bosch.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 5 – Damiron-Bosch.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

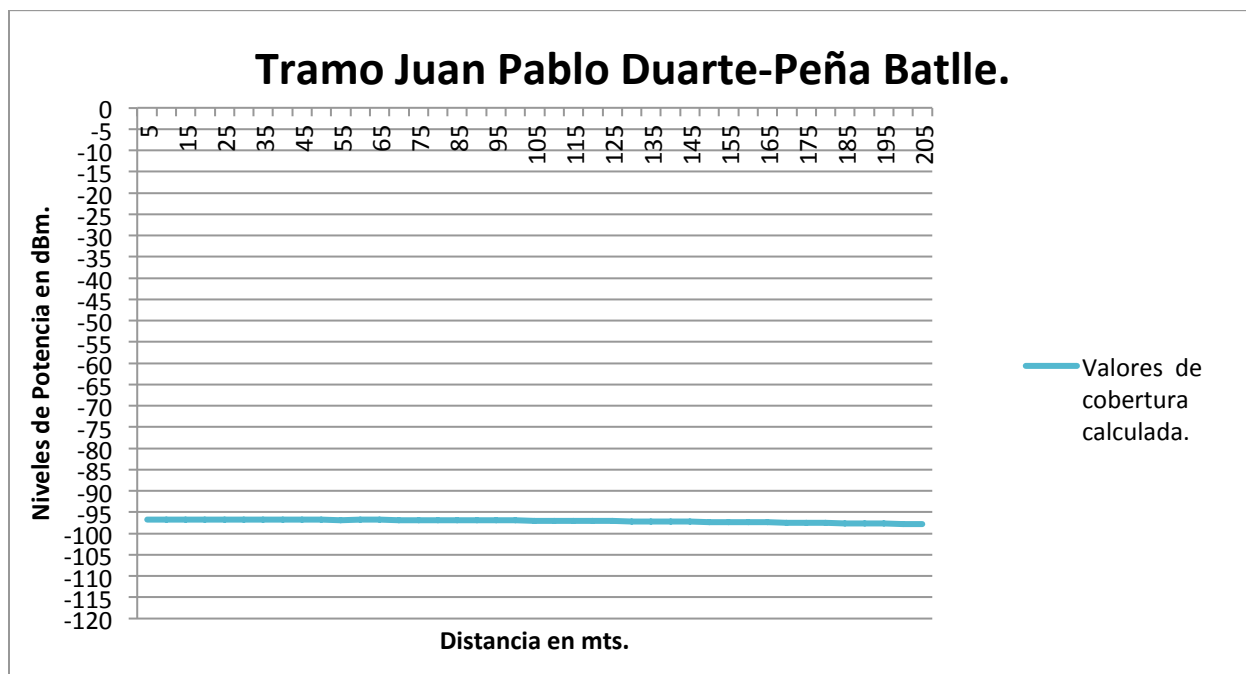
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Juan Bosch y Juan Pablo Duarte.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 6 – Bosch-Duarte.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

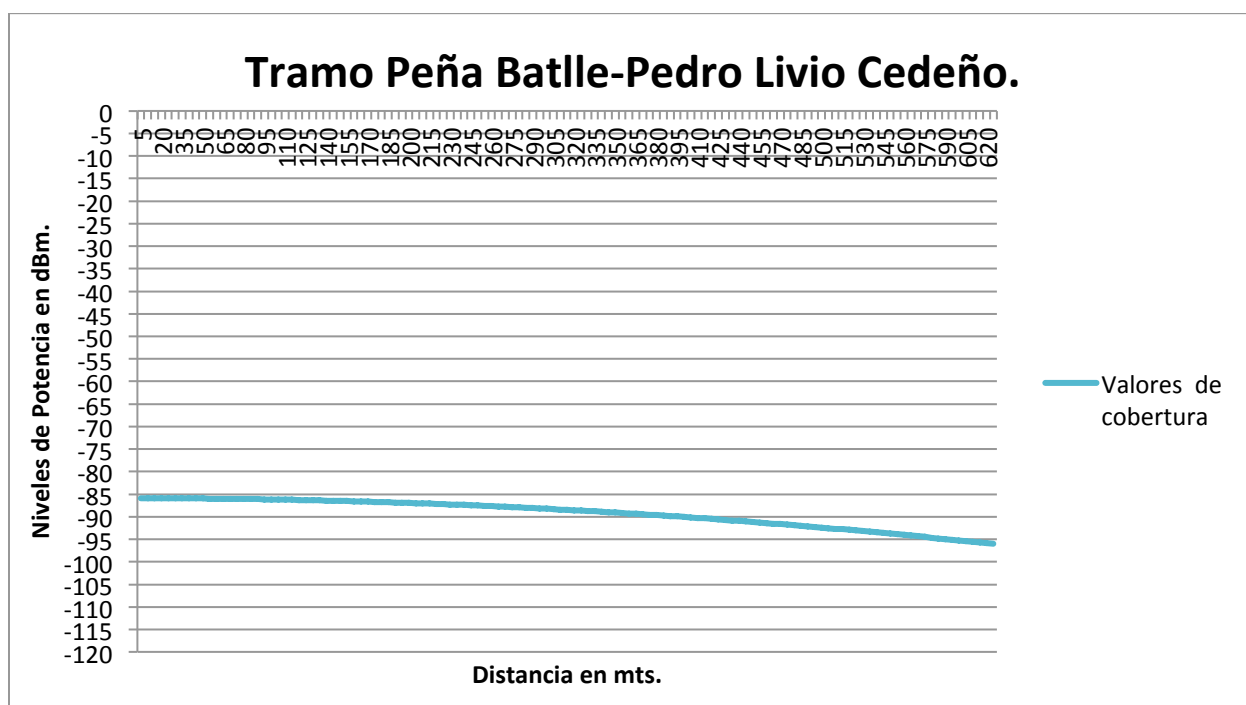
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Juan Pablo Duarte y Peña Batlle.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 7 – Duarte-Peña Batlle.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

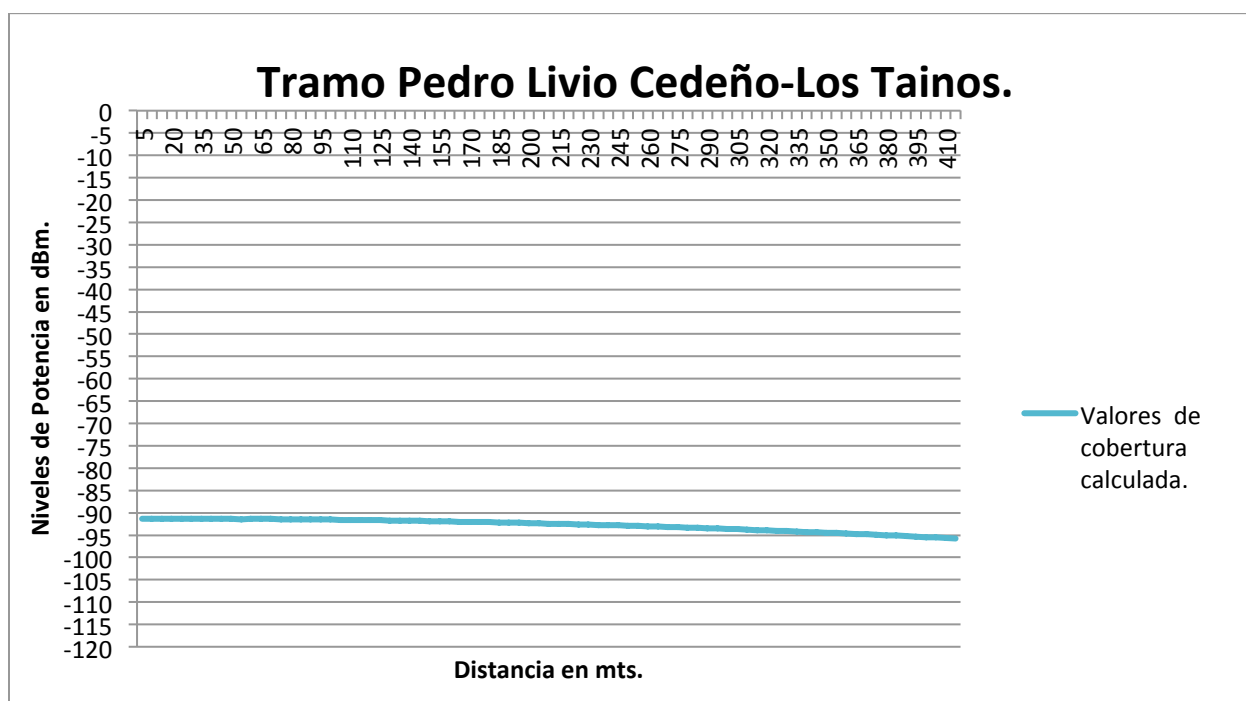
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Peña Batlle y Pedro Livio Cedeño.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 8 – Peña Batlle-Livio Cedeño.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

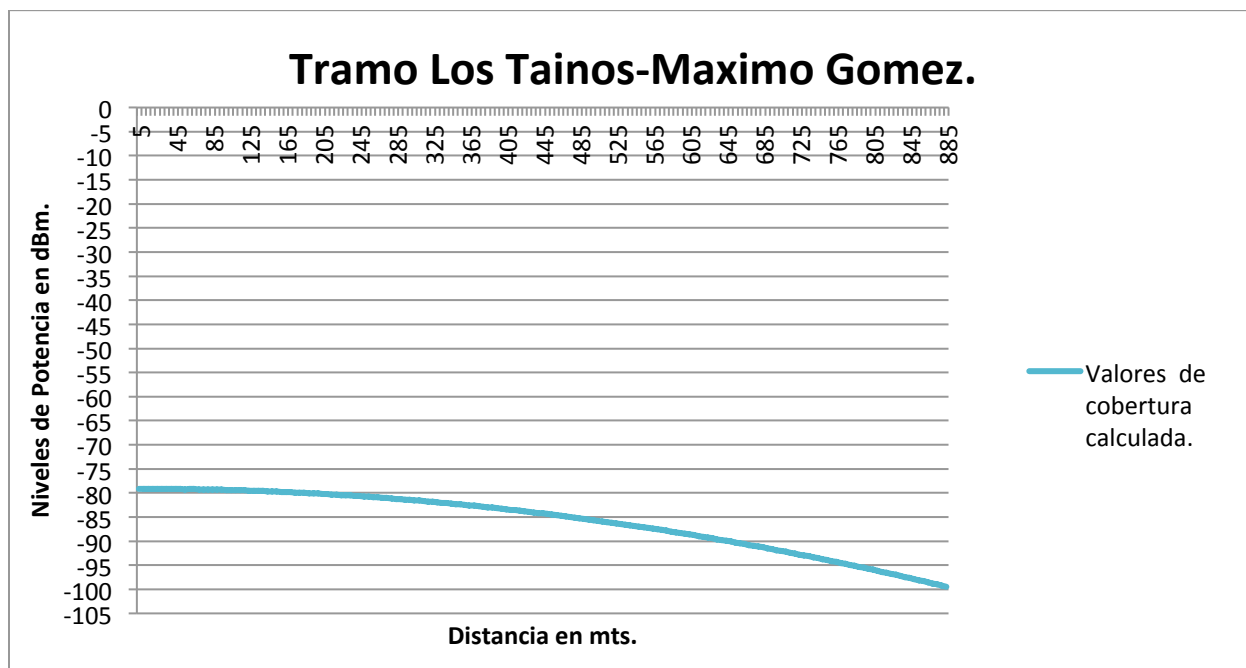
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Pedro Livio Cedeño y Los Tainos.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 9 – Livio Cedeño-Tainos.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

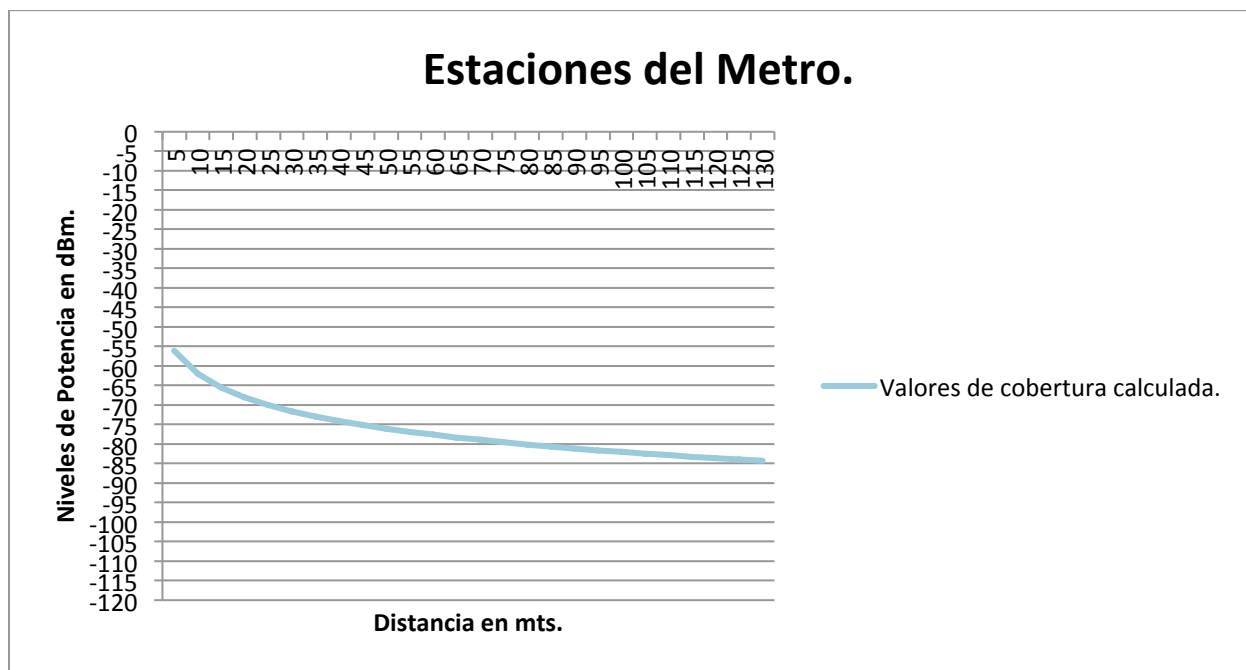
Gráfica de lo cálculos de propagación del tramo del túnel comprendido entre las estaciones Los Tainos y Máximo Gómez.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 10 – Tainos-Gomez.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Gráfica de lo cálculos de propagación de las estaciones de la línea del metro de Santo Domingo.

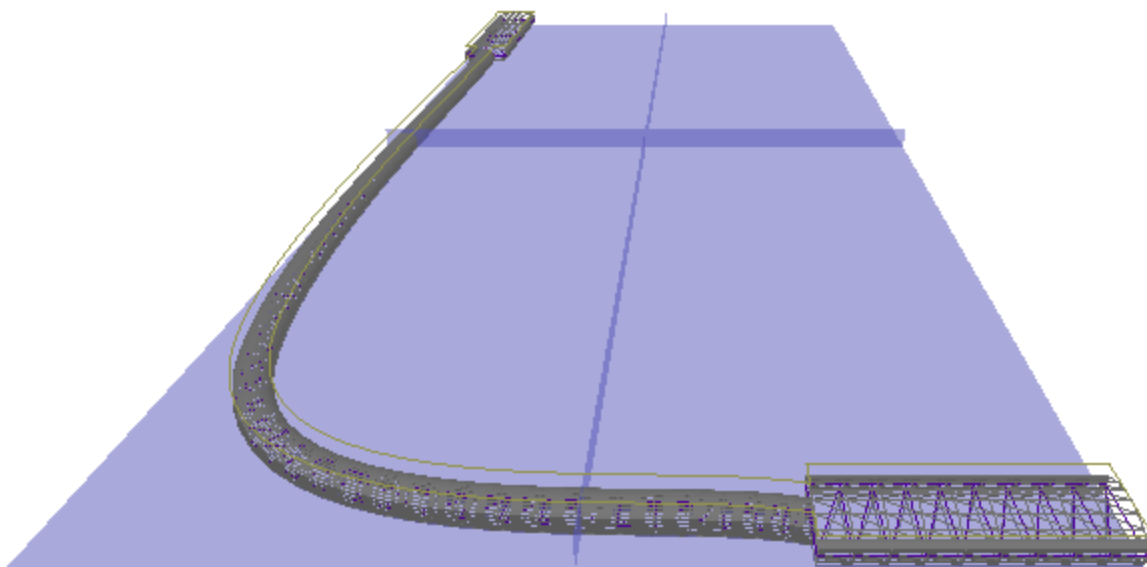


Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 02/Secciones & Referencias/03 – Calculo de Propagación, el archivo de Excel que lleva por nombre Cálculos de Propagacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Estaciones.

Anexo C

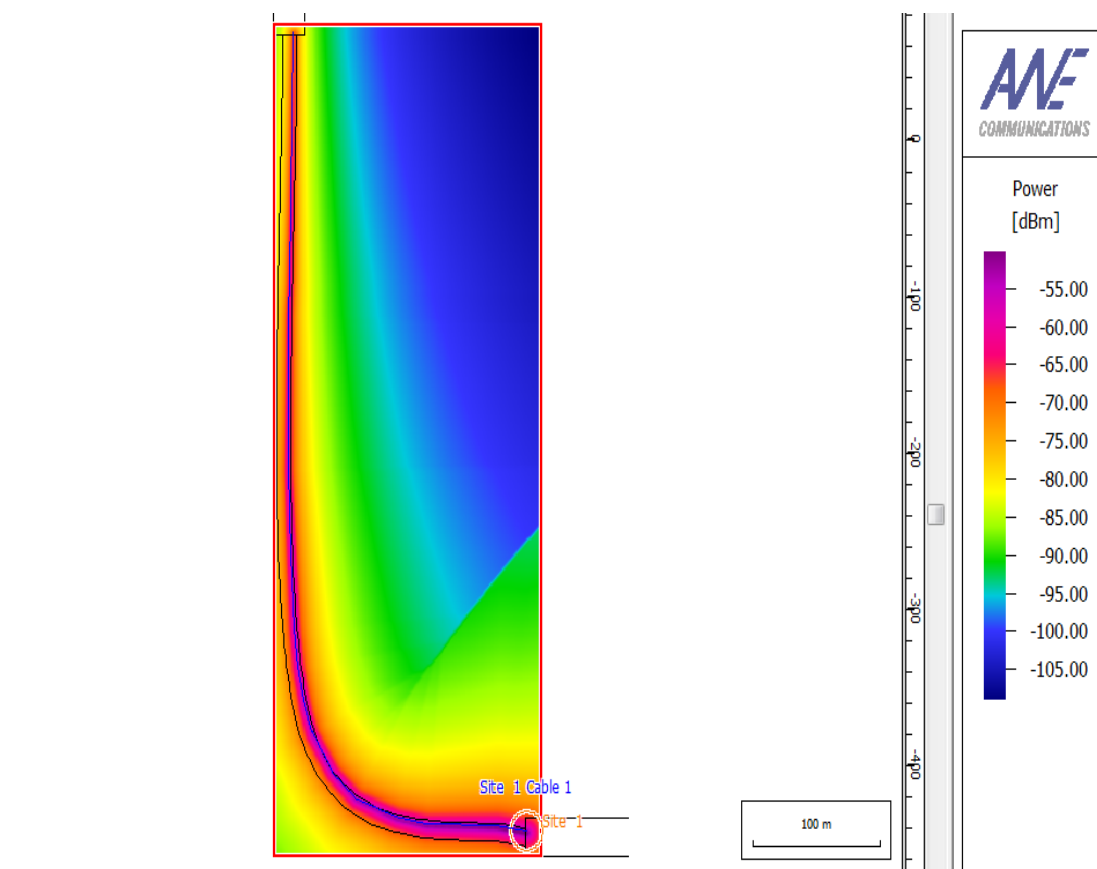
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 1 del túnel comprendido entre las estaciones Centro de los Héroes y Francisco Caamaño.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

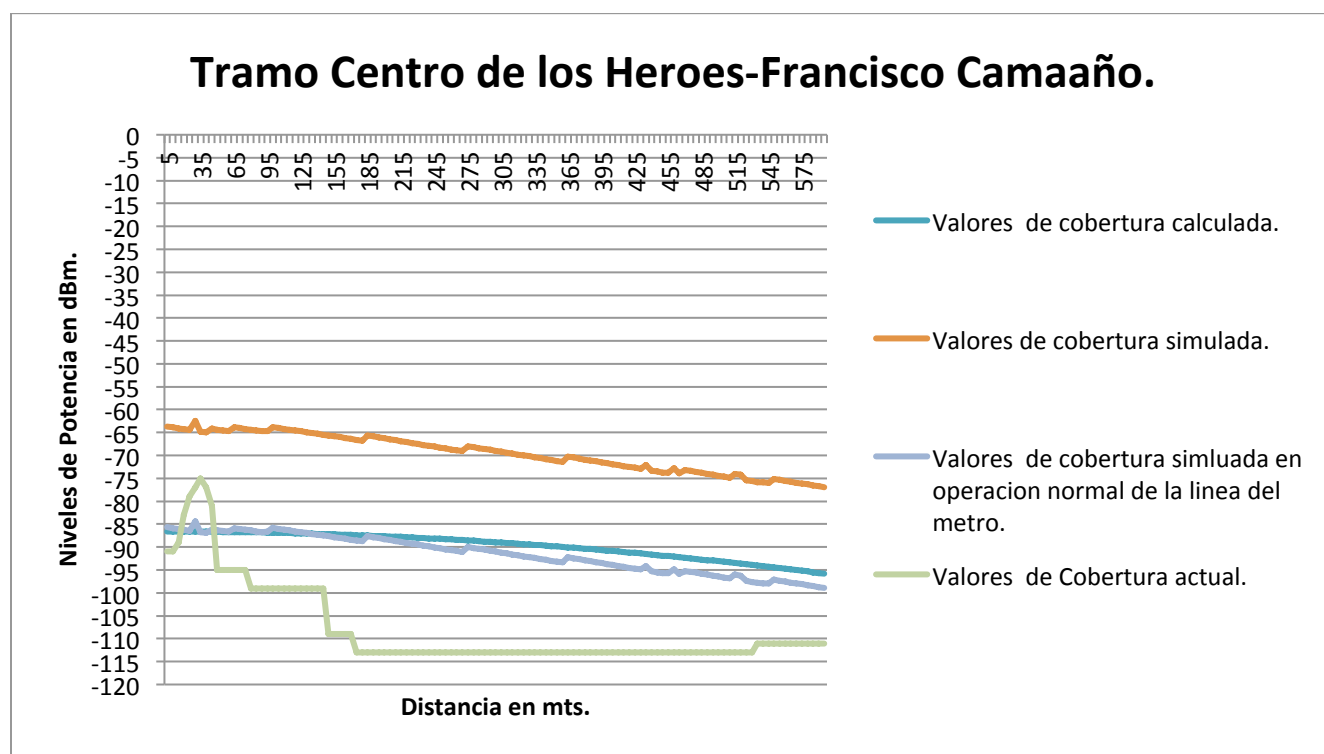
Simulación de cobertura tramo 1.



Potencia transmisión (dBm)	11.44	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-86.59784983	300	-88.93719983
100	-86.85719983	400	-90.75719983
200	-87.63719983	500	-93.09719983

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

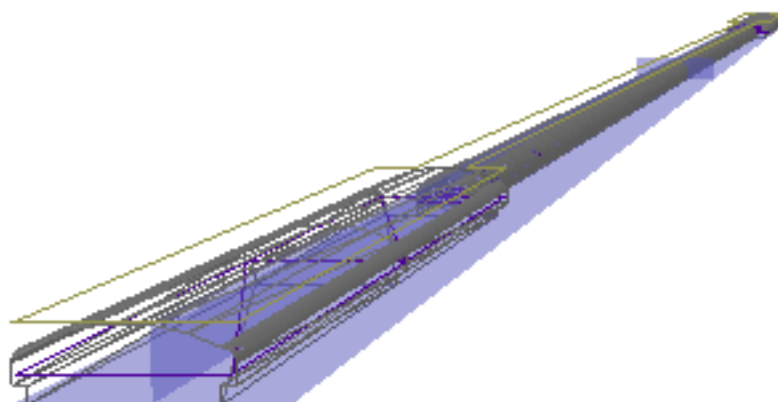
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 1 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 1 – Feria-Caamaño.

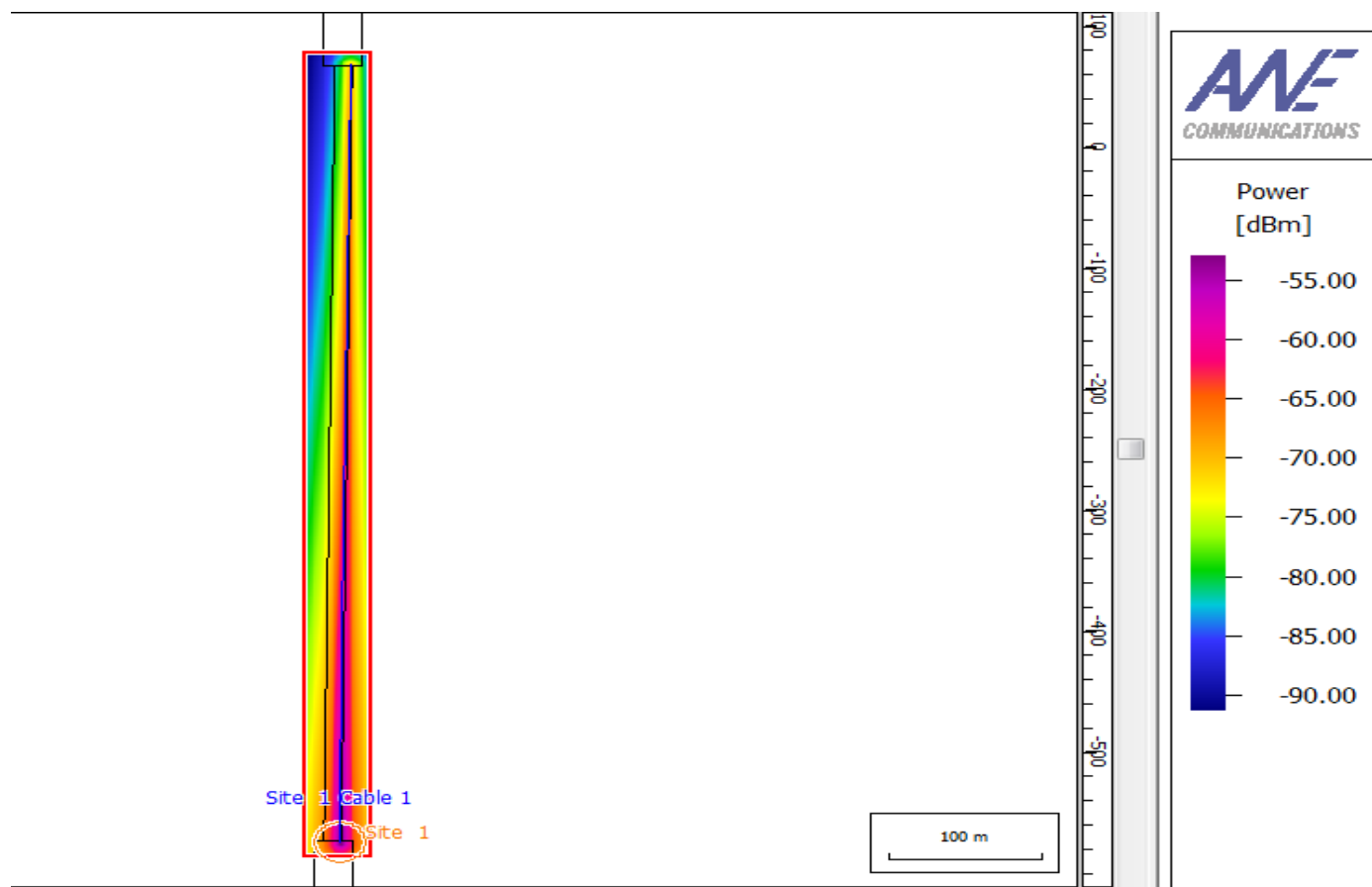
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 2 del túnel comprendido entre las estaciones Francisco Caamaño y Amín Abel.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

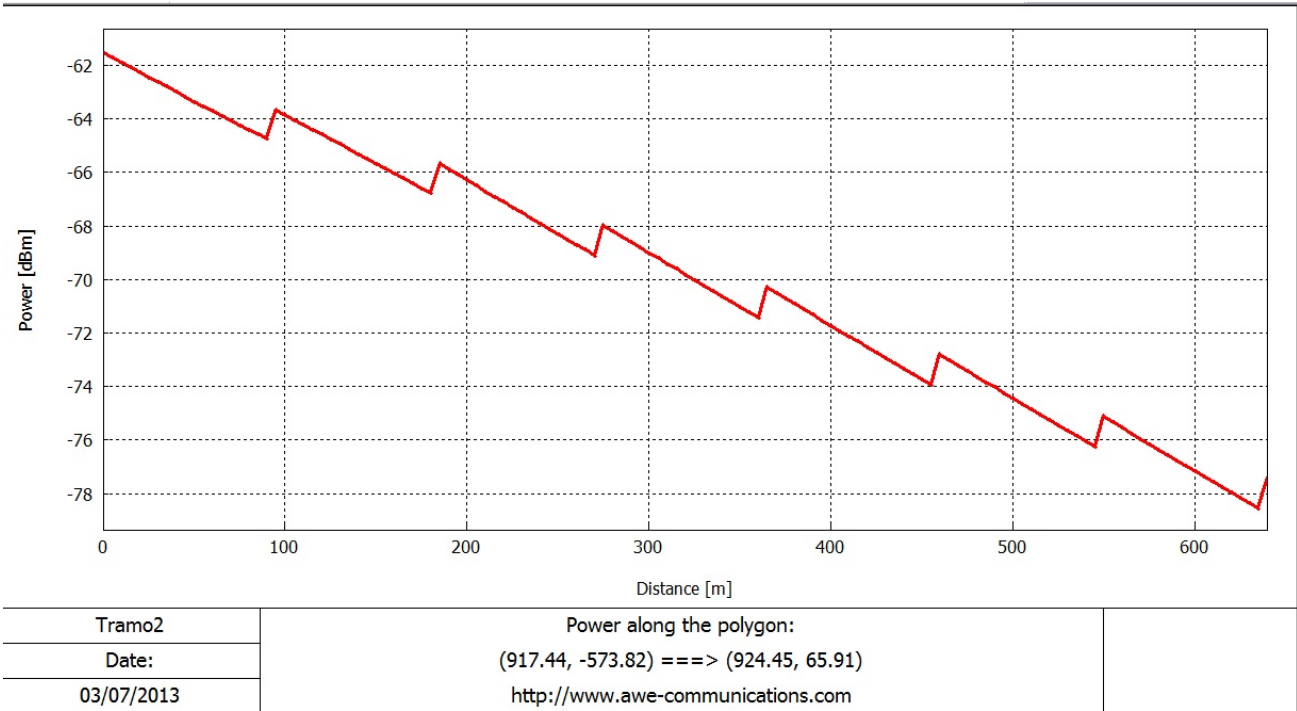
Simulación Tramo 2.



Potencia transmisión (dBm)		Cobertura deseada (dBm)	
12.64		-90	
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-85.40184983	300	-87.74119983
100	-85.66119983	400	-89.56119983
200	-86.44119983	500	-91.90119983
		600	-94.76119983

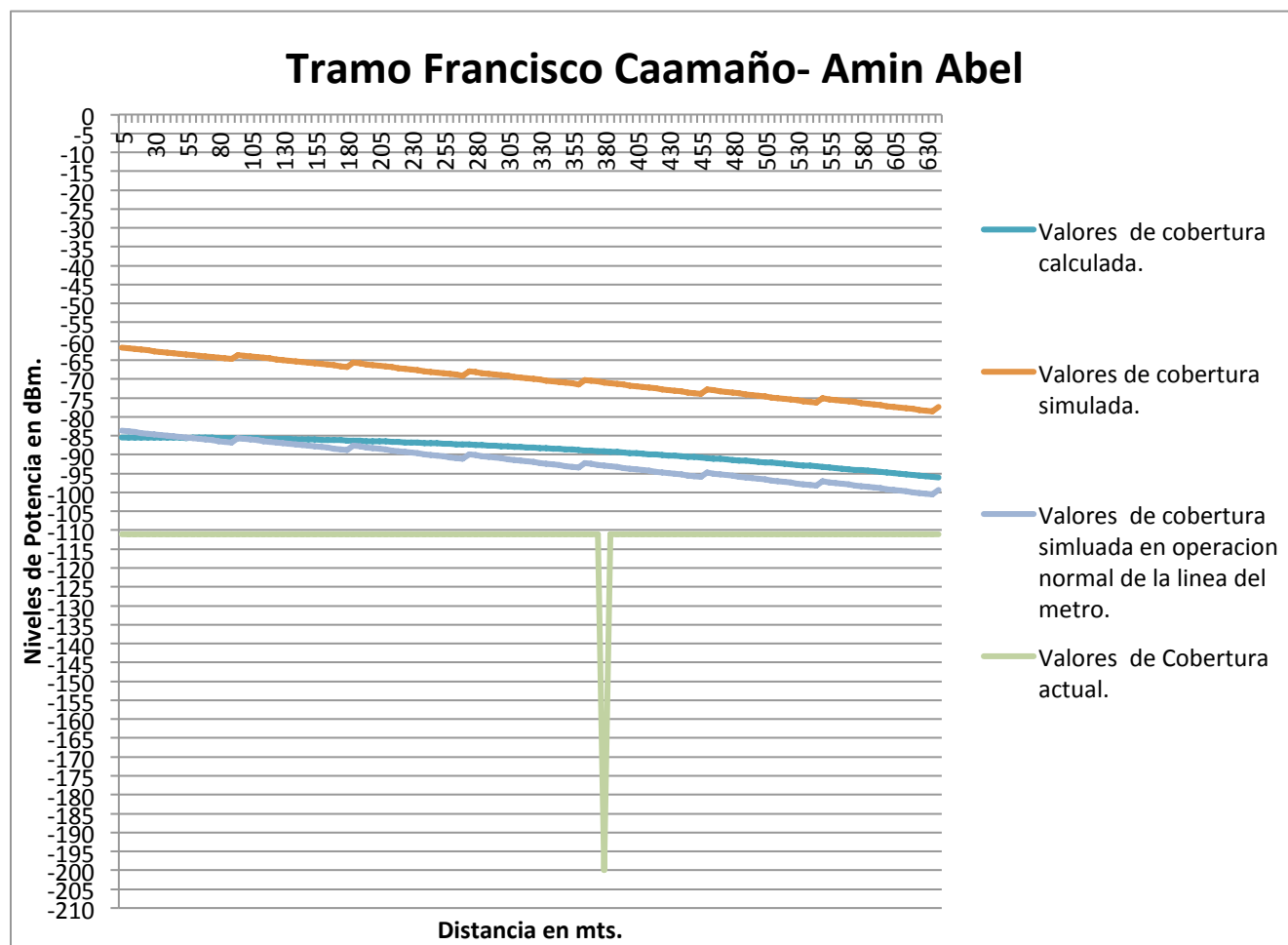
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

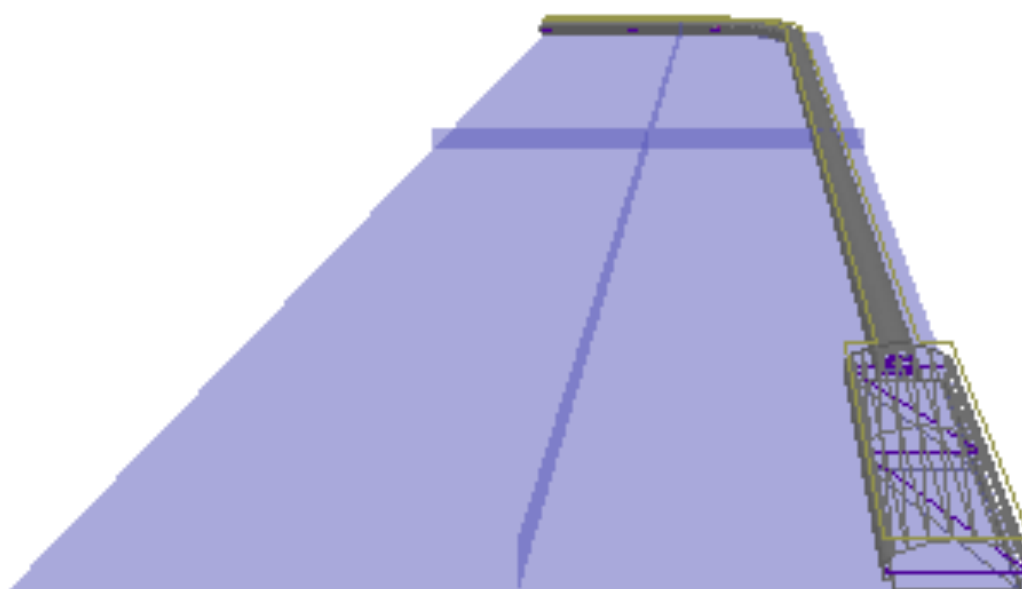
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 2 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 2 – Caamaño- Abel Hasbun.

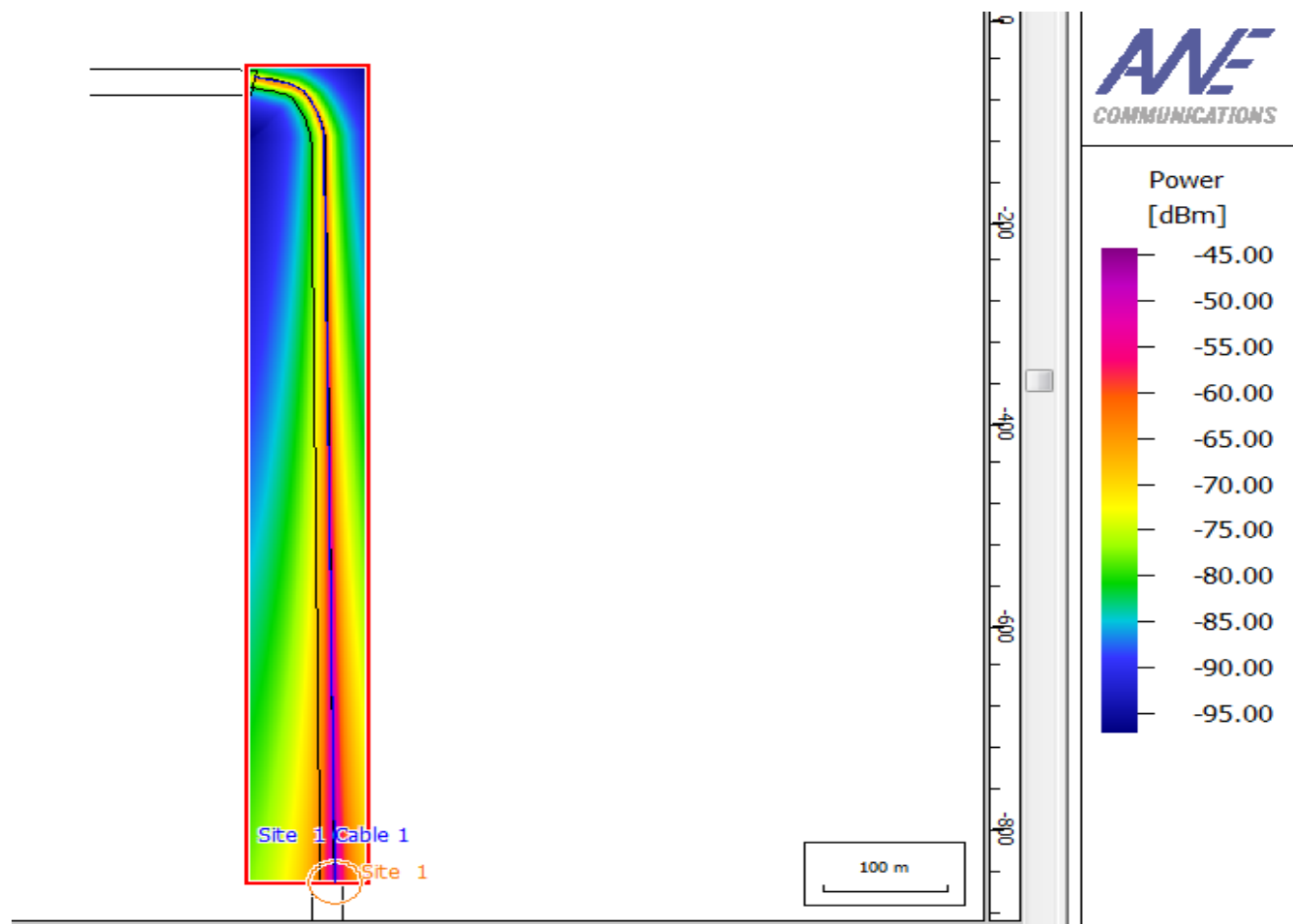
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo del túnel 3 comprendido entre las estaciones Amín Abel y Joaquín Balaguer.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

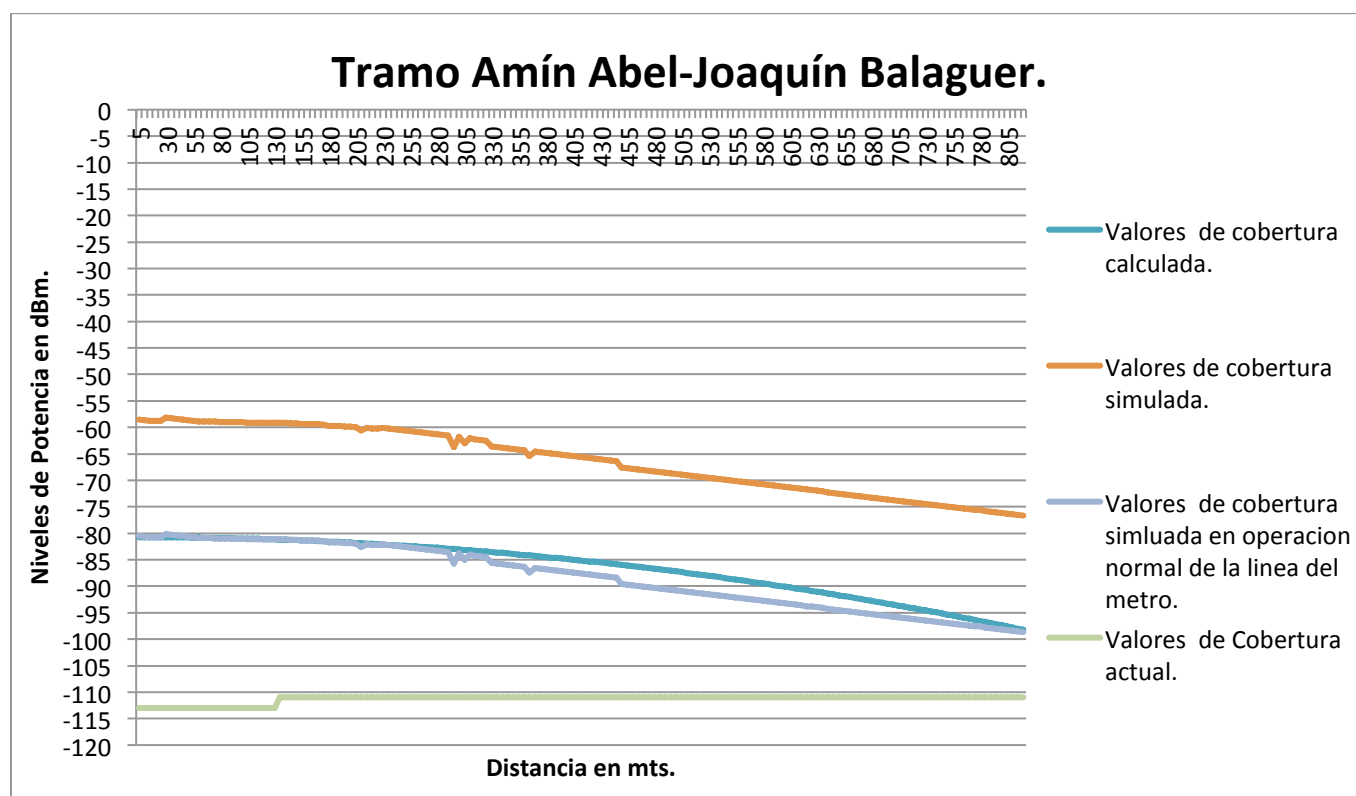
Simulación tramo 3.



Potencia transmisión (dBm)	17.32	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-80.72184983	400	-84.88119983
100	-80.98119983	500	-87.22119983
200	-81.76119983	600	-90.08119983
300	-83.06119983	700	-93.46119983
		800	-97.36119983

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

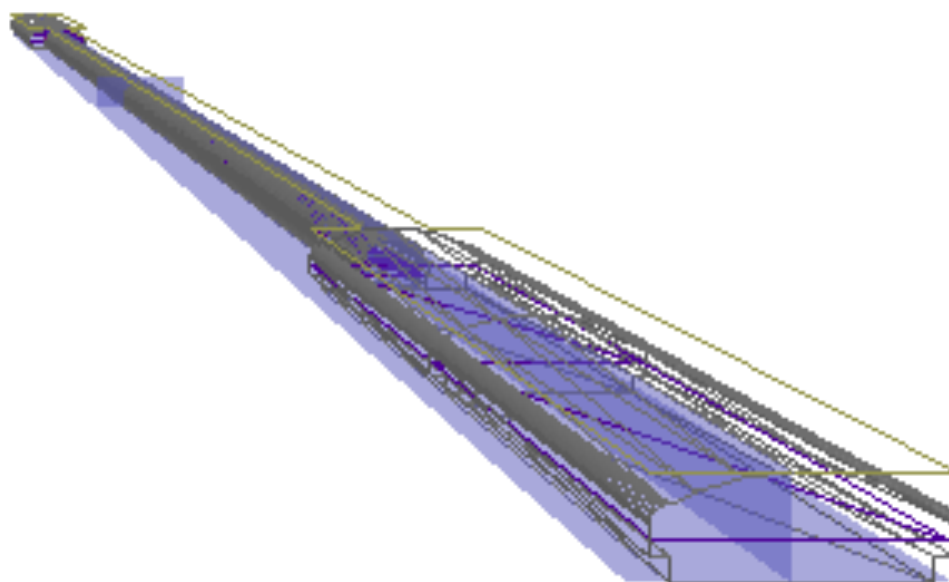
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 3 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 3 – Abel Hasbun-Balaguer.

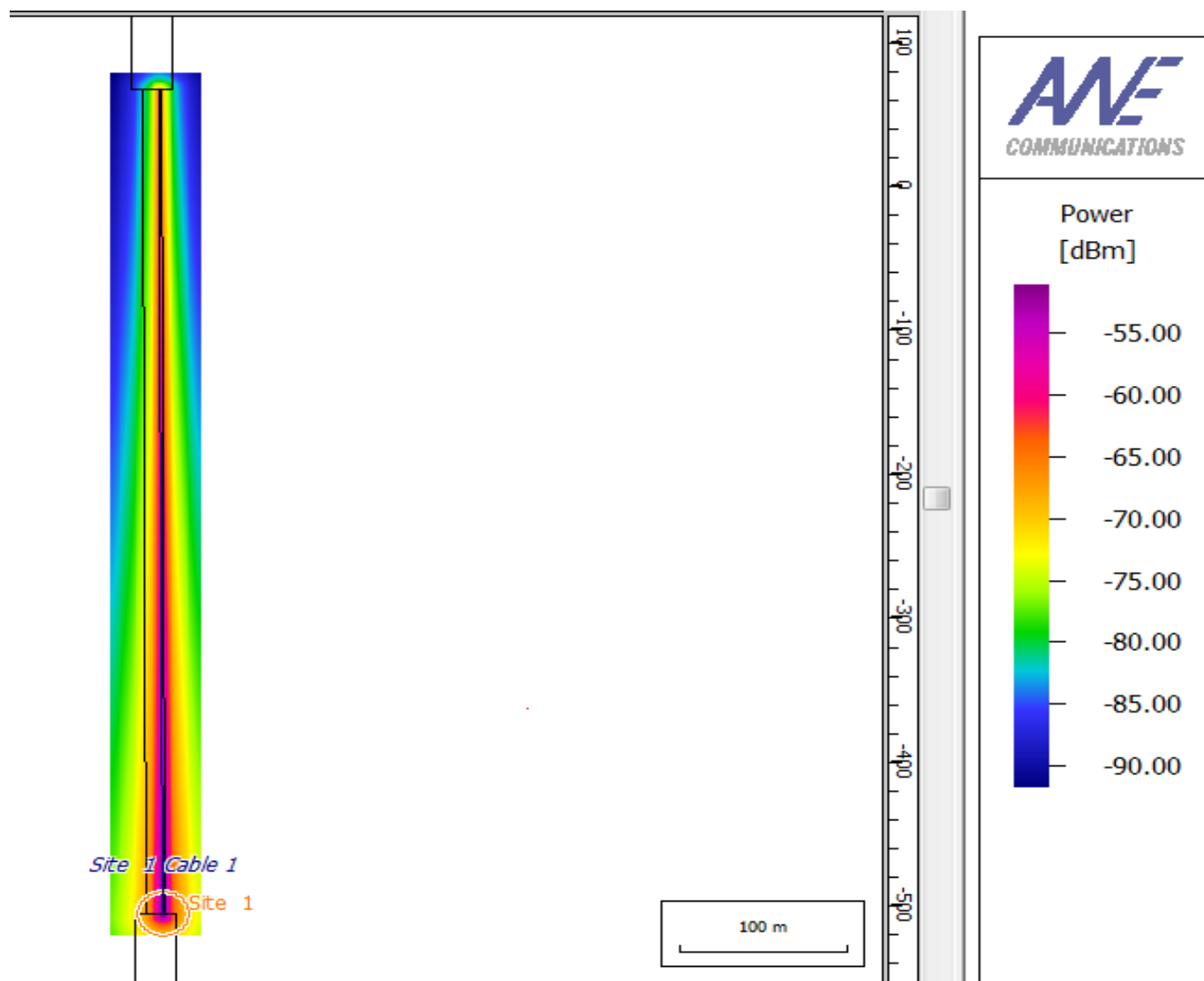
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 4 del túnel comprendido entre las estaciones Joaquín Balaguer y Casandra Damirón.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

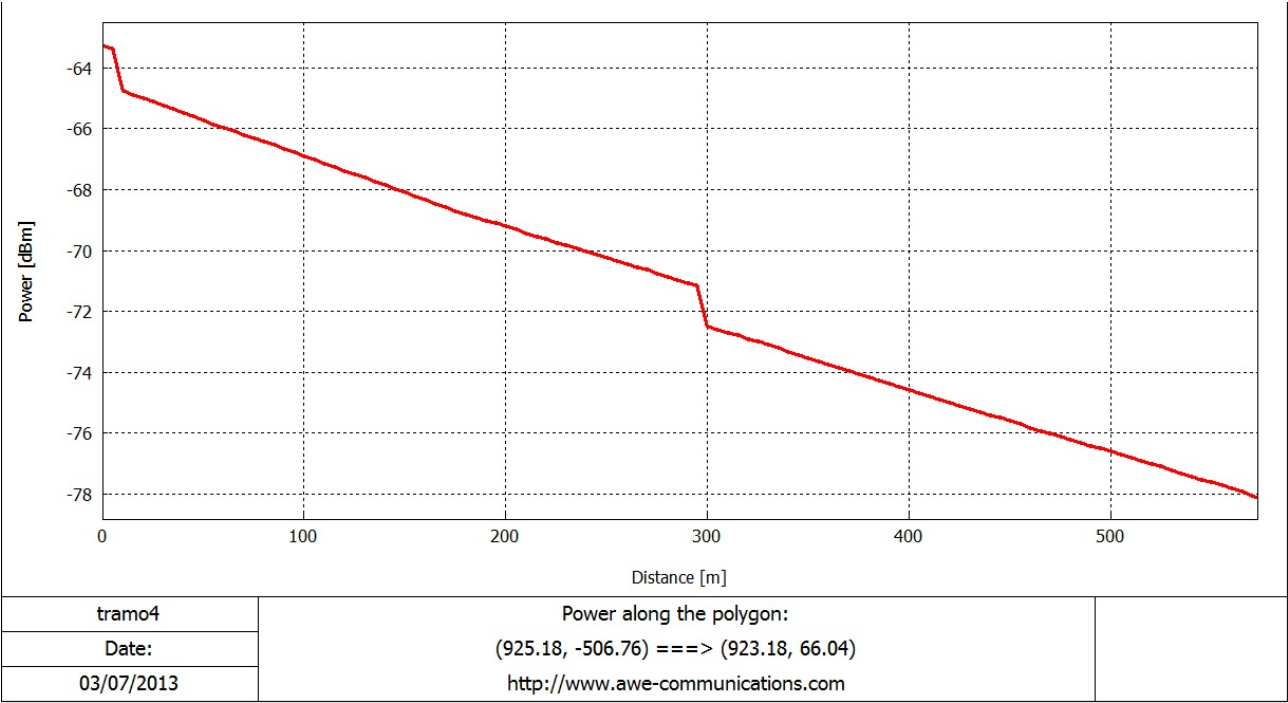
Simulación tramo 4.



Potencia transmisión (dBm)	10.872	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-87.16984983	300	-89.50919983
100	-87.42919983	400	-91.32919983
200	-88.20919983	500	-93.66919983

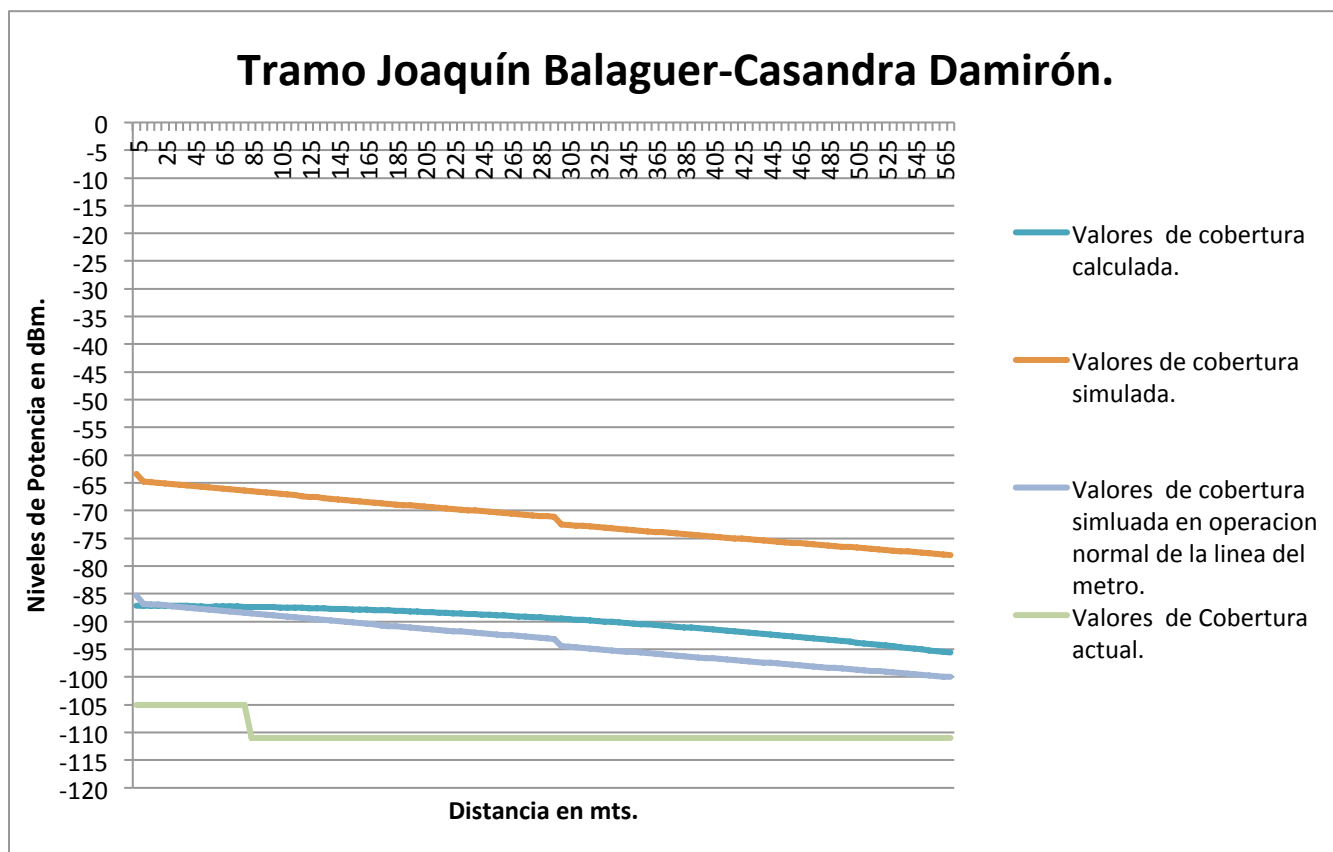
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

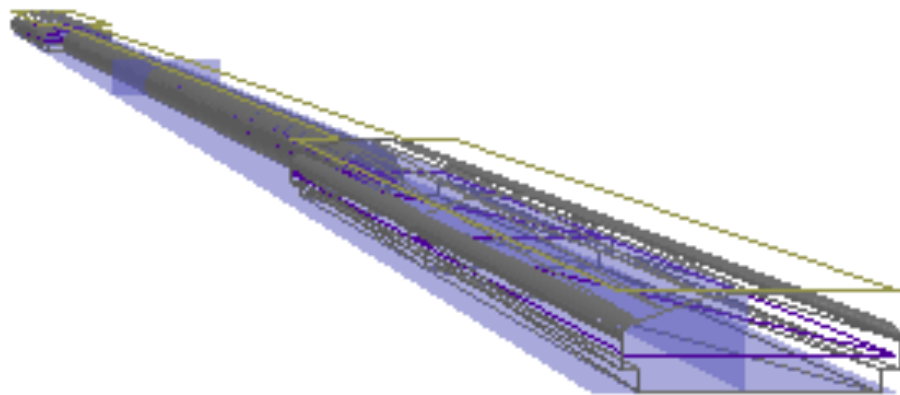
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 4 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 4 – Balaguer-Damiron.

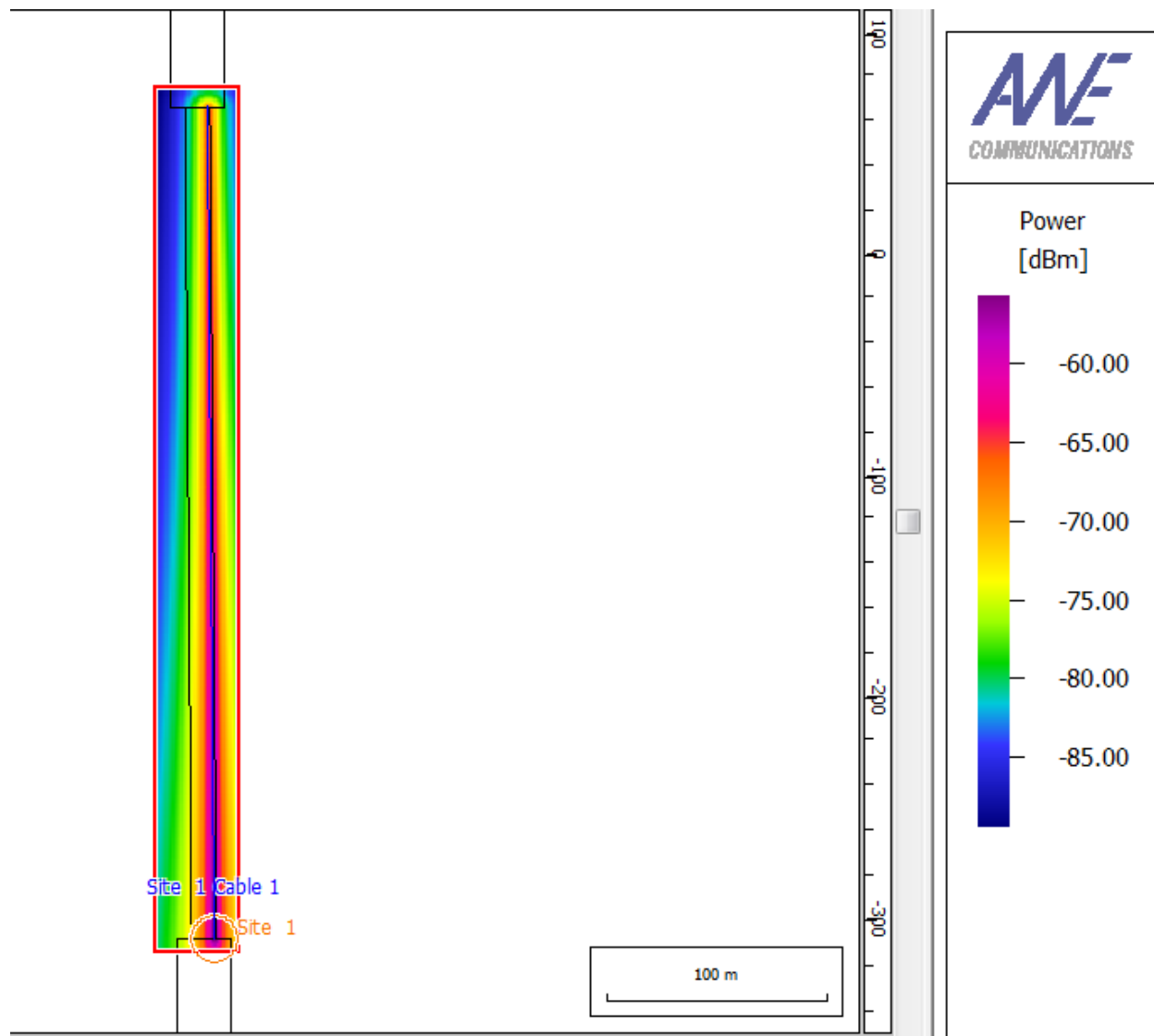
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 5 del túnel comprendido entre las estaciones Casandra Damirón y Juan Bosch.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

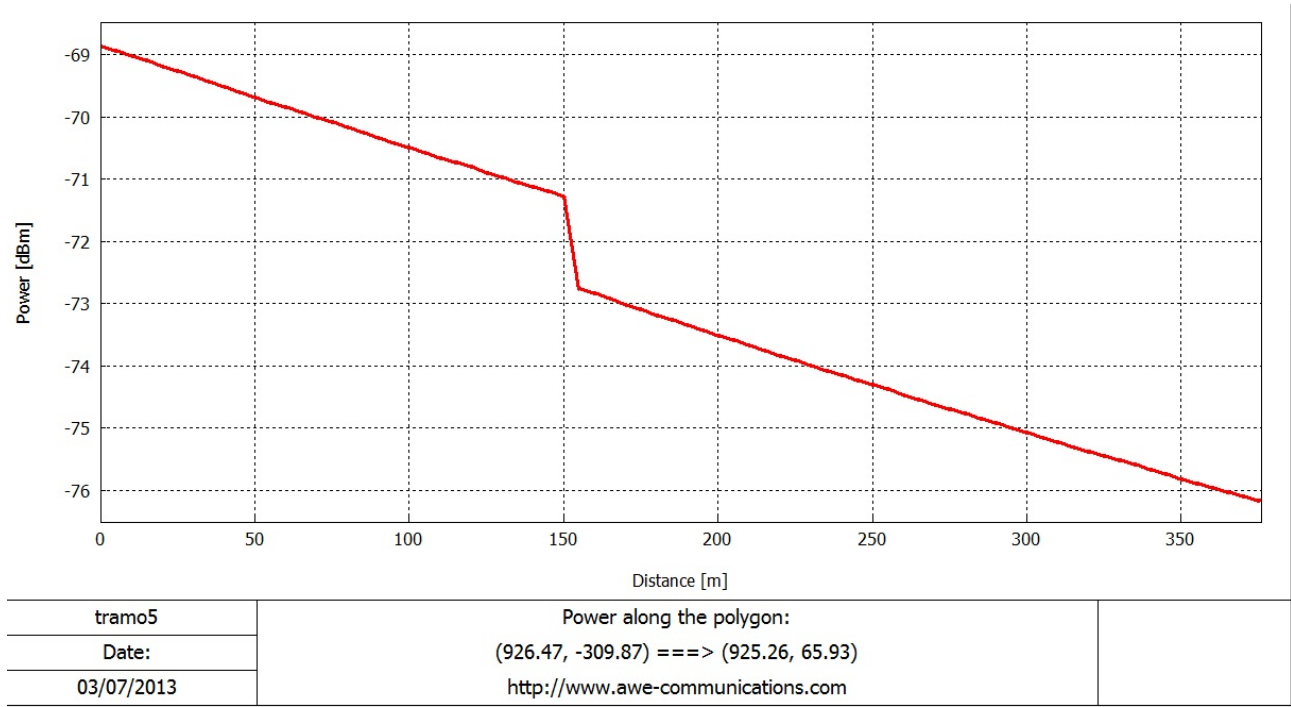
Simulación tramo 5.



Potencia transmisión (dBm)	5.776	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-92.26584983	200	-93.30519983
100	-92.52519983	300	-94.60519983

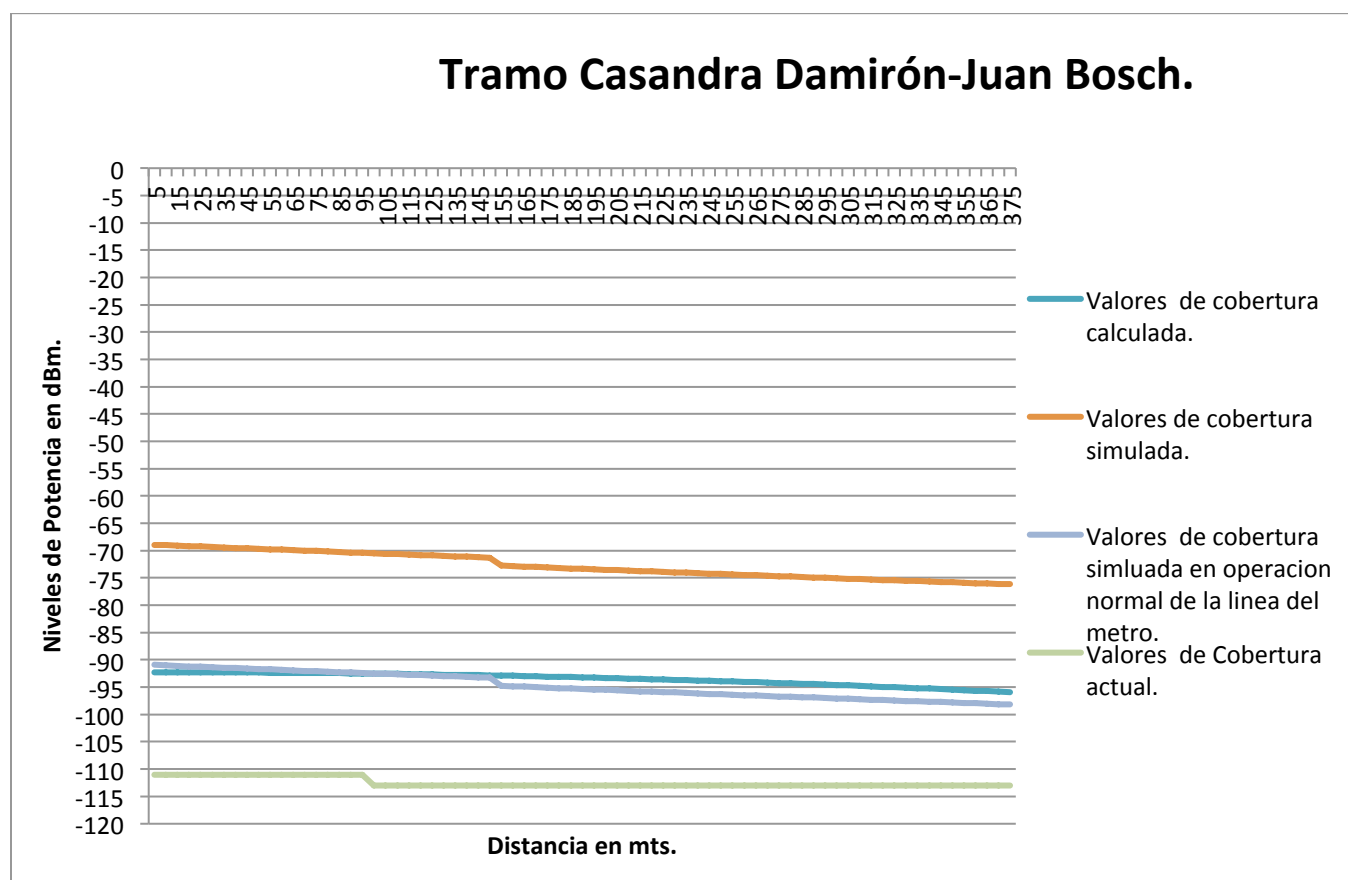
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

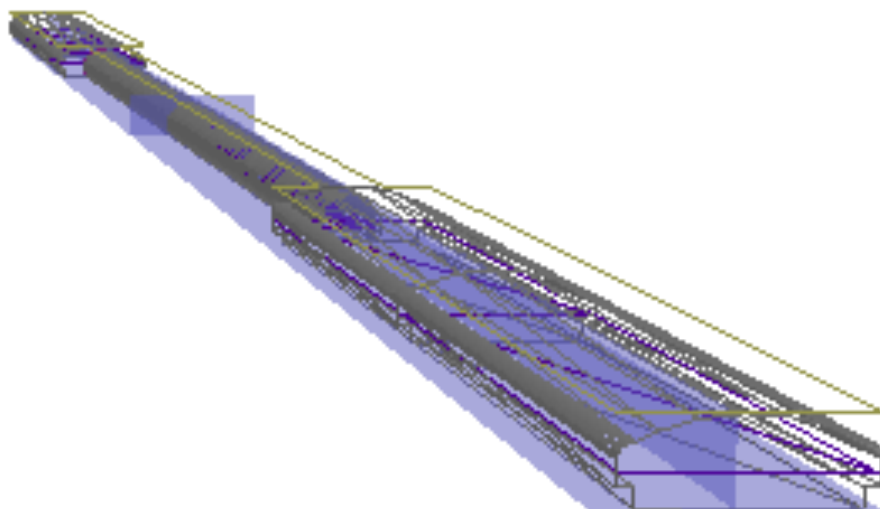
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 5 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 5 – Damiron-Bosch.

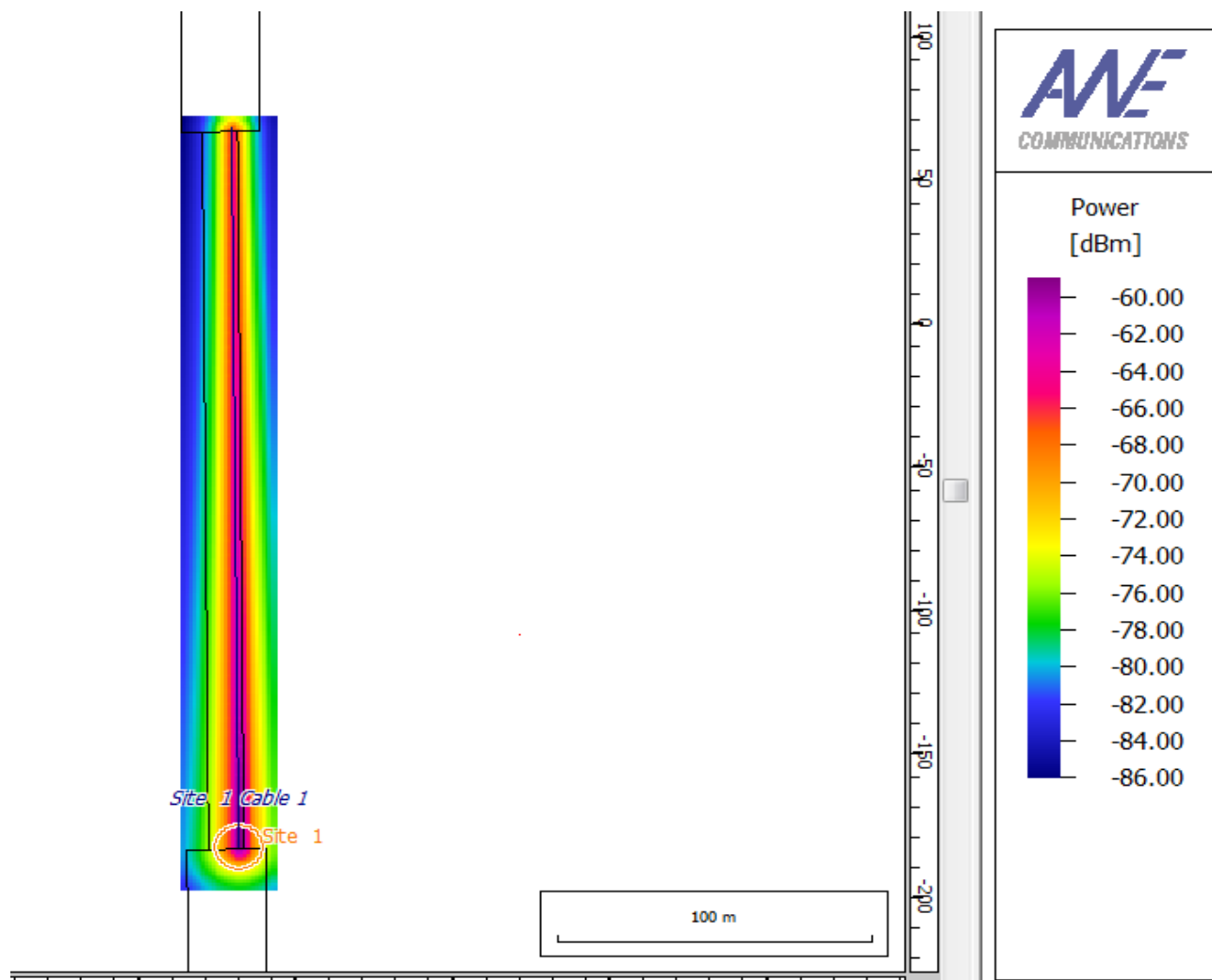
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 6 del túnel comprendido entre las estaciones Juan Bosch y Juan Pablo Duarte.



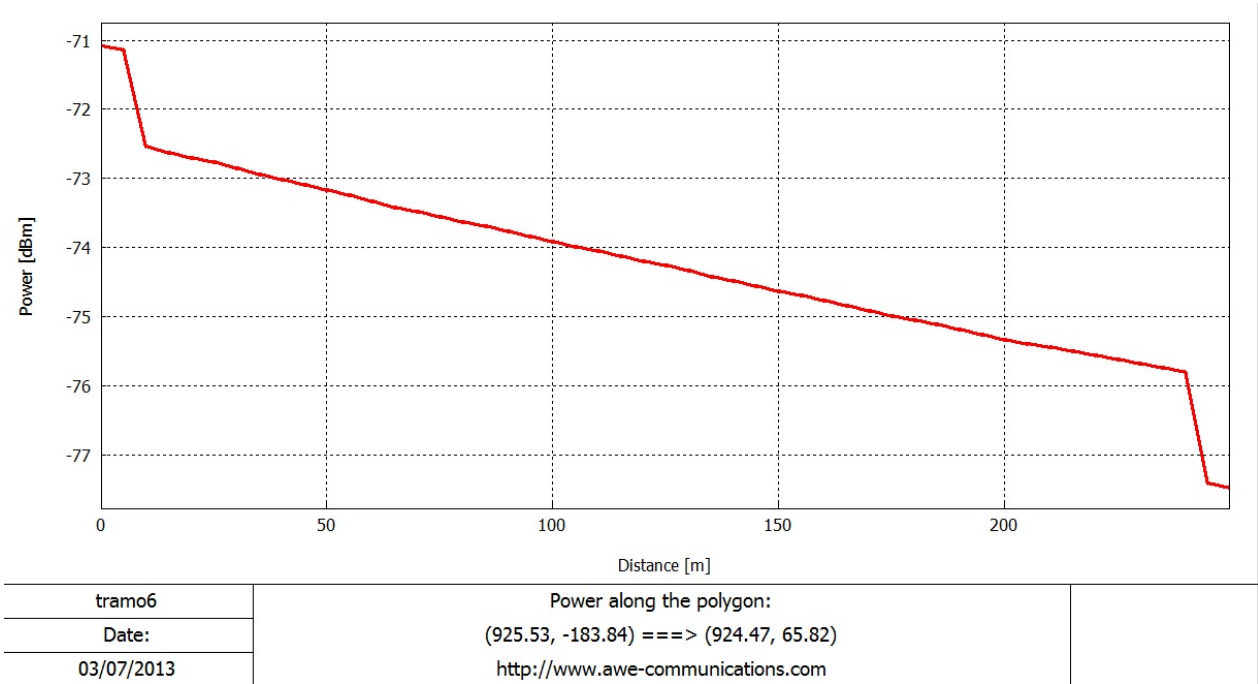
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Simulación tramo 6.



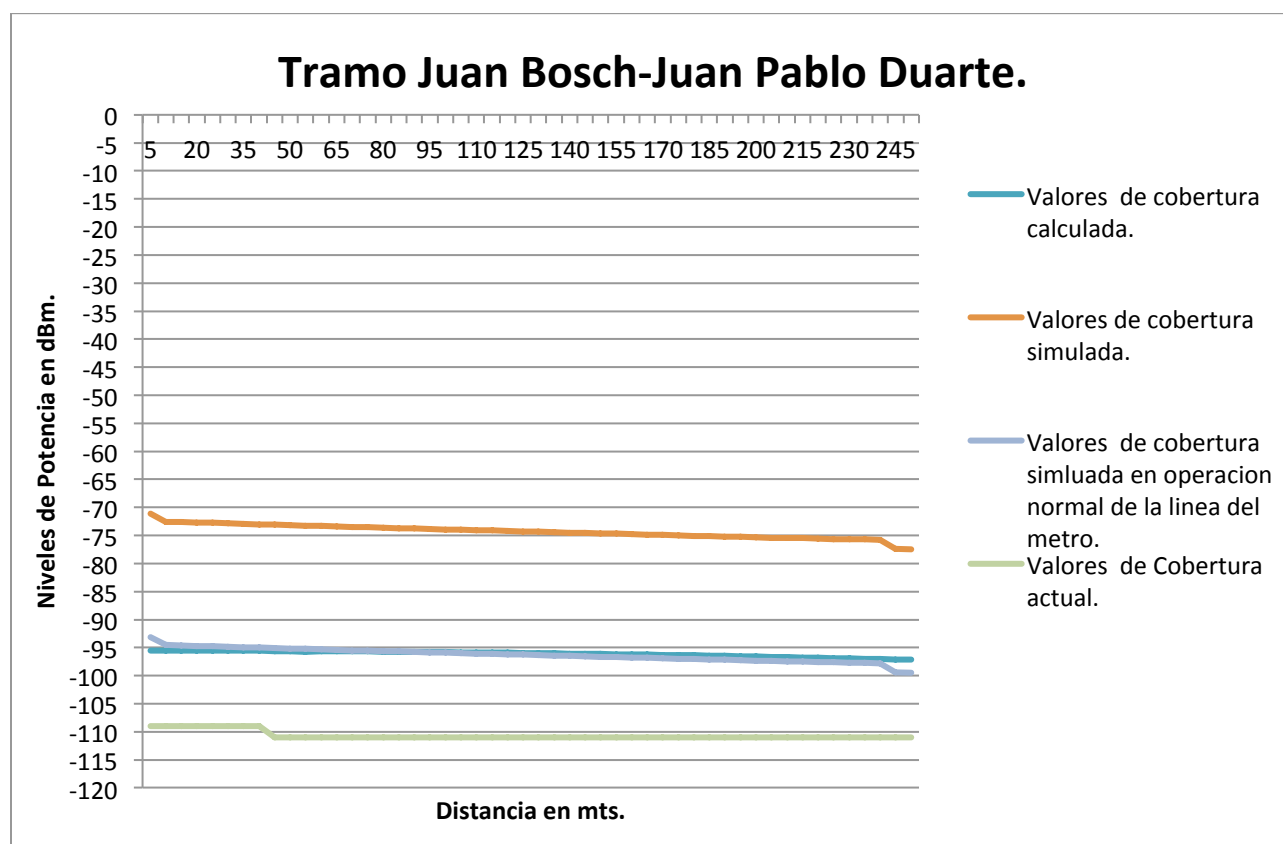
Potencia transmisión (dBm)	2.5	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-95.54184983	200	-96.58119983
100	-95.80119983	250	-97.16619983

Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

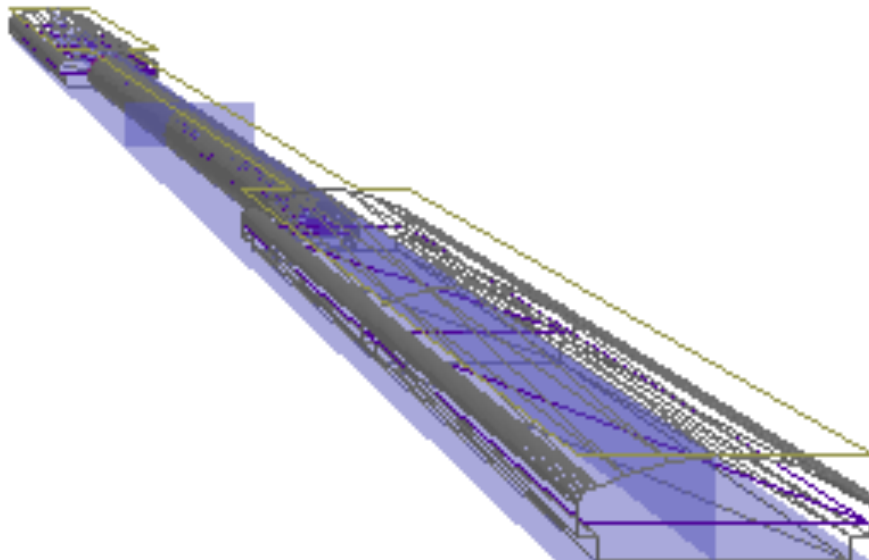
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 6 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 6 – Bosch-Duarte.

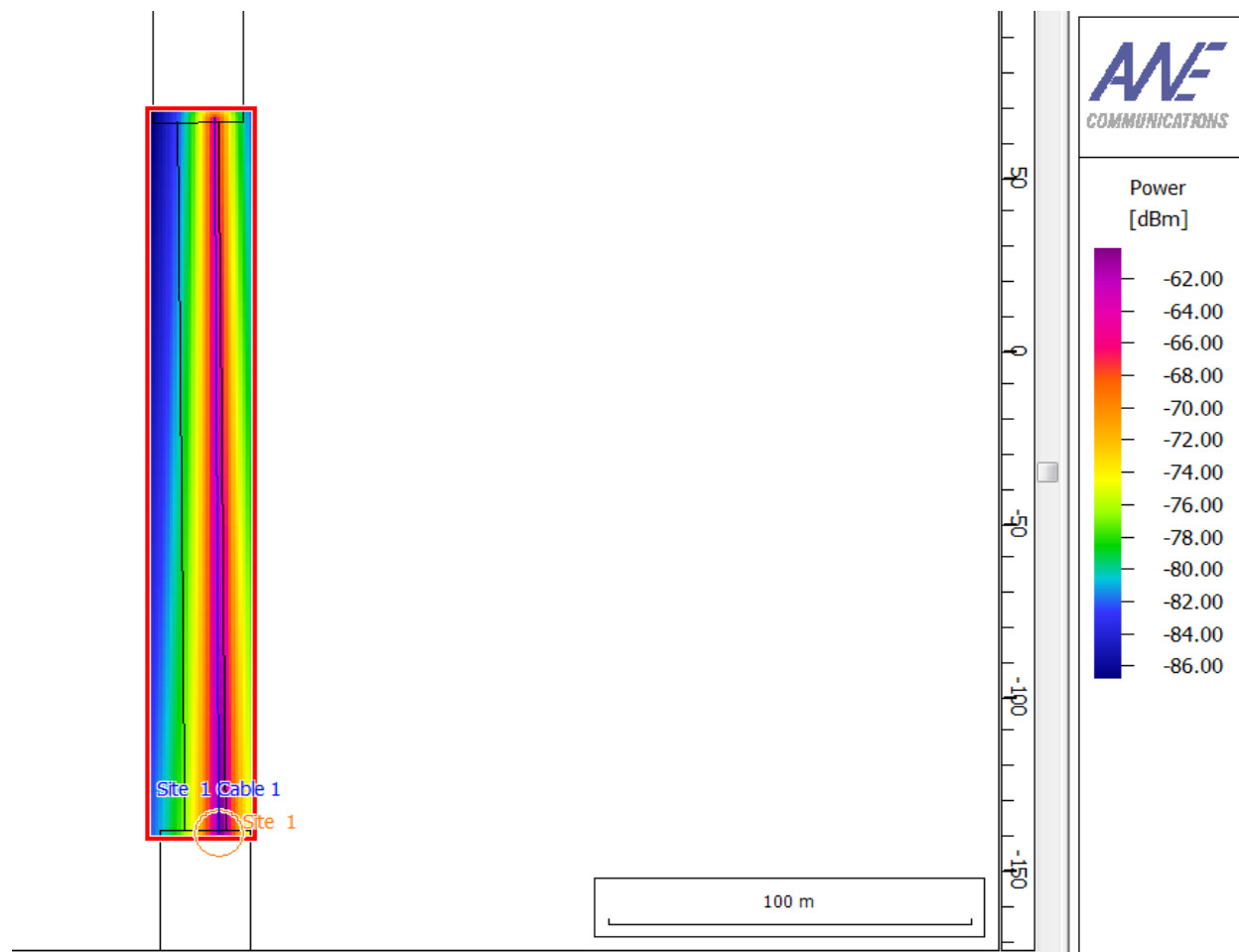
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 7 del túnel comprendido entre las estaciones Juan Pablo Duarte y Peña Batlle.



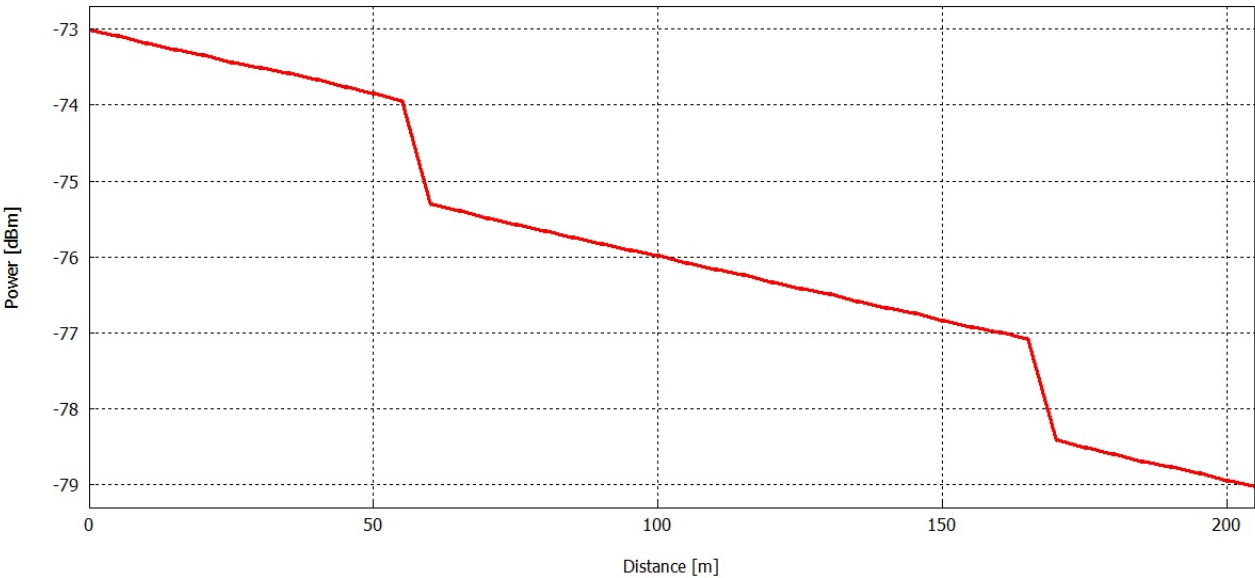
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Simulación tramo 7.



Potencia transmisión (dBm)	1.33	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-96.71184983	200	-97.75119983
100	-96.97119983		

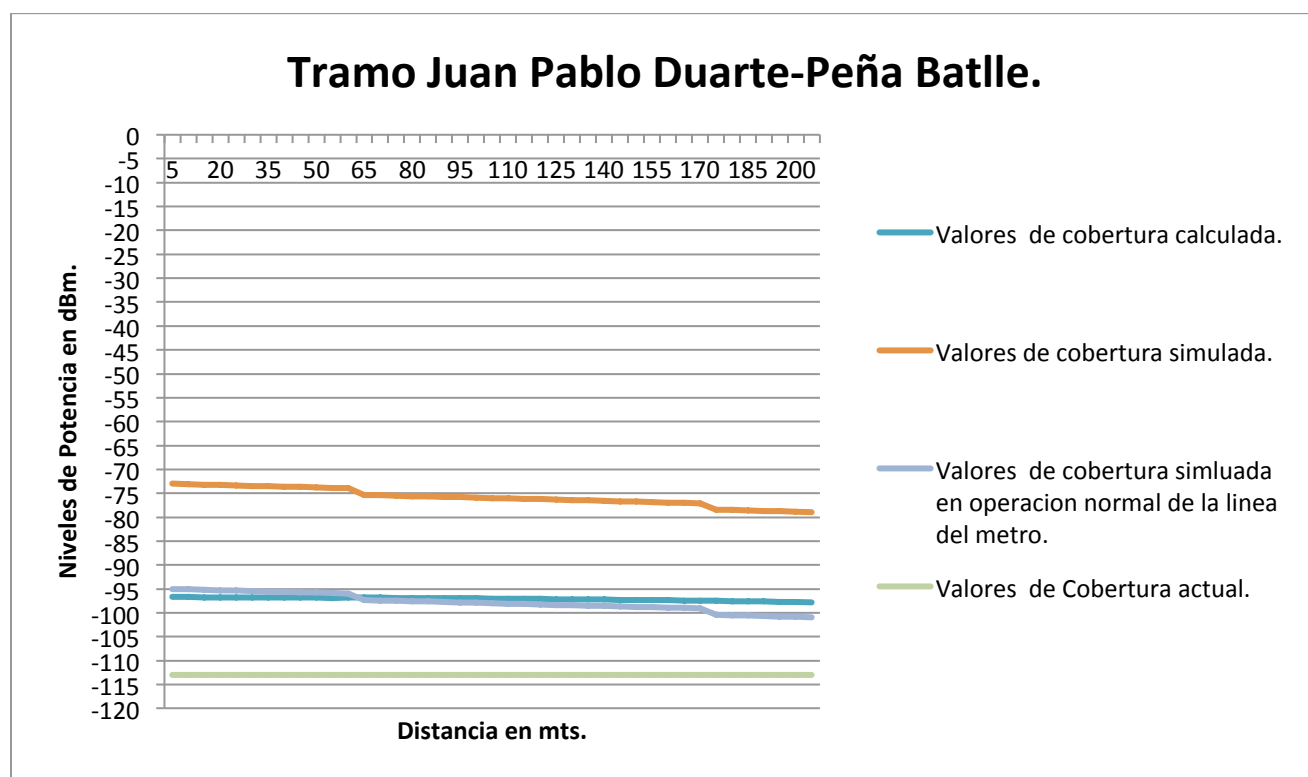
Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.



tramo7	Power along the polygon:
Date:	(925.44, -138.82) ==> (923.54, 65.90)
03/07/2013	http://www.awe-communications.com

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

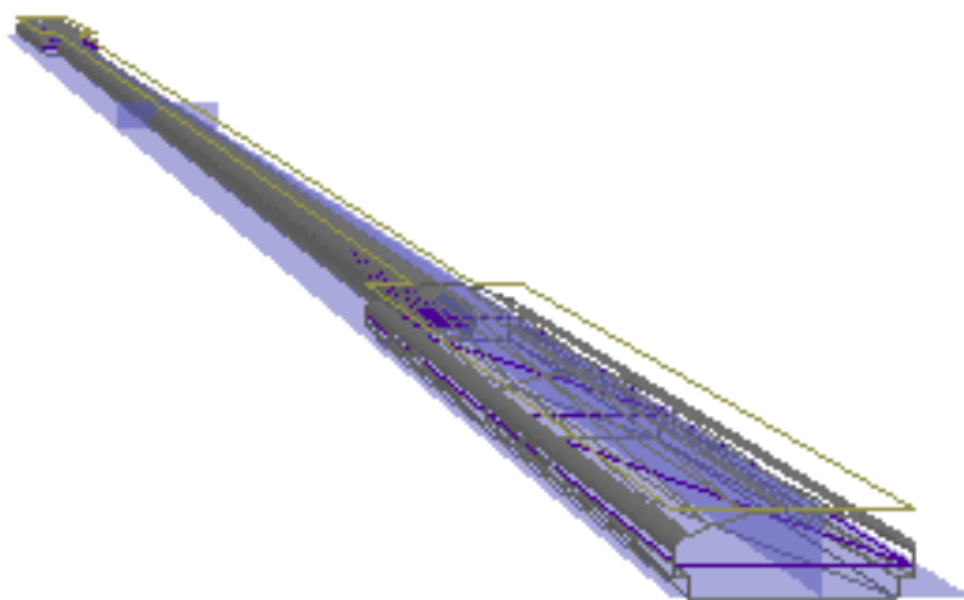
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 7 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 7 – Duarte-Peña Batlle.

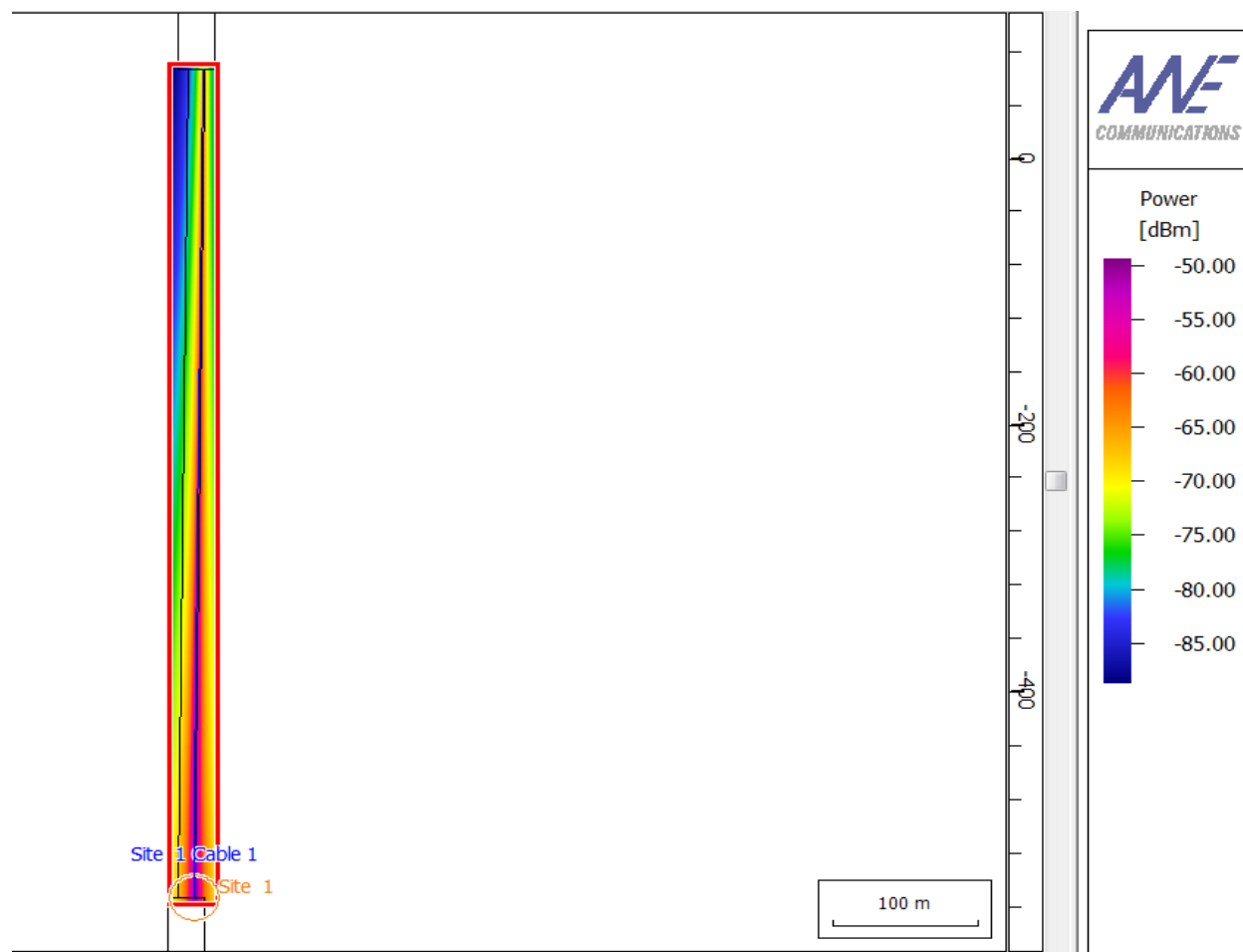
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 8 del túnel comprendido entre las estaciones Peña Batlle y Pedro Livio Cedeño.



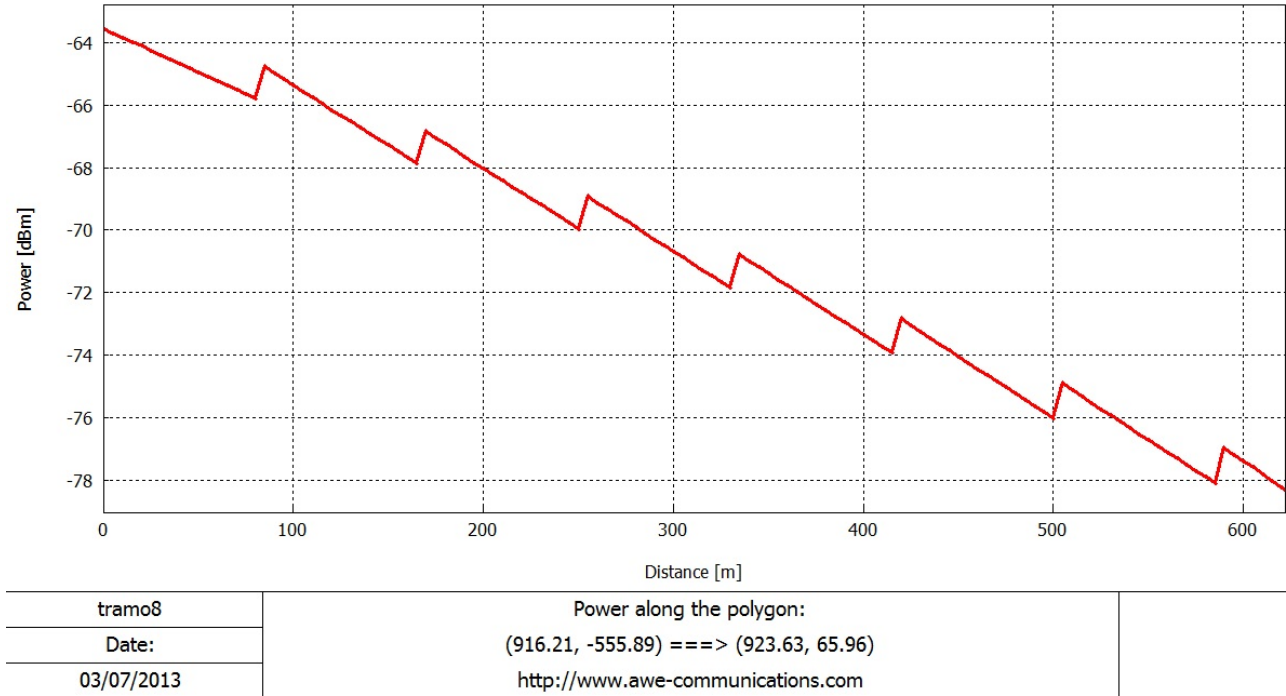
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Simulación tramo 8.

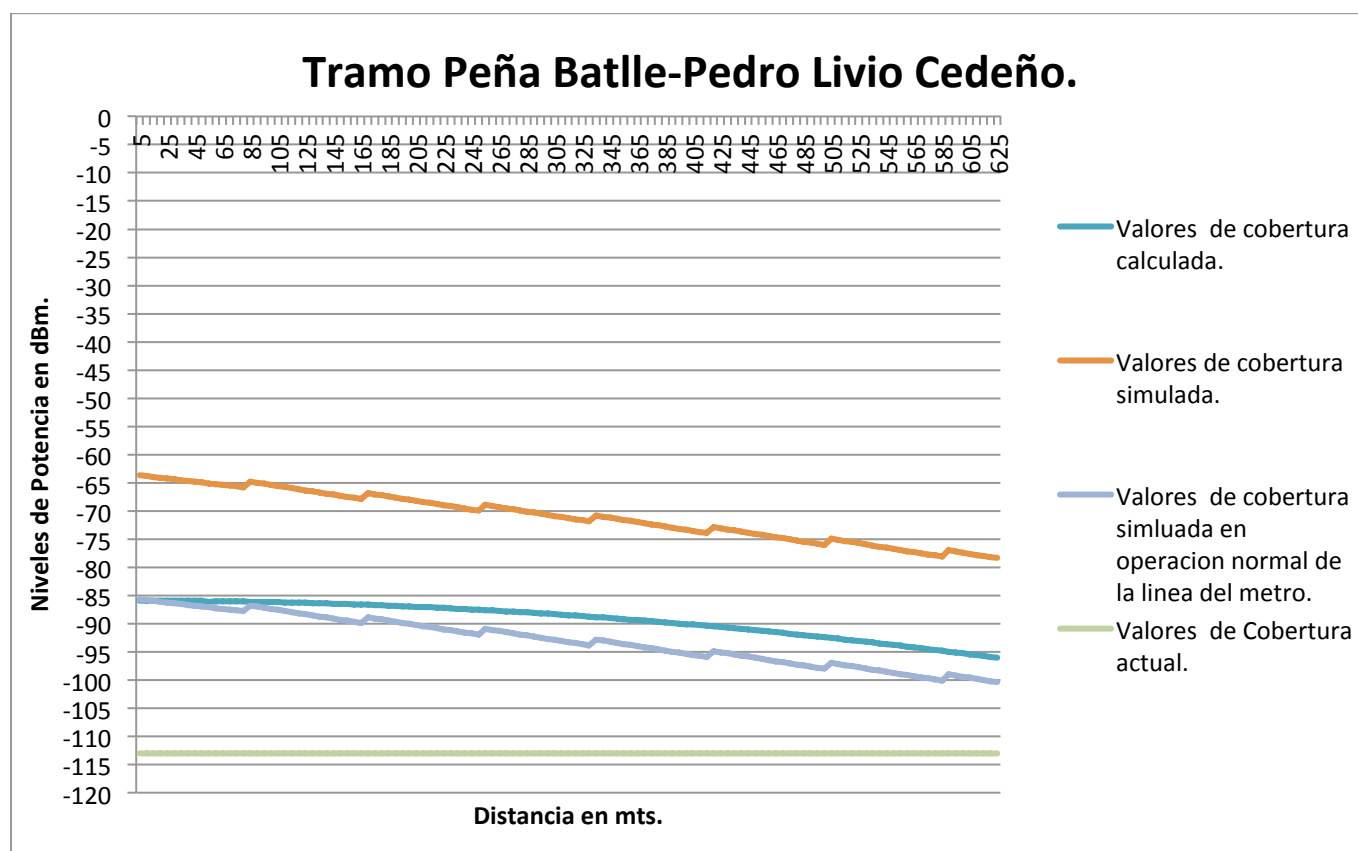


Potencia transmisión (dBm)	12.146	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-85.89584983	400	-90.05519983
100	-86.15519983	500	-92.39519983
200	-86.93519983	600	-95.25519983
300	-88.23519983		

Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.



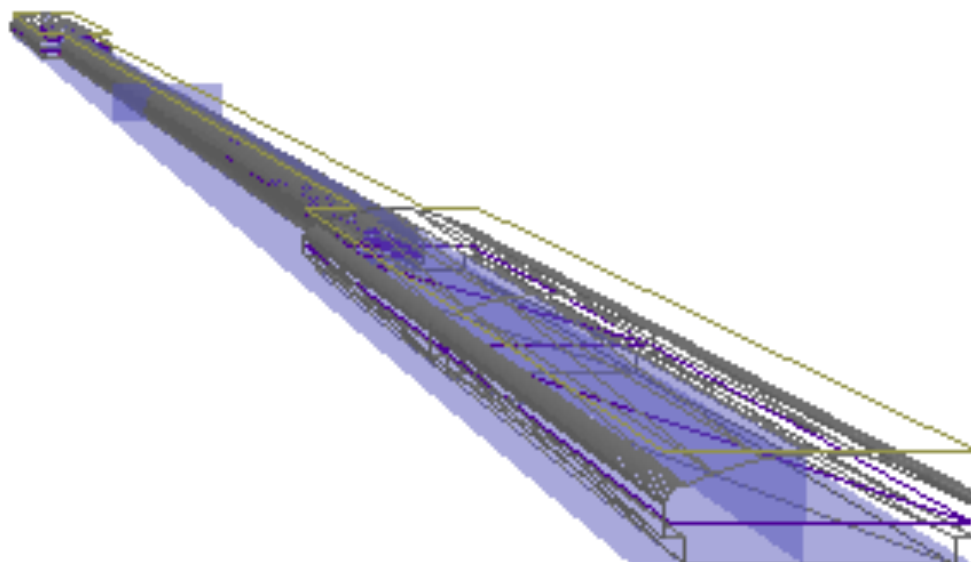
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 8 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 8 – Peña Batlle-Livio Cedeño.

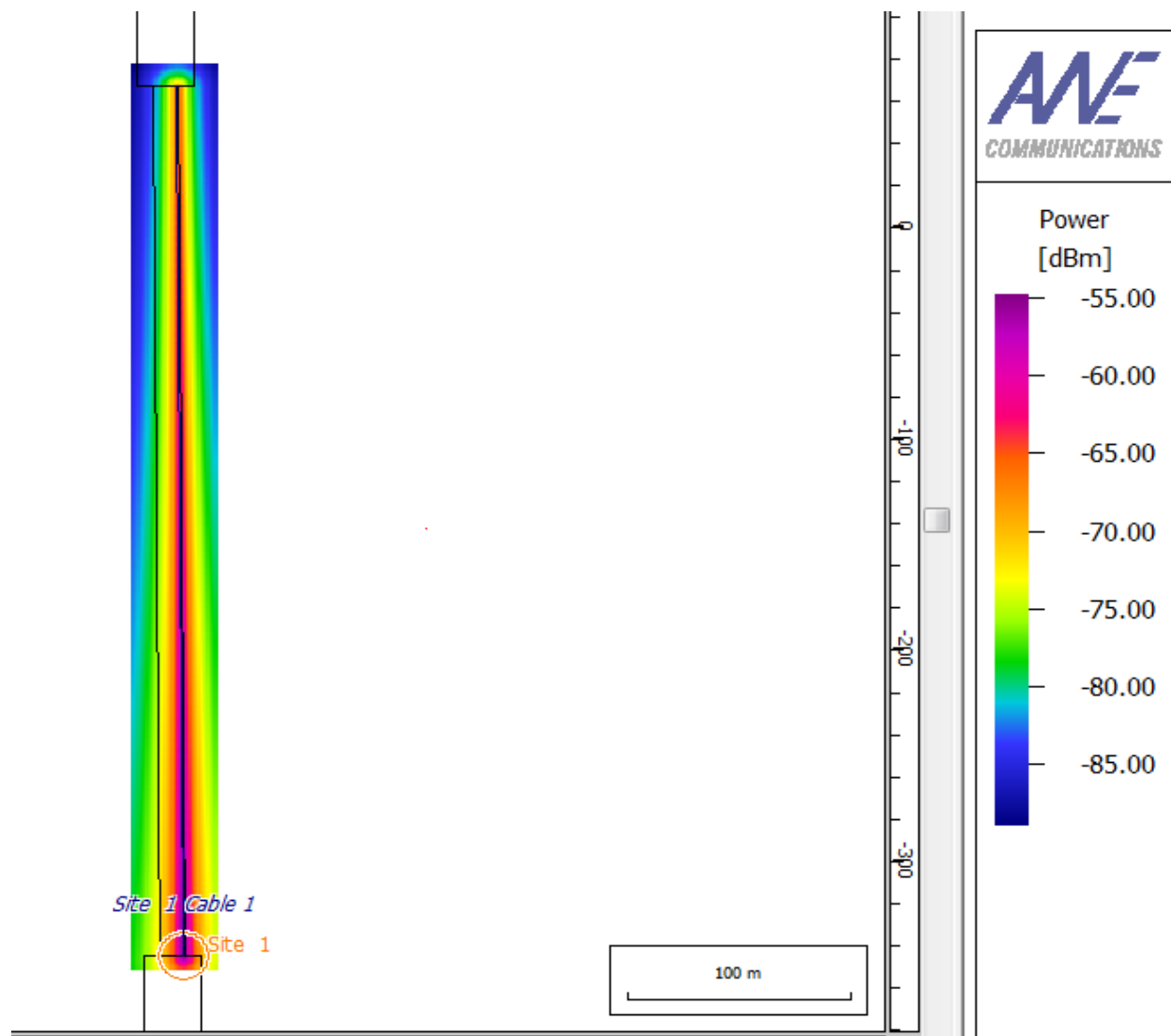
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 9 del túnel comprendido entre las estaciones Pedro Livio Cedeño y Los Tainos.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

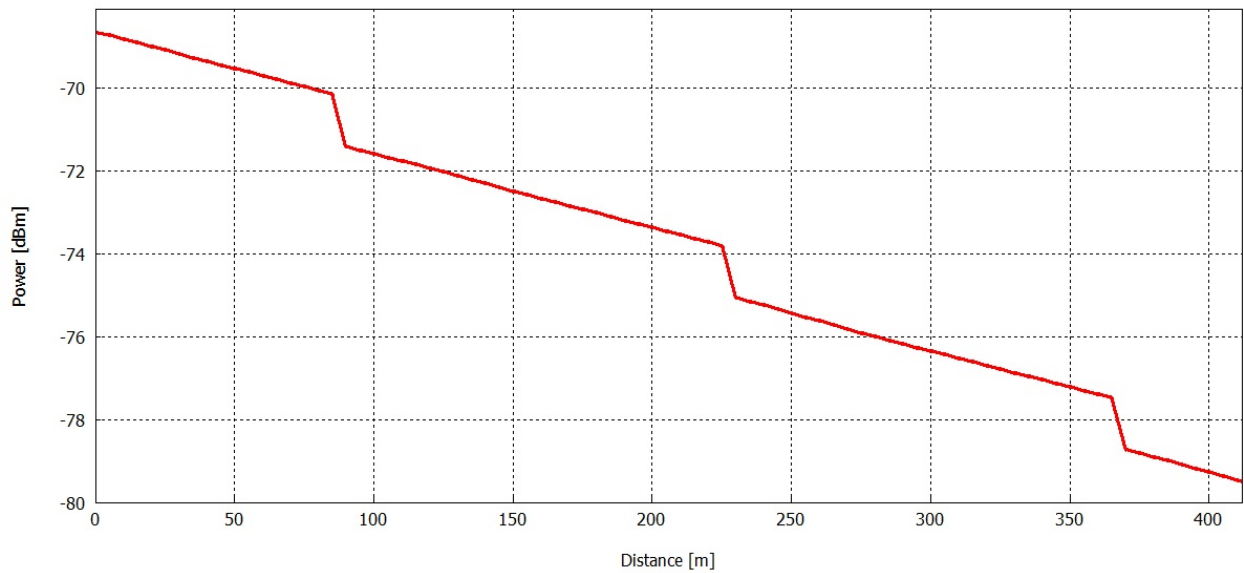
Simulación tramo 9.



Potencia transmisión (dBm)	6.764	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-91.27784983	200	-92.31719983
100	-91.53719983	300	-93.61719983
		400	-95.43719983

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

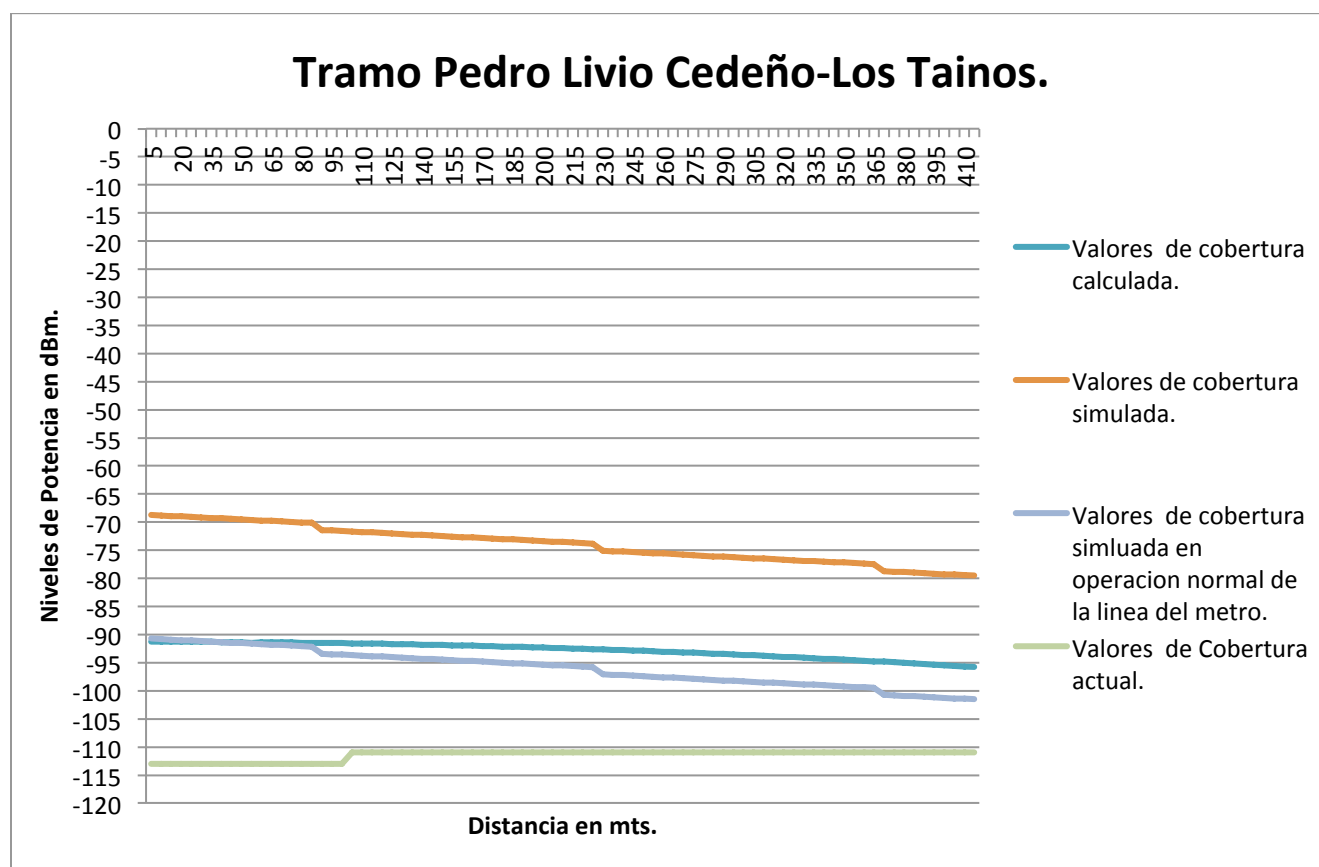
Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.



tramo9	Power along the polygon:
Date:	(926.38, -345.83) ==> (923.42, 65.88)
03/07/2013	http://www.awe-communications.com

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

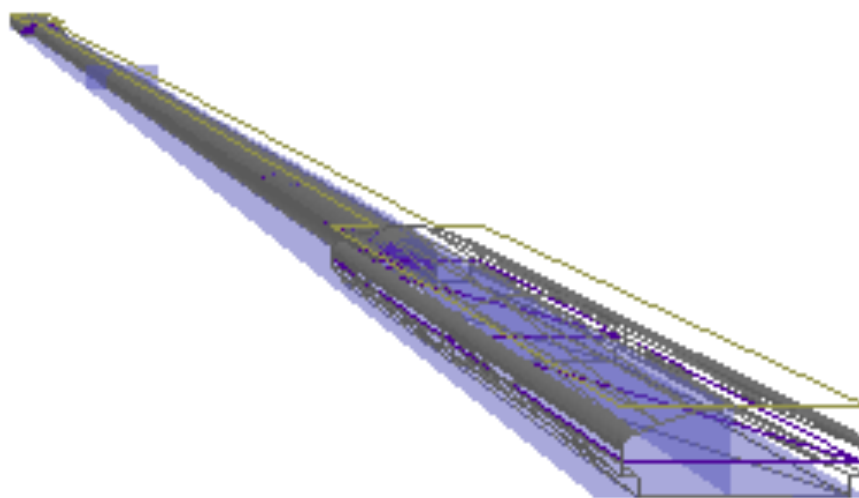
Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 9 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 9 - Livio Cedeño-Tainos.

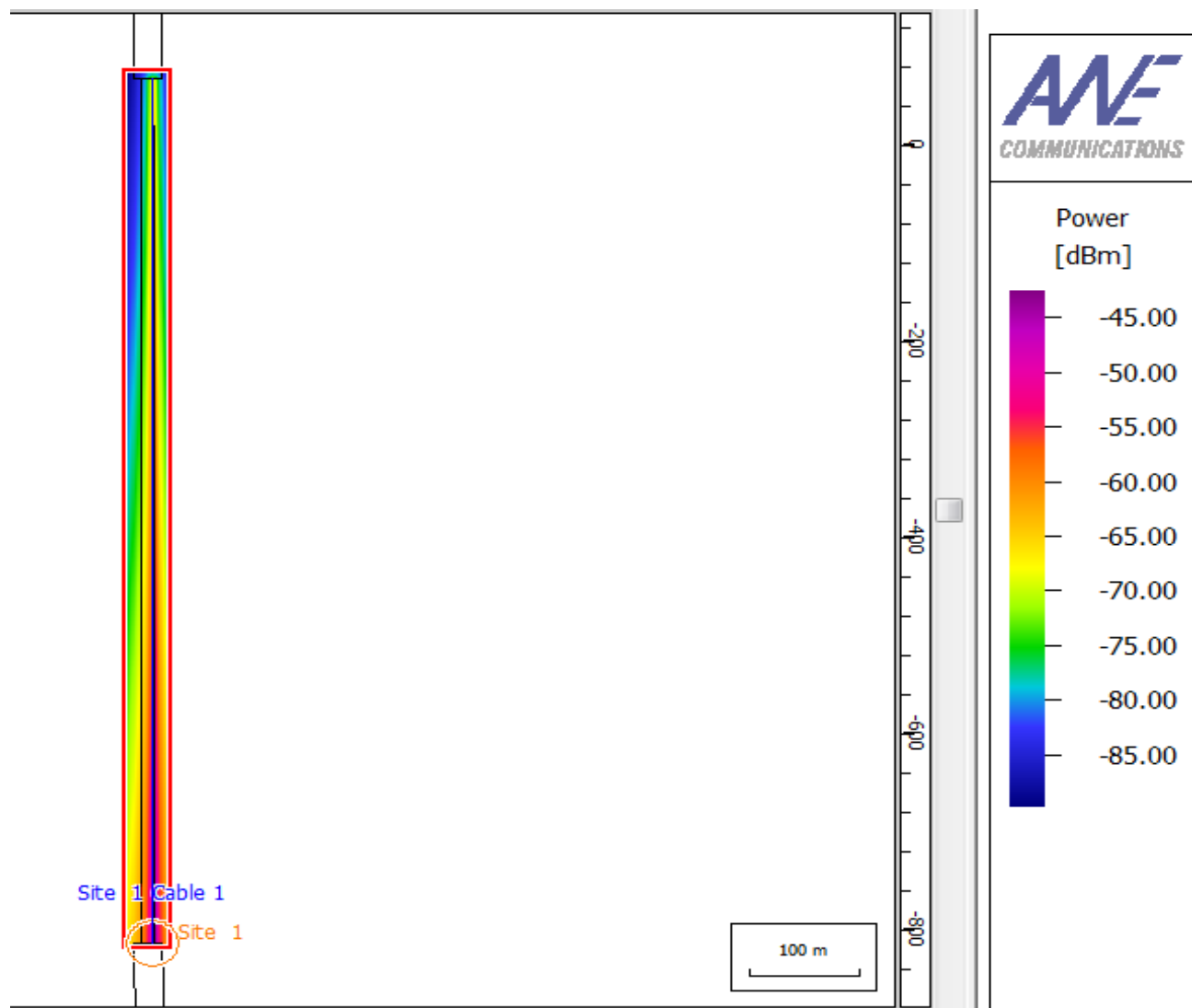
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Vista 3D del tramo 10 del túnel comprendido entre las estaciones Los Tainos y Máximo Gómez.



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

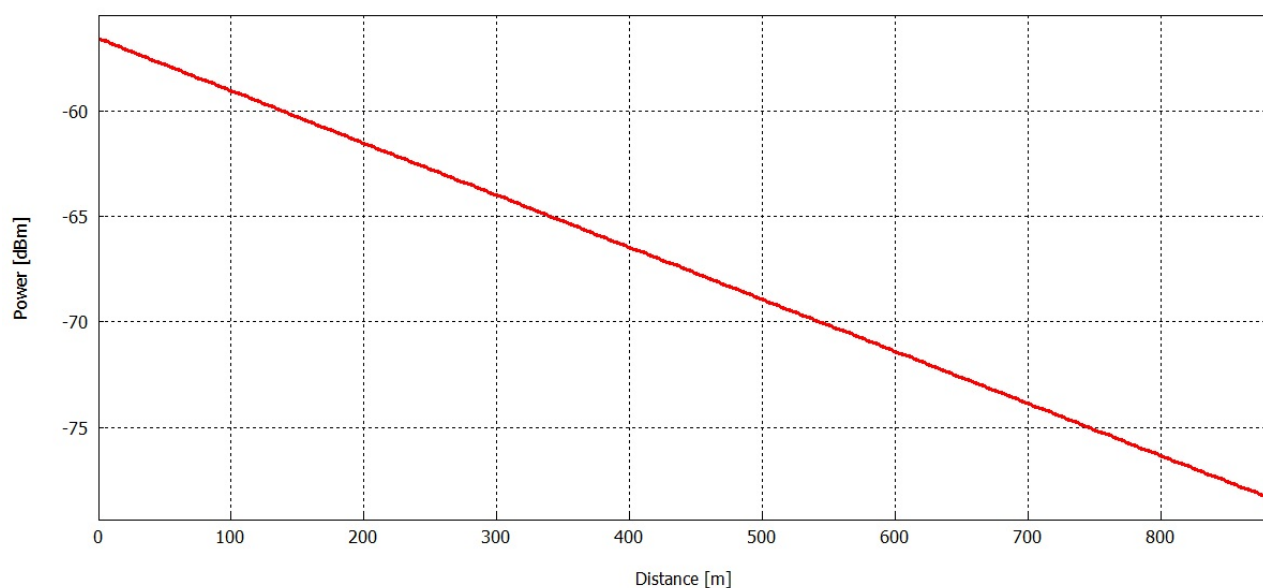
Simulación tramo 10.



Potencia transmisión (dBm)	18.932	Cobertura deseada (dBm)	-90
Distancia (mts)	Cobertura (dBm)	Distancia (mts)	Cobertura (dBm)
5	-79.10984983	400	-83.26919983
100	-79.36919983	500	-85.60919983
200	-80.14919983	600	-88.46919983
300	-81.44919983	700	-91.84919983
		800	-95.74919983

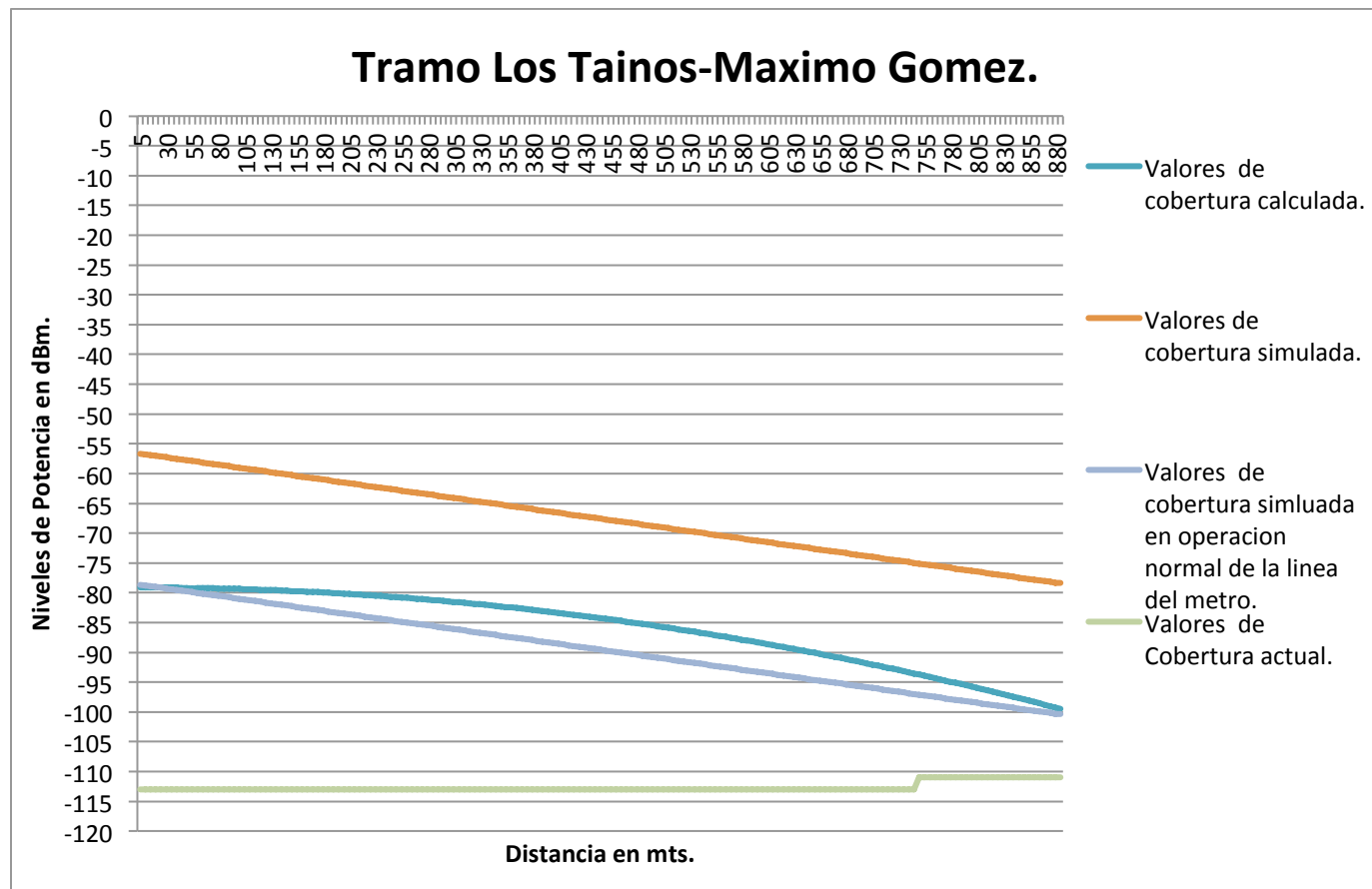
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.



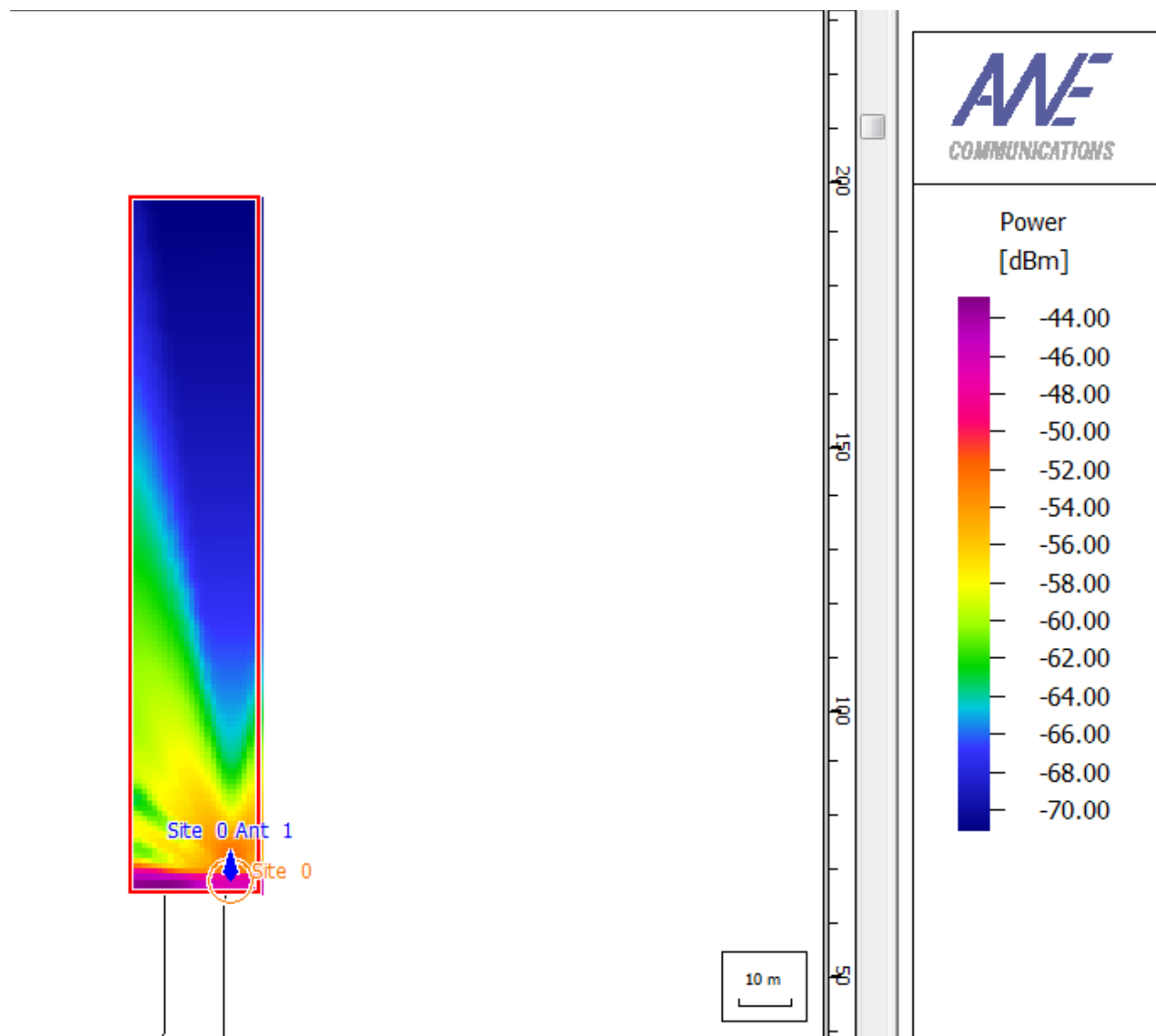
tramo10	Power along the polygon:	
Date:	(924.46, -815.88) ==> (924.43, 65.94)	
03/07/2013	http://www.awe-communications.com	

Gráfica de comparación de los resultados de cobertura del tramo 10 obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual.



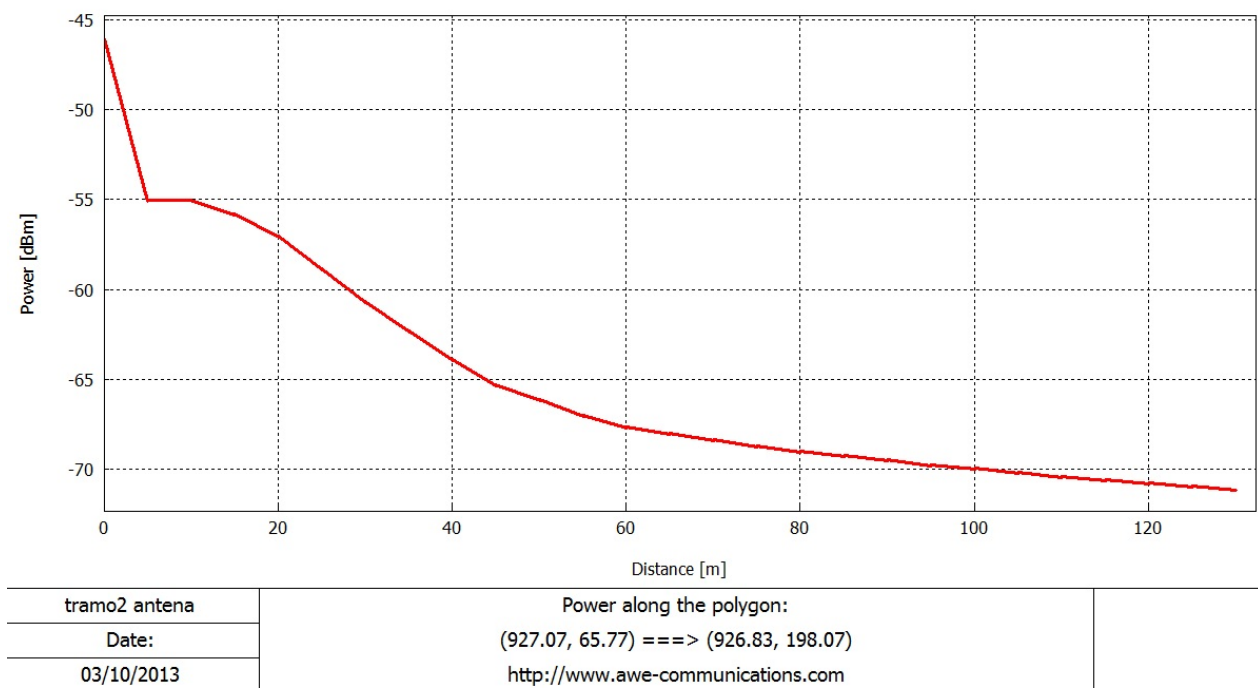
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Tramo 10 – Tainos-Gomez.

Simulación de las estaciones.



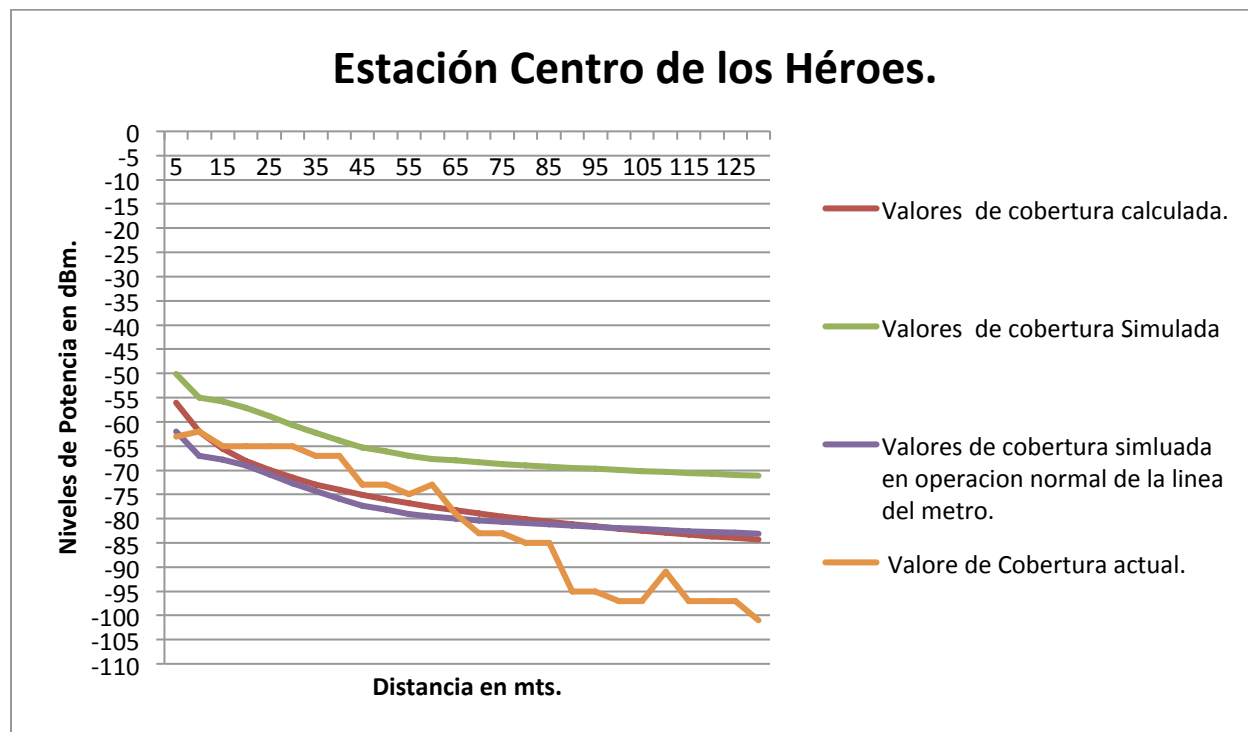
Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Gráfico de los resultados de cobertura obtenidos en la simulación.

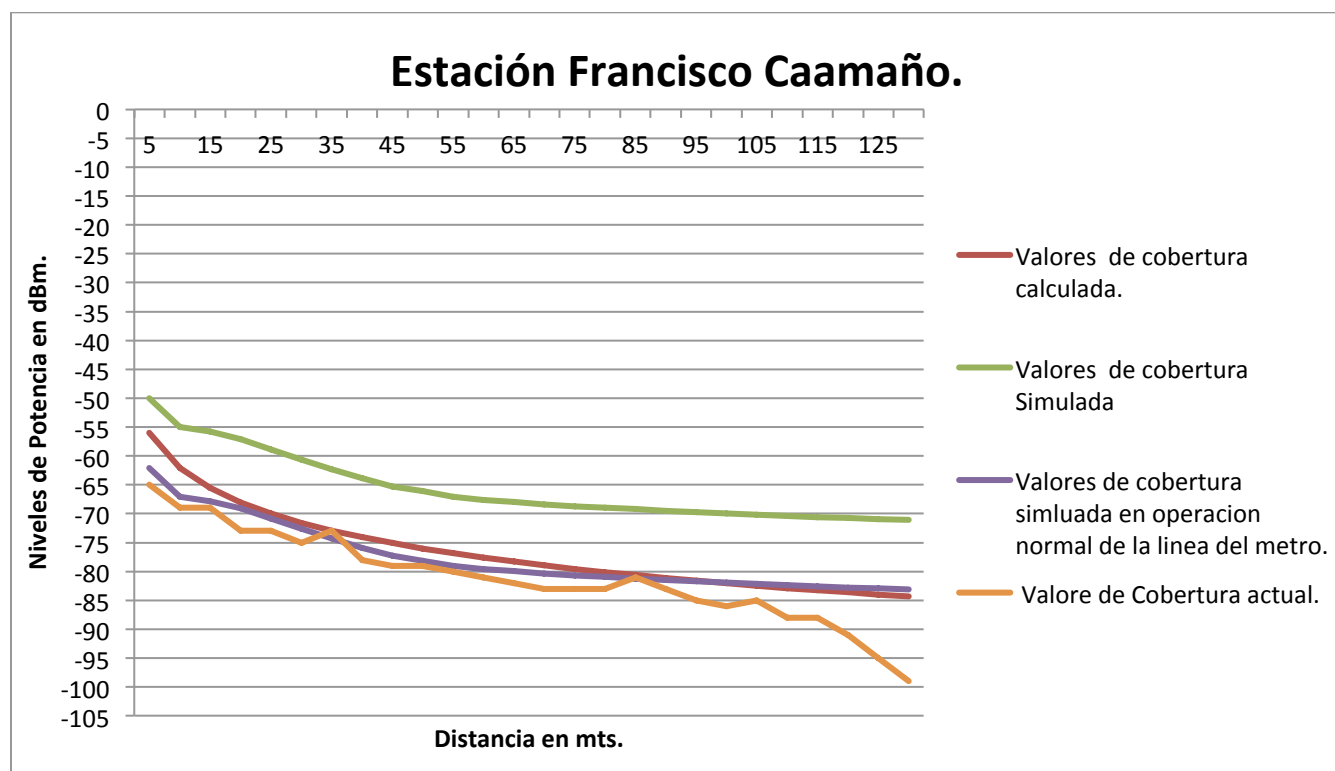


Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Gráficas de comparación de los resultados de cobertura de las estaciones obtenidos en la simulación versus los resultados de cobertura calculados y situación actual, de cada una de las estaciones de la primera línea del metro de Santo Domingo.

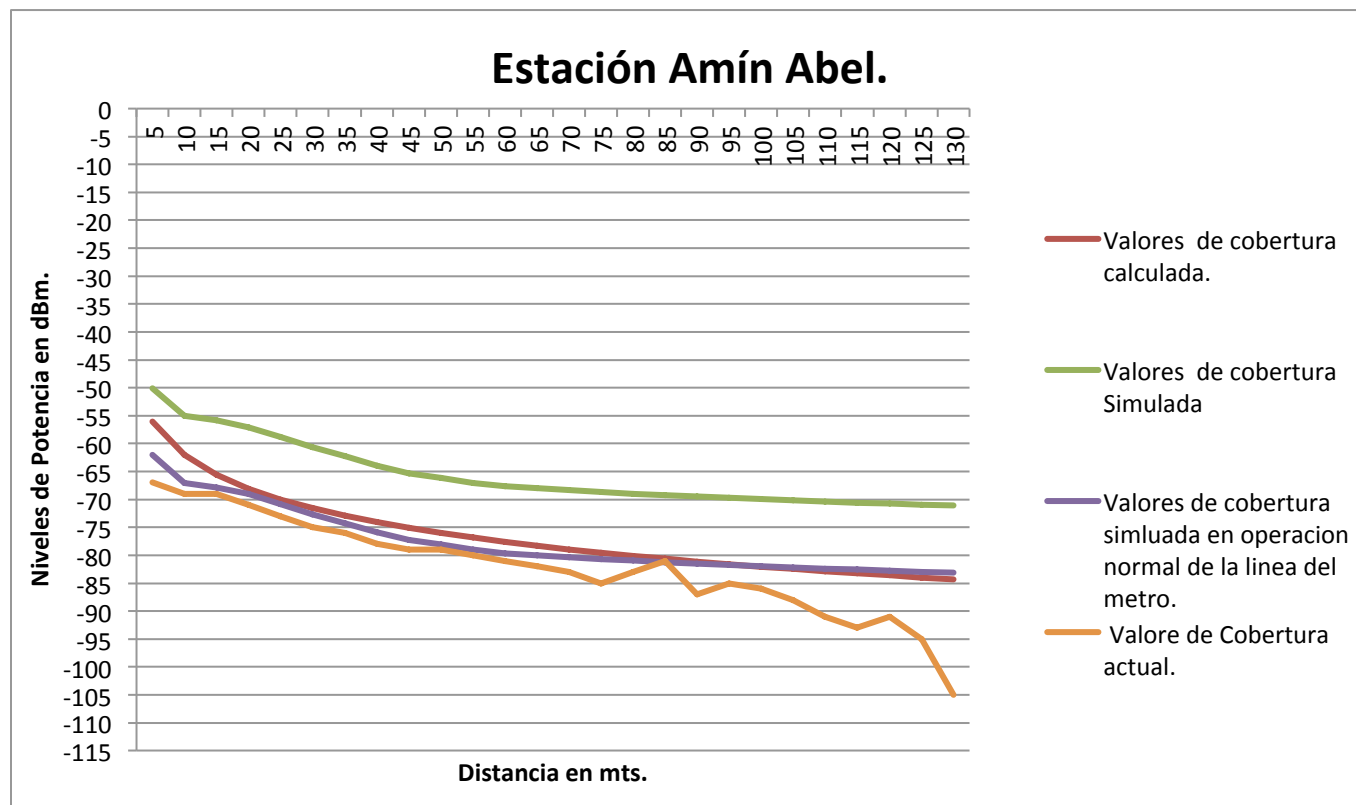


Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Heroes.



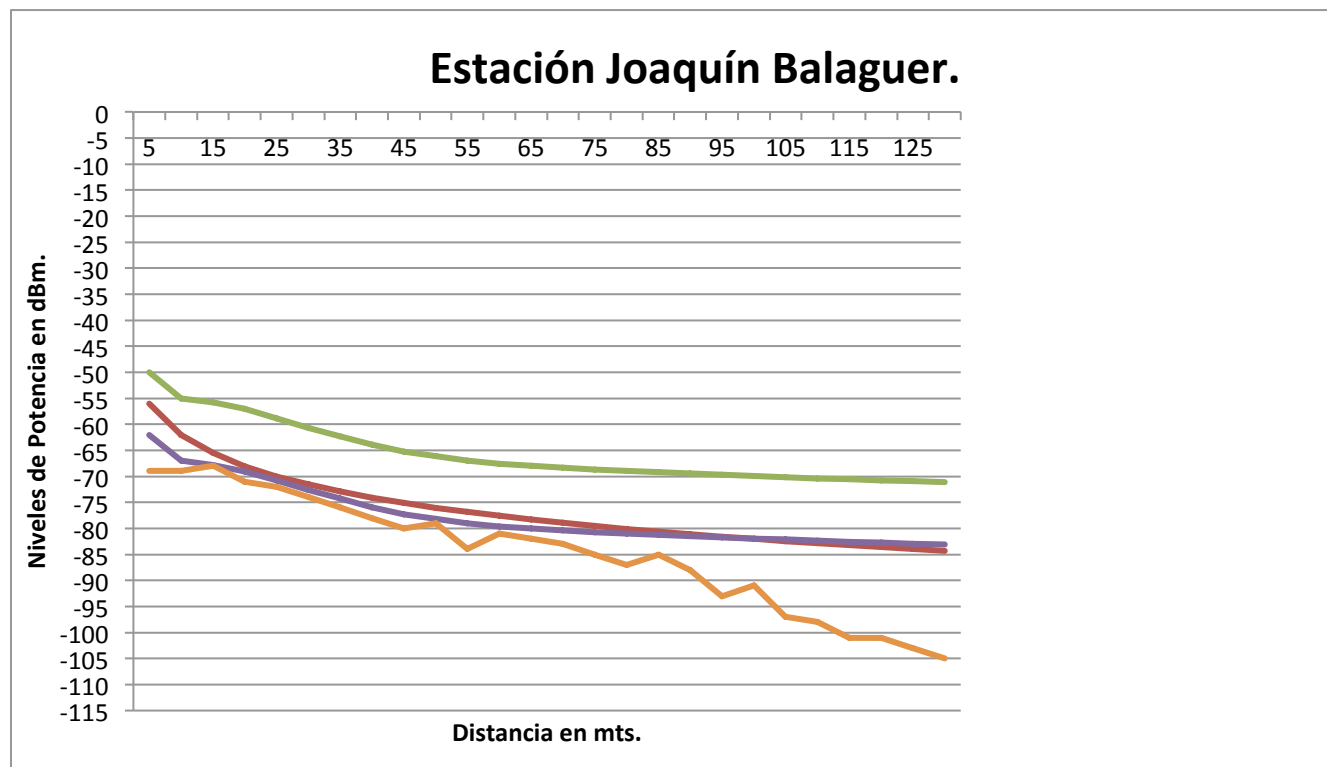
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Caamaño.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



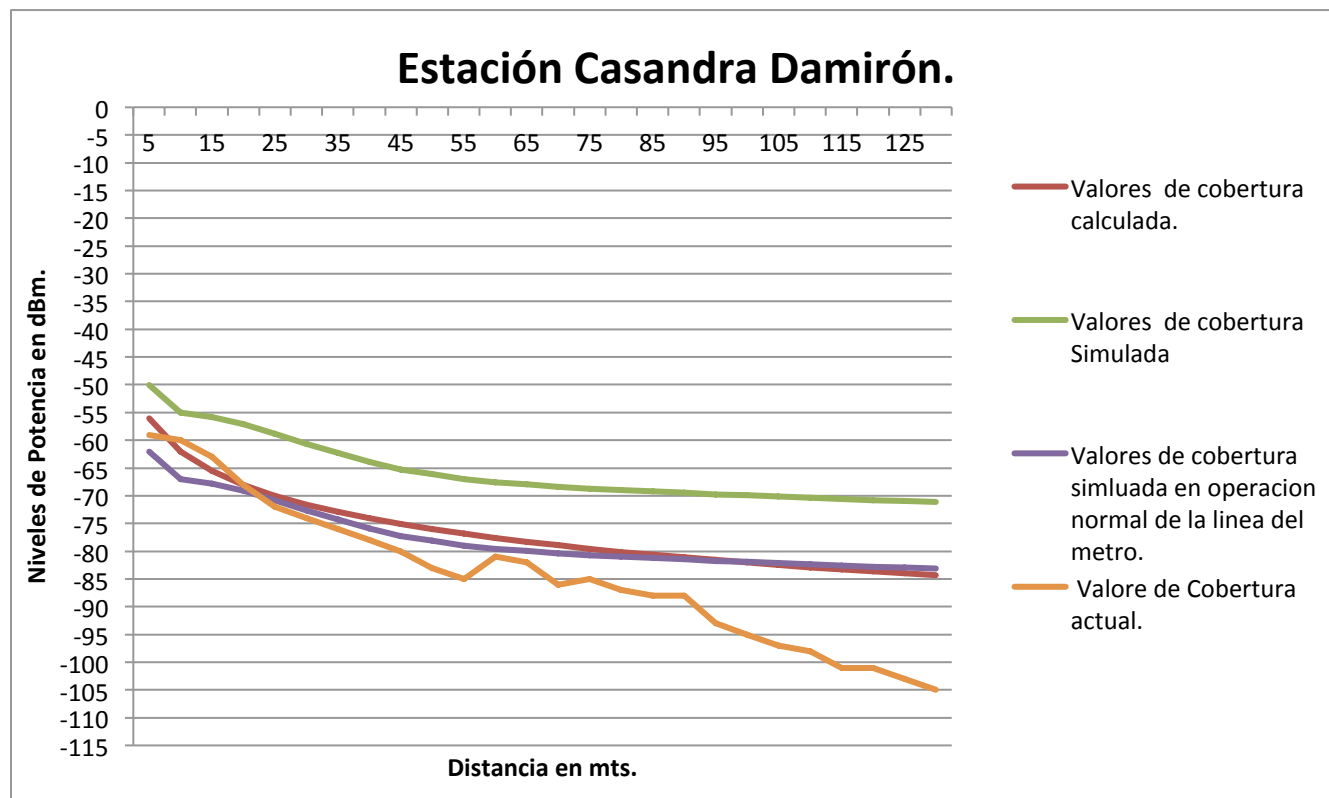
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Abel Hasbun

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



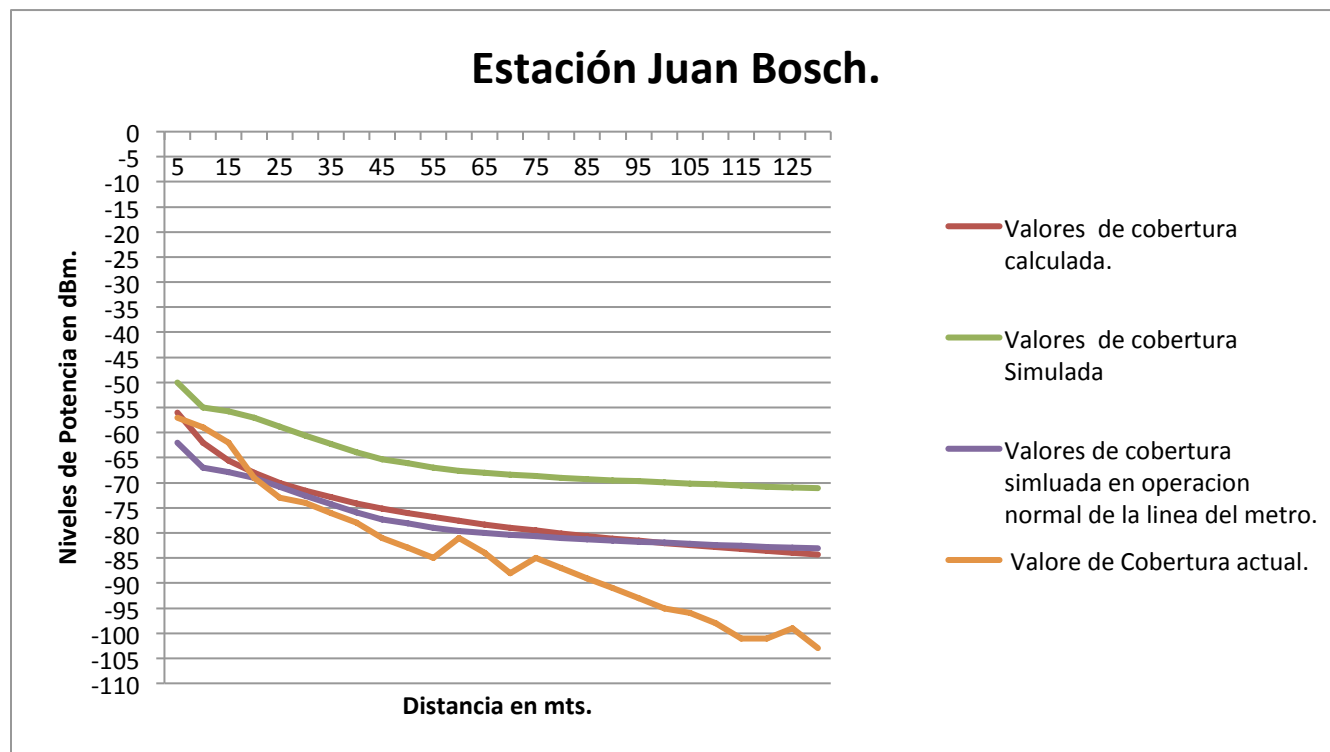
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Balaguer.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



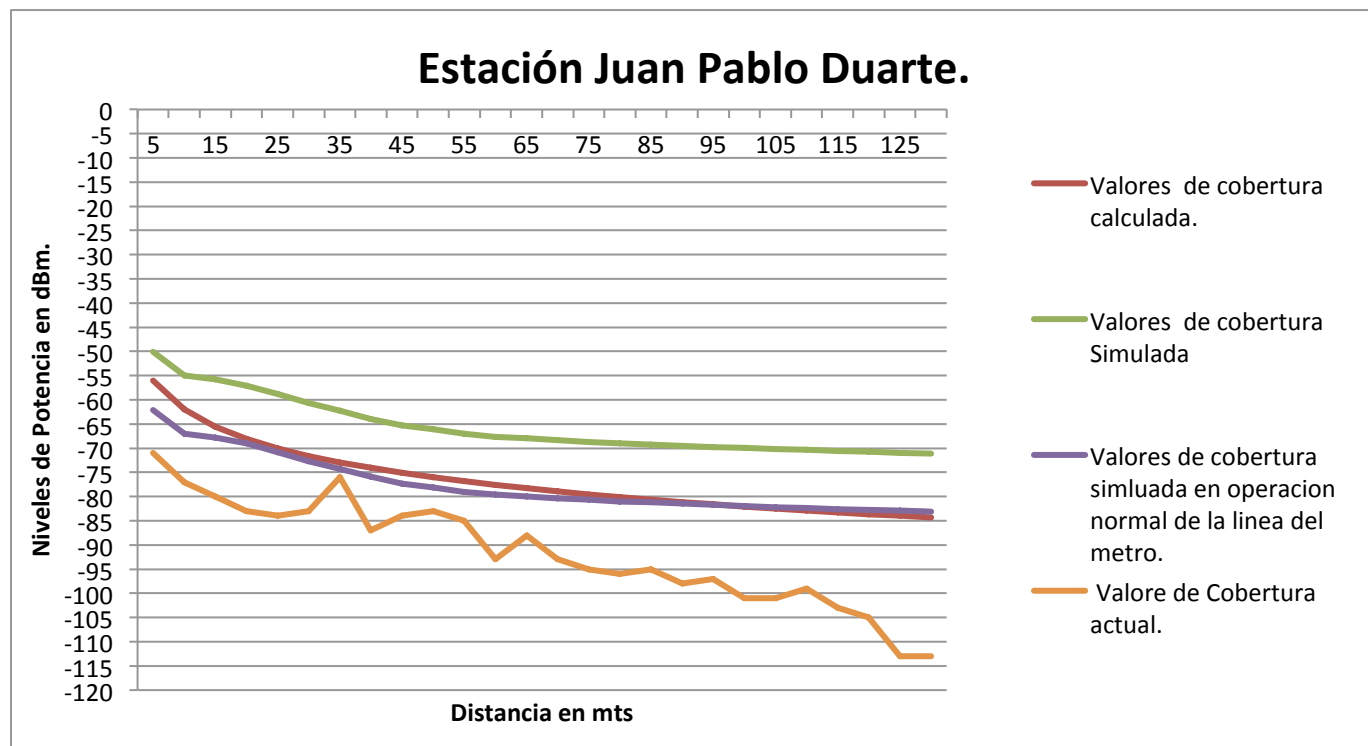
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Damiron.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



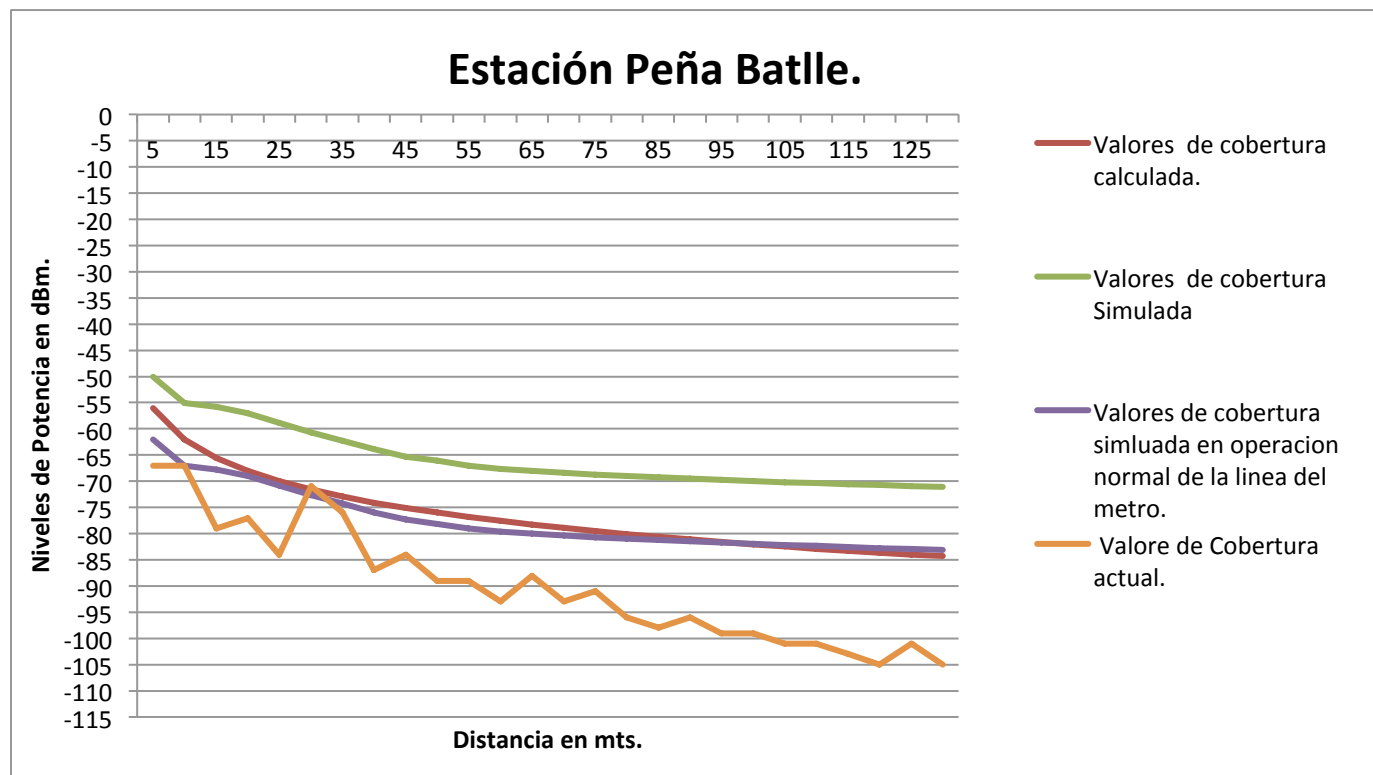
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Bosch.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



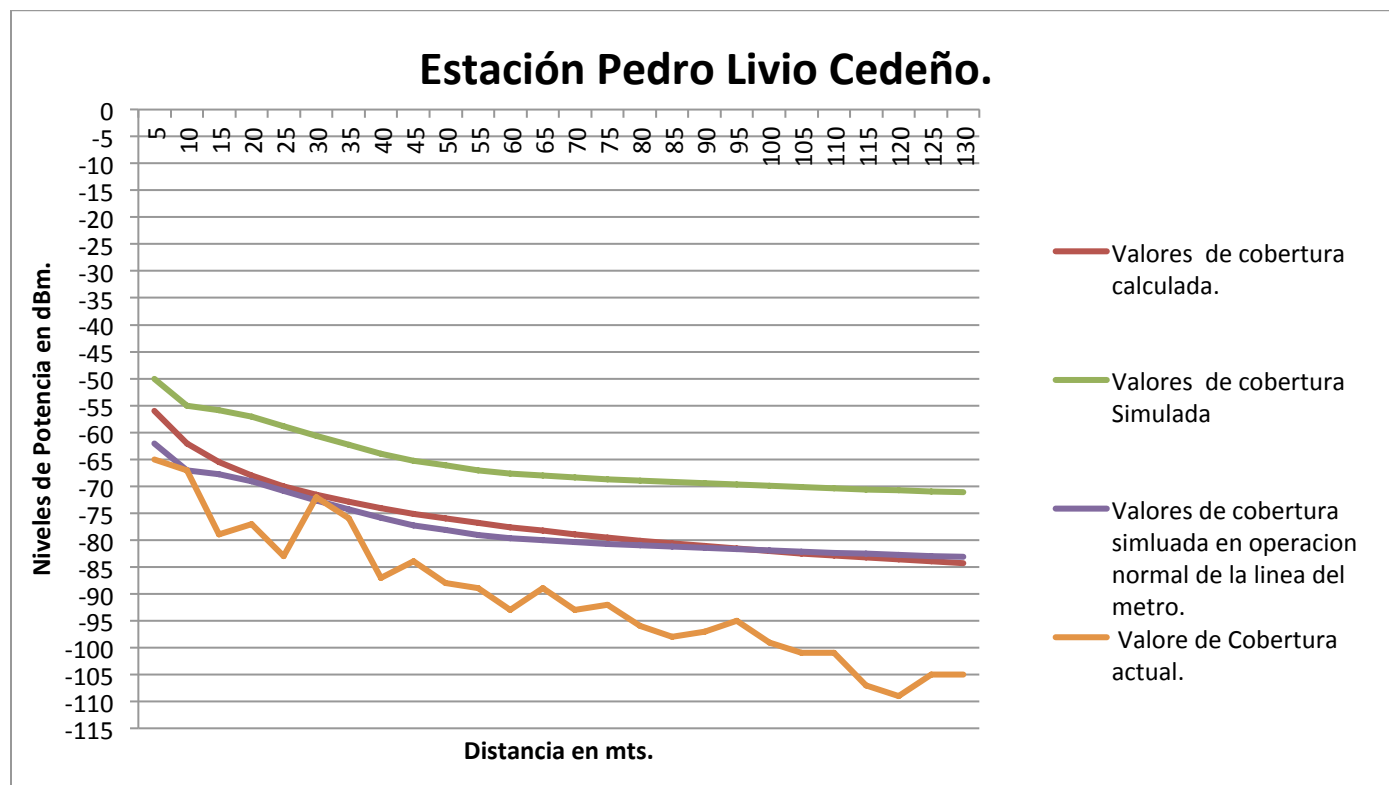
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Duarte.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



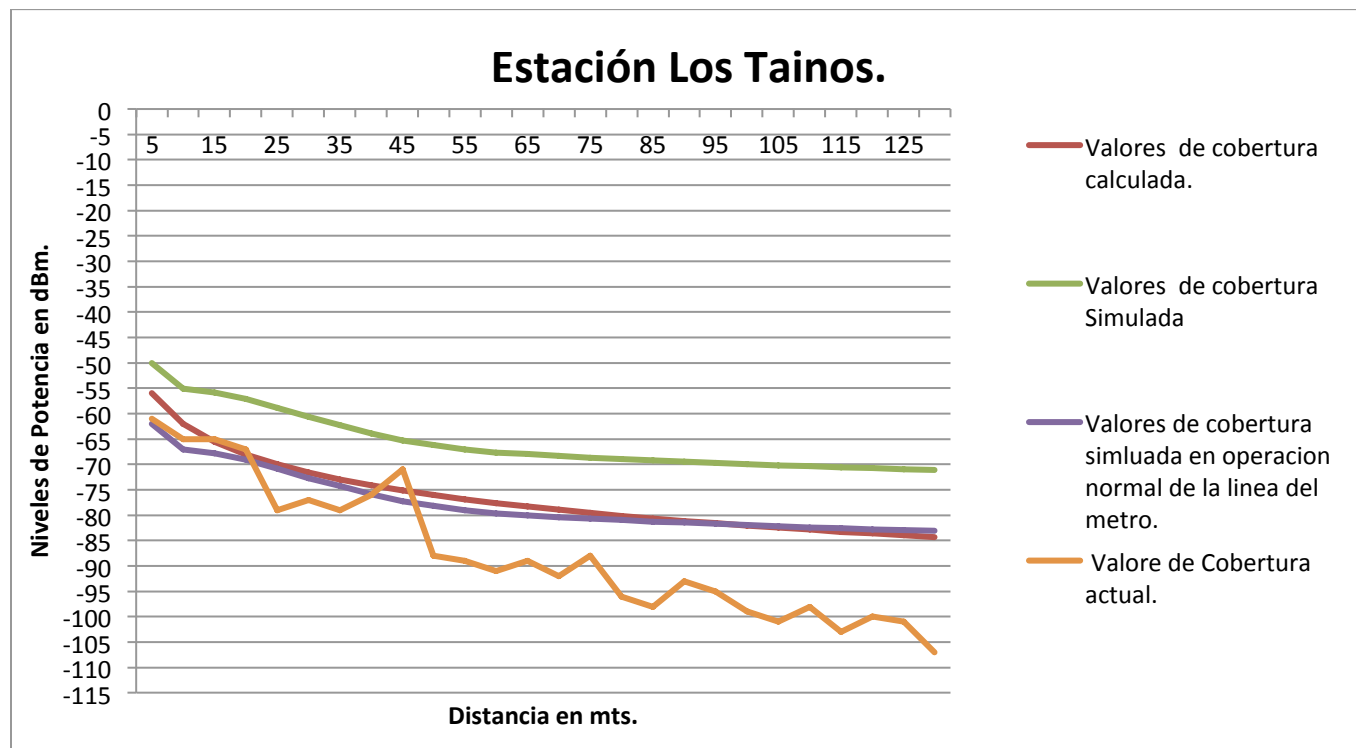
Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Peña Batlle.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Livio Cedeño.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



Nota: Para visualizar la tabla de datos que sustenta esta grafica, busque dentro del CD en Capitulo 03/Secciones & Referencias, el archivo de Excel que lleva por nombre Comparación Actual-Calculo-Simulacion.xls. Dentro del archivo, busque la hoja llamada Est-Tainos.

Anexo D

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



Mechanical Characteristics

		RFCL 22D (7/8")	RFCL 33D (1-1/4")	RFCL 42D (1-5/8")
Minimum Bending Radius (m)		350	500	700
Recommended Operating Temperature	Standard Jacket (°C)	-40~+80	-40~+80	-40~+80
	Halogen - Free/ Flame Retardant (°C)	-30~+80	-30~+80	-30~+80
Nominal Weight	Standard Jacket (kg/km)	591	790	995
	Halogen - Free/ Flame Retardant (kg/km)	711	950	1,197

Electrical Characteristics

		RFCL 12D (7/8")	RFCL 33D (1-1/4")	RFCL 42D (1-5/8")
DC Resistance Q/1,000m (Q/1,000ft)	Inner Conductor	1.05 (0.32)	0.72 (0.22)	0.85(0.26)
	Outer Conductor	1.70 (0.52)	1.28(0.39)	1.00 (0.30)
Insulation Resistance (mQ*km)		10,000	10,000	10,000
Dielectric Strength (for 1 Min.)		DC 6,000V	DC 9,000V	DC 11,000V
Velocity Propagation (%)		88	87	87
Characteristic Impedance (Ω)		50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2

ORNET Sdn. Bhd.
47-4, Jalan SP 2/1, Taman Serdang Perdana, Seksyen 2, 43300 Seri Kembangan, Selangor, MALAYSIA.

Email : info@ornets.com Tel : +603 - 89412300
Website : www.ornets.com Fax : +603 - 89415300

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.



Attenuation and Coupling Loss (at 20 °C)

Frequency (MHz)			RFCL 22D (7/8")	RFCL 33D (1-1/4")	RFCL 42D (1-5/8 ")
RFCL M-Type	Attenuation dB/1km	75	11	7	7.5
		150	15	11	17.0
		450	30	20	19.0
		800	38	31	28.0
		900	40	34	26.0
	Coupling Loss (dB) 50% / 95%	75	79 / 86	70 / 80	70 / 78
		150	77 / 83	76 / 85	70 / 78
		450	60 / 65	60 / 64	59 / 67
		800	63 / 68	62 / 71	54 / 64
		900	65 / 70	56 / 62	52 / 64
RFCL W-Type	Attenuation dB/1km	1700	54	50	46
		1900	57	54	48
		2100	60	58	52
		2300	65	62	59
		2500	72	70	67
	Coupling Loss (dB) 50% / 95%	1700	63 / 68	56 / 61	58 / 63
		1900	64 / 69	62 / 67	56 / 61
		2100	64 / 69	64 / 69	60 / 65
		2300	65 / 70	60 / 65	58 / 63
		2500	65 / 70	60 / 65	60 / 65

* Standard Conditions : V.S.W.R 1.0 ; Ambient Temperature 20°C

ORNET Sdn. Bhd.
47-4, Jalan SP 2/1, Taman Serdang Perdana, Seksyen 2, 43300 Seri Kembangan, Selangor, MALAYSIA.

Email : info@ornets.com Tel : +603 - 89412300
Website : www.ornets.com Fax : +603 - 89415300

Product Specifications

COMMScope™



Andrew Solutions
T-25-DF
Termination Load, 0-3000 MHz

General Specifications

Device Type	Termination Load
Interface	7-16 DIN Female
Brand	Andrew®
Color	Black

Electrical Specifications

Operating Frequency Band	0 – 3000 MHz
3rd Order IMD	-120 dBc (relative to carrier)
3rd Order IMD Test Method	Two +43 dBm carriers
Average Power, maximum	25 W
Impedance	50 ohm
Return Loss, minimum	23.0 dB
VSWR	1.15:1

Mechanical Specifications

Inner Contact Plating	Silver
Outer Contact Plating	Trimetal

Environmental Specifications

Application	Indoor/Outdoor
Ingress Protection Test Method	IEC 60529:2001, IP65
Operating Temperature	-35 °C to +50 °C (-31 °F to +122 °F)
Relative Humidity	Up to 100%

Dimensions

Diameter, maximum	35.00 mm		1.38 in
Length	86.50 mm		3.41 in
Net Weight	205.00 g		0.45 lb

Packed Dimensions

Height	98.0 mm		3.9 in
Length	58.0 mm		2.3 in
Shipping Weight	235.00 g		0.52 lb

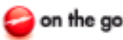
©2013 CommScope, Inc. All rights reserved. All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks, respectively, of CommScope. All specifications are subject to change without notice. See www.commscope.com for the most current information. Revised: May 18, 2012

page 1 of 2
March 10, 2013

Product Specifications

COMMScope™

T-25-DF



Volume 302.0000 mm³
Width 53.0 mm | 2.1 in

Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
RoHS 2011/65/EU	Above Maximum Concentration Value (MCV)
ISO 9001:2008	Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system



Product Specifications

COMMScope®



Andrew Solutions

CELMAX-D-CPUSE

Cell-Max™ Directional In-building Antenna, 698–960 MHz, 1710–2700 MHz

- This product is part of the CommScope Wired for Wireless® Solution

Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	698–800	800–960	1710–2170	2200–2700
Gain, dBi	5.0	5.0	8.0	6.0
Beamwidth, Horizontal, degrees	110	90	90	90
Beamwidth, Vertical, degrees	100.0	65.0	65.0	65.0
VSWR Return Loss, dB	1.8:1 10.9	1.5:1 14.0	1.5:1 14.0	1.5:1 14.0
Input Power per Port, maximum, watts	50	50	50	50
Polarization	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm

General Specifications

Antenna Type	Directional
Application	Indoor
Operating Frequency Band	1710 – 2700 MHz 698 – 960 MHz
Brand	Cell-Max™
Mount Type	4-hole wall mounting plate and hardware (included)
Package Quantity	1
Pigtail Cable	RGS5U, plenum rated

Mechanical Specifications

Color	White
Connector Interface	N Female
Pigtail Length	260.0 mm 10.2 in
Radome Material	ABS, UV resistant

Environmental Specifications

Operating Temperature	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)
Relative Humidity	Up to 100%

Dimensions

Height	210.00 mm 8.27 in
Length	44.00 mm 1.73 in
Width	180.00 mm 7.09 in
Net Weight	0.44 kg 0.97 lb

Packed Dimensions

Height	55.00 mm 2.17 in
Length	250.00 mm 9.84 in
Width	190.00 mm 7.48 in

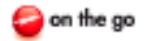
©2013 CommScope, Inc. All rights reserved. All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks, respectively, of CommScope. All specifications are subject to change without notice. See www.commscope.com for the most current information. Revised: March 7, 2013

page 1 of 2
March 9, 2013

Product Specifications

COMMScope®

CELLMAX-D-CPUSE



Shipping Weight 0.58 kg | 1.28 lb

Regulatory Compliance/Certifications

Agency

RoHS 2011/65/EU
ISO 9001:2008

Classification

Compliant by Exemption
Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system





2.1 RBS 6601 Main Unit

The RBS 6601 Main Unit is indoor specified.

2.1.1 RBS 6601 - Indoor Main Unit

The RBS 6601 Main Unit is designed for indoor environments, preferably mounted in a 19-inch rack. One DUW or two DUG/DUL can be housed in one RBS 6601 Main Unit.

Some of the key characteristics of the RBS 6601 Main Unit are:

- Power distribution of -48 VDC to Digital Units
- Climate system including built-in fans and control part

In addition to the above RBS 6601 Main Unit also provides a limited number of built-in customer alarm connections as well as connection to an external Support Alarm Unit (SAU).

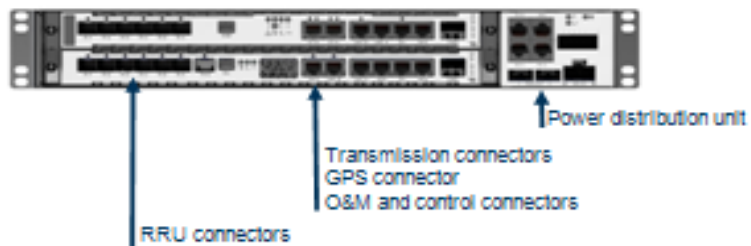


Figure 4 RBS 6601 Main Unit with DUG/DUL



Product description for RBS 6601

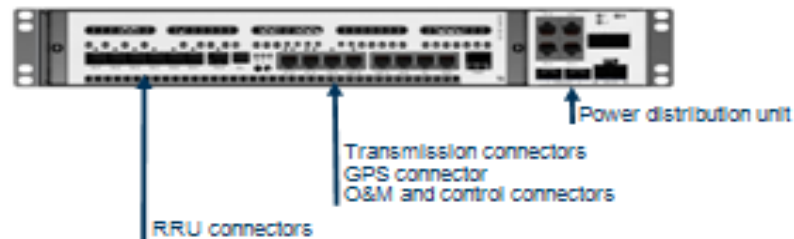


Figure 5 RBS 6601 Main Unit with DUW

2.1.2 Digital Unit for GSM

The Digital Unit GSM, DUG 20 can control up to 12 GSM carriers. If more than 12 TRXs are required, then an additional DUG can be installed in the RBS 6601 Main Unit and synchronized with the other DUG in the Main Unit.

The DUG supports the cross-connection of individual time slots to specific TRXs and extracts the synchronization information from the Pulse-Code Modulation (PCM) link to generate a timing reference for the RBS.

The DUG 20 supports:

- E1/T1 transmission interface
- Baseband processing
- Link Access Procedures on D-Channel (LAPD) concentration / multiplexing
- ~~Dualband~~ e.g. 3x2 900 + 3x2 1800 with one DUG
- Abis optimization
- Multi-drop (cascading)
- Synchronized radio network, through an external GPS receiver
- Transceiver Group (TG) synchronization
- Site LAN



2.1.3

Digital Unit for WCDMA

The Digital Unit WCDMA (DUW) comes in three variants, DUW10/20/30, depending on capacity demand.

The DUW contains the baseband, control, and switching, as well as the Uu and Mob interfaces. The DUW can handle different time-varying traffic mixes consisting of voice circuit-switched data, packet-switched data, and high-speed data such as High Speed Packet Access (HSPA).

Baseband resources are pooled in the DUW and the number of Channel Elements (CE) and high-speed data capacity can be optimized to fit operator requirements for user type and number of services.

The baseband capacity is pooled independently of sectors and frequencies. Two baseband pools can exist (two DUW). Each DUW is then housed in one 19", 1.5U RBS 6601 Main Unit. The two DUW in two separate 19" 1.5U RBS 6601 Main Units can be configured as one RBS node.

The DUW stabilizes the clock signal extracted from the transport network connection or optional external GPS equipment and uses it to synchronize the RBS.

The DUW provides:

- 100/1000 Base-T Ethernet
- Channelised STM-1 transport network interface
- Four IMA capable E1/T1/J1 ports

The DUW can connect to RRU22, RRUW or RRUS.

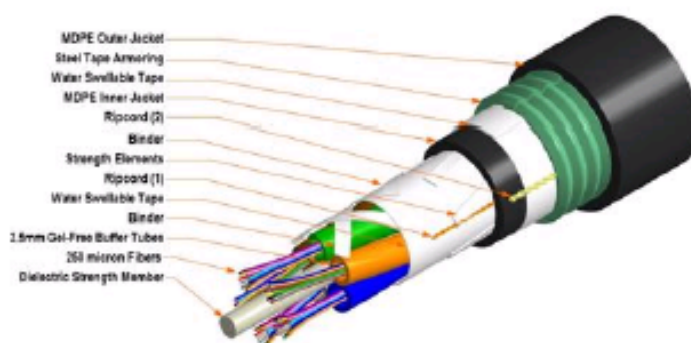
Product Specifications

COMMScope®



Uniprise Solutions
760103887 | D-024-L2-8WF12NS
Double Jacket/Single Armor, Gel-Free, Outdoor Stranded Loose Tube Cable

Representative Image



General Specifications

Cable Type	Stranded loose tube
Construction Type	Armored
Subunit Type	Gel-free

Construction Materials

Fiber Type Solution	TeraSPEED®, zero water peak singlemode fiber (G.652.D or G.652.D OS2)
Jacket Material	PE
Total Fiber Count	24
Armor Type	Corrugated steel
Fiber Type	TeraSPEED®, zero water peak singlemode fiber (G.652.D or G.652.D OS2)
Fiber Type, quantity	24
Fibers per Subunit, quantity	12
Jacket Color	Black
Jacket UV Resistance	UV stabilized

Dimensions

Buffer Tube/Subunit Diameter	2.50 mm 0.10 in
Cable Weight	129.0 lb/kft 192.0 kg/km
Diameter Over Jacket	15.00 mm 0.59 in
Filler, quantity	3

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Product Specifications

COMMScope®

760103887 | D024128WF12NS

Subunit, quantity 2

Physical Specifications

Minimum Bend Radius, loaded	22.5 cm		8.9 in
Minimum Bend Radius, unloaded	15.0 cm		5.9 in
Tensile Load, long term, maximum	180 lbf		800 N
Tensile Load, short term, maximum	2700 N		607 lbf
Vertical Rise, maximum	426.0 m		1397.6 ft

Environmental Specifications

Environmental Space	Aerial, lashed		Buried
Installation Temperature	-30 °C to +70 °C	(-22 °F to +158 °F)	
Operating Temperature	-40 °C to +70 °C	(-40 °F to +158 °F)	
Storage Temperature	-40 °C to +75 °C	(-40 °F to +167 °F)	

Mechanical Test Specifications

Compression	250 lb/in		44 N/mm
Compression Test Method	FOTP-41		IEC 60794-1-2, Section 7
Flex	35 cycles		
Flex Test Method	FOTP-24		IEC 60794-1-2, Section 10
Impact	3.80 ft lb		5.15 N-m
Impact Test Method	FOTP-25		IEC 60794-1-2, Section 8
Strain	See long and short term tensile loads		
Strain Test Method	FOTP-33		IEC 60794-1-2, Section 5
Twist	10 cycles		
Twist Test Method	FOTP-85		IEC 60794-1-2, Section 11
Water Penetration	24 h		
Water Penetration Test Method	FOTP-82		IEC 60794-1-2, Section 24

Environmental Test Specifications

Cable Freeze	-2 °C		28 °F
Cable Freeze Test Method	FOTP-98		
Heat Age	-40 °C to +85 °C	(-40 °F to +185 °F)	
Heat Age Test Method	Not applicable		
Low High Bend	-30 °C to +60 °C	(-22 °F to +140 °F)	
Low High Bend Test Method	FOTP-28		IEC 60794-1-2, Section 28
Temperature Cycle	-40 °C to +70 °C	(-40 °F to +158 °F)	
Temperature Cycle Test Method	FOTP-3		IEC 60794-1-2, Section 22

Qualification Specifications

Cable Qualification Standards	ANSI/ICEA S-87-640-2006		EN 187105		Telcordia GR-20-CORE Issue 3
-------------------------------	-------------------------	--	-----------	--	------------------------------

Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
RoHS 2011/65/EU	Compliant

©2013 CommScope, Inc. All rights reserved. All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks, respectively, of CommScope.
All specifications are subject to change without notice. See www.commscope.com for the most current information. Revised: September 14, 2012

Page 2 of 5
March 18, 2013

Product Specifications

COMMScope®

760103887 | D02412-8WF12NS

ISO 9001:2008

Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system



Included Products

CS-8W-LT (Product Component—not orderable) — TeraSPEED® OS2 Singlemode Fiber

Powerwave Nexus FT4000 FBU

The Nexus FT4000 Fiber Base Unit (FBU) is an integral part of the Nexus FT4000 solution suite offering a comprehensive product portfolio ranging from unique headend products to multi-band fiber remote units. The portfolio addresses the most demanding capacity requirements with minimal architectural complexity, lower cost and good aesthetics.

The FBU is modular and flexible RF interface for multiple DAS inputs and sectorization. The FBU provides RF conditioning as required to combine multiple operators as required to support DAS distribution. In addition, the FBU provides RF-to-optical fiber conversion for the fiber fed remote units. The truly modular design of the FBU ensures a cost-efficient solution using passive and active module as needed to support the DAS configuration. The FBU is designed for mounting in a 19-inch rack system and the slot-in design of the modules ensures easy serviceability and reconfiguration. Remote control via IP and SNMP is available for network monitoring and configuration.



Key Features

The Nexus FT4000 Fiber Base Unit (FBU) is a fully modular and flexible headend solution allowing for variable sectorization across single or multiple operators providing easy upgradability, expansion and modification. Some of its key features include:

- Comprehensive Remote Management Module (RMM) with an integrated web server allowing for simple web-based GUI configuration and commissioning
- Passive modules allows for high capacity and variable multi-sector configurations
- RF-to-optical conversion for up to 4 remote units in a single Fiber Optic Module (FOM)
- Modular and flexible design for easy upgrades, expansions, and reconfigurations
- Slot-in design for both active and passive modules
- Power redundancy available for both AC and DC power sources
- Front cable connections for easy access and configuration
- Local and remote management and configuration

About Powerwave Technologies

A global leader in end-to-end wireless coverage and capacity solutions, Powerwave Technologies, Inc. offers cutting edge wireless infrastructure to address the demands of enterprise and commercial customers. Powerwave offers a comprehensive suite of solutions, including Antennas, Base Station Solutions and Coverage Solutions. Powerwave's product line supports all wireless network protocols and frequencies including Next Generation Networks in 4G LTE™ technology. Powerwave solutions, products and services also help wireless operators and OEMs reduce capital and operating expenses, speed rollout of services, improve coverage and capacity, and reduce environmental impact.

Worldwide Corporate Headquarters

1801 East St. Andrew Place
Santa Ana, CA 92705 USA
+1 754 466 1000
+1 754 466 5800 FAX

For more information visit us at www.powerwave.com.

© Copyright 2002, Powerwave Technologies, Inc. All rights reserved. Powerwave, Powerwave Technologies, and the Powerwave logo are registered trademarks of Powerwave Technologies, Inc.

GLOBAL WIRELESS SOLUTIONS



Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

POWERWAVE

FT4000

UA116 04/XX

FT4000 Fiber Base Unit (FBU)

The Nexus FT4000 Fiber Base Unit (FBU) is a fully modular and flexible headend solution allowing for variable sectorization across single or multiple Operators providing easy upgradability, expansion and modification. The Nexus FT4000 Fiber Base Unit (FBU) is an integral part of the Nexus FT4000 solution suite offering a comprehensive product portfolio ranging from unique headend products to multi-band fiber remote units. The portfolio addresses the most demanding capacity requirements with minimal architectural complexity, lower cost and good aesthetics.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS	
Bandwidth	698-2200 MHz
Input Impedance	50 Ohm
Max Input RF Power	+33 dBm (nominal)
Optical Transmitter Wavelength	1310 nm
Optical Receiver Wavelength	1490 - 1570 nm
Insertion Loss (min)	0.25 dB
Alarms	
Fault	Summary/Power/Optical UL-DL/RF UL-DL/VSWR/Temp
External Alarm Inputs	4
Power Supply Options	85-264 VAC and -72 to -36 VDC
Power Consumption	Varies
Supported RF Systems	LTE700, SMR800, CELL850, SMR900, PCS1900, AWS1721
MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Dimensions HxWxD mm(In)	19" 3U Rackmount (< 11 inches depth)
Weight lbs	Varies
RF Connectors	SMA (f)
Optical Connectors	1 x SC/APC
ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS	
Operating Temperature	-5° to + 45° C
Ingress Protection	IP42
APPROVALS AND TESTS	
Safety	Safety
Radio	Radio
Environment	Environment
EMC	EMC



All specifications subject to change without notice. Please contact your Powerwave representative for complete performance data.

Updated: Mar 27 2012 10:35AM

© Copyright 2011 Powerwave Technologies, Inc. All rights reserved.
All specifications are subject to change without notice. Please contact your Powerwave representative for complete performance data.

Anteproyecto

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Emprego

Juan 7


UNIVERSIDAD APEC

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS SOCIALES

FECHA 22/11/2012

A : ESCUELA DE INGENIERIA

ASUNTO : PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

TEMA : "DISEÑO DE UNA RED INALAMBRICA PARA
PROVEER VOZ Y DATA EN LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE SANTO
DOMINGO"

SUSTENTANTE(S) : BRS. GUILLERMO LORENZO 2007-0016
HEINE MORANTIN 2008-0215
RUBEN RODRIGUEZ 2008-0733

RESULTADO DE LA : APROBADO: X FECHA: 22/11 /2012

EVALUACION
DEVUELTO PARA CORRECCION: _____ FECHA: _____

OBSERVACIONES : LA EVALUACIÓN DE ESTE PROYECTO FUE REALIZADA
POR: LIC. ADALBERTO ADAMES

C.G_


DR. PEDRO ANTONIO EDUARDO
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS SOCIALES
Santo Domingo, R. D.

UNIVERSIDAD ACCIÓN PRO EDUCACIÓN Y CULTURA



(UNAPEC)

Decanato de Ingeniería e Informática

Escuela de Ingeniería

Anteproyecto: “Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.”

**Anteproyecto de trabajo de grado para optar por el título de:
Ingeniería Electrónica Mención Comunicaciones.**

Guillermo Lorenzo	2007-0016
Heine Morantin	2008-0215
Ruben Rodriguez	2008-0733

2012

Los conceptos emitidos en el presente trabajo son de la responsabilidad de sus sustentantes.

INDICE GENERAL DEL CONTENIDO

Introducción

1 Planteamiento del problema que trata el trabajo de grado

- 1.1 Definición conceptual del problema con citas y referencias bibliográficas.
- 1.2 Descomposición de los elementos conceptuales que definen el problema.
- 1.3 Delimitación en el tiempo y espacio con explicaciones de razones que lo justifican.
- 1.4 Cuestionamientos que se plantea los solicitantes ante el problema a desarrollar.
- 1.4.1 Cuestionamientos que se plantea los solicitantes ante el problema a desarrollar.
- 1.4.2 Subpreguntas operativas relacionadas con los elementos del concepto que determinaran los Objetivos Específicos, secundarios, u Operativos del Trabajo de Grado.

2 Justificación del trabajo de grado.

- 2.1 Importancia del tema dentro del entorno real en l cual se realizara el estudio.
- 2.2 Datos cuantitativos numerales con sus fuentes de información que justifican el estudio del tema y sus elementos.

3 Objetivos del trabajo de grado.

- 3.1 Objetivo general.
- 3.2 Objetivos específicos y secundarios.

4 Metodología operativa para el desarrollo del trabajo.

5 Técnicas a utilizar en el desarrollo metodológico del trabajo.

6 Esquema del contenido con el posible índice temático del trabajo

7 Fuentes de documentación para el presente proyecto

7.1 Para el presente proyecto

7.1.1 Primarias (Cátedras, tutorías y observaciones con personas, instituciones y/u objetos, datos, testimonios verbales, evidencias y pruebas cognitivas.)

7.1.2 Secundarias (Reglamentos de Trabajo de grado, Guía oficial, textos de técnicas de investigación, Libros especializados, tesis, trabajos de grados, monografías, folletos, revistas, periódicos y otros de igual naturaleza).

7.2 Para el trabajo de grado (Bibliografía inicial):

7.2.1 Primarias (Entrevistas, consultas, encuestas, experimentos, con o las personas, instituciones y/u objetivos).

7.2.2 Secundarias (Reglamento de Trabajo de Grado, Guía Oficial, textos de técnicas de investigación, libros especializados, tesis, trabajos de grados, monografías, folletos, revistas, periódicos y otros de igual naturaleza).

INTRODUCCION

Durante las dos últimas décadas, los sistemas de comunicaciones inalámbricas han experimentado una gran aceptación y crecimiento en la ciudad de Santo Domingo. Actualmente las comunicaciones inalámbricas forman parte de la vida diaria de la sociedad en la que vivimos. La comunicación a cualquier hora y desde cualquier lugar se ha convertido en requisito indispensable de calidad de las propias comunicaciones.

La primera línea del metro de Santo Domingo está diseñada para el transporte de gran cantidad de personas, uniendo diversas zonas de la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores. En la actualidad los usuarios de telefonía móvil deben de finalizar el uso de los servicios en curso cuando acceden a la red de metro, sin poder hacer uso de ellos durante sus desplazamientos en este modelo de transporte al no disponer de cobertura de voz y datos.

La necesidad de proporcionar un servicio inalámbrico de voz y datos continuo a los usuarios de telefonía móvil en el interior de las estaciones de metro, ha generado la necesidad del presente proyecto.

1- Planteamiento del problema que trata el trabajo de grado

1.1 - Definición conceptual del problema con citas y referencias bibliográficas.

En los sistemas del metro se presenta una problemática general, provocado por las características particulares de estructura y materiales de cada sistema ferroviario, las cuales afectan el correcto proceso de recepción y utilización de las señales inalámbricas en los espacios cerrados y subterráneos.

La intensidad de señal recibida dentro de un edificio debido a un transmisor externo es afectada por características típicas del recinto, como el tipo de edificación, el diseño y el material de construcción (Rappaport, 2002, p. 131-132).

En base a lo planteado anteriormente y tomando en consideración las características de construcción de la primera línea del metro de Santo Domingo, como son la profundidad de los túneles, grosor de los mismos y los materiales que se empleados, tales como el hormigón armado, acero entre otros, además como se trata de una infraestructura subterránea, se presentan condiciones para que las señales inalámbricas no puedan cubrir el área de los túneles de metro, provocando de esta forma que no se puedan realizar llamadas o conectarse a Internet en uno de los vagones del mismo. Siendo esta consideración aplicable a la primera línea del metro de Santo Domingo el cual es usado por una densidad poblacional significativa, en su mayoría suscrita a una prestadora de servicios móviles, queda planteado el problema:

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

El sistema de metro de la ciudad de Santo Domingo, específicamente en la primera línea del metro, se presenta la situación de que este no posee cobertura inalámbrica de voz y data dentro del túnel subterráneo, imposibilitando las comunicaciones inalámbricas hacia el exterior por parte de los usuarios que utilizan este sistema de transporte.

1.2 - Descomposición de los elementos conceptuales que definen el problema.

Para normalizar conceptos, presentamos la definición de los elementos relevantes a la problemática:

Señal: Cantidad eléctrica, como una corriente o voltaje, que pueden ser utilizados para transmitir la información para la comunicación, control, etc. (ed. Laplante, 2000, p.622).

Nivel de señal: Valor de una señal en un determinado lugar y tiempo (ed. Laplante, 2000, p.623).

Propagación: Movimiento de las ondas electromagnéticas a través de un medio o espacio libre (ed. Laplante, 2000, p.545).

Pérdidas de propagación: Pérdida de trayectoria de una perturbación electromagnética entre las antenas de transmisión y recepción (ed. Gibilisco, 2001, p. 558).

Trayectoria de propagación: Ruta por la que una onda de radio se propaga desde la antena de transmisión a la antena receptora (ed. Laplante, 2000, p.545).

Atenuación: Disminución exponencial en la amplitud de una señal eléctrica viajando a lo largo de una ruta debido al medio de soporte (ed. Laplante, 2000, p.44)

Cobertura: Zona en la que una estación de radiodifusión o comunicación puede proveer servicio confiablemente (ed. Gibilisco, 2001, p. 152).

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

Comunicación celular: Una radio, teléfono, televisión o la red de comunicación que hace uso de numerosos repetidores fijos. Los suscriptores usan los transceptores móviles que están siempre dentro de los límites de al menos un repetidor (ed. Gibilisco, 2001, p. 106).

Material: Elemento que entra como ingrediente en algunos compuestos (Diccionario RAE, 2001, extraído el 14 de julio de 2011 desde <http://buscon.rae.es/draeI/>

1.3 - Delimitación en el tiempo y espacio con explicaciones de razones que lo justifican.

Esta propuesta se estará realizando en las instalaciones de la primera línea del metro de Santo Domingo. En la cual desde su puesta en funcionamiento no cuenta con una cobertura de red inalámbrica de voz y datos, capaz de proveer los servicios de telefonía móvil y acceso a Internet. Además de ser la única línea en funcionamiento en la actualidad.

Este proyecto se realiza en este periodo Enero- Abril de 2013, debido al actual crecimiento y aceptación de las comunicaciones inalámbricas y a las necesidades de servicios inalámbricas de voz y data que manifiesta la cantidad de usuarios que utilizan los servicios de la primera línea del metro de Santo Domingo.

1.4- Cuestionamientos que se plantea los solicitantes ante el problema a desarrollar.

1.4.1- Cuestionamientos que se plantea los solicitantes ante el problema a desarrollar.

¿Cómo se podría brindar cobertura inalámbrica de voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo?

1.4.2- Subpreguntas operativas relacionadas con los elementos del concepto que determinaran los Objetivos Específicos, secundarios, u Operativos del Trabajo de Grado.

¿Qué sistema se podría utilizar para llevar señales inalámbricas a área subterránea?

¿Cómo se podrían manejar las frecuencias de las diferentes proveedoras de servicios de comunicaciones a bajo coste?

¿Cómo se podría hacer una instalación de una red inalámbrica dentro de una estructura subterránea y a la vez que sea escalable en el tiempo?

2- Justificación del trabajo de grado.

2.1- Importancia del tema dentro del entorno real en el cual se realizara el estudio.

La llegada de las comunicaciones inalámbricas ha revolucionado completamente el sector de las telecomunicaciones, ya que gracias a la movilidad se ha podido establecer la comunicación en cualquier momento y en cualquier lugar, llegando a formar parte fundamental de nuestras actividades cotidianas.

Como producto del crecimiento y penetración de la telefonía móvil en el mercado, muchas llamadas se realizan dentro de centros comerciales, campos universitarios, edificios empresariales y estaciones ferroviarias, como es el caso de la primera línea del metro de Santo Domingo, la cual no posee cobertura inalámbrica de ninguna de las principales compañías prestadoras de servicios móviles. Razón por la cual quienes utilicen este medio de transporte estén incomunicados, afectando de esta manera el desenvolvimiento de sus actividades cotidianas y al mismo tiempo representa un peligro a la seguridad ciudadana en caso de emergencias y desastres.

En base a esto se hace necesario el desarrollo de un proyecto que provea una solución definitiva y escalable en el tiempo, para que zonas subterráneas como la primera línea del metro de Santo Domingo, donde la cobertura es suficientemente corta o nula, la atenuación y propagación de las señales inalámbricas en estos lugares, es un factor importante. También permite el desarrollo de otros diseños que requieran la información concluyente del proyecto, para distintos entornos y materiales.

Los datos ofrecidos serán tanto de interés para las empresas telefónicas, como para cualquier compañía que desee prestar servicios de radiocomunicación, en estructuras subterráneas que interactúen con un transmisor externo.

2.2- Datos cuantitativos numerales con sus fuentes de información que justifican el estudio del tema y sus elementos.

Dentro de la gestión operativa de la primera línea del metro de Santo Domingo se han realizado estudios estadísticos que demuestra ha mantenido un crecimiento constante de su apertura hasta la fecha. Lo cual se refleja que esta línea ha transportado a 84, 227,206 entre el 30 de enero del 2012 al 31 de marzo del 2012. (OPRET, 2012)

Otra prueba de esto es que en el mes de agosto del año en curso, el peaje diario promedio de la primera línea del metro fue de 6,266 personas, lo cual al mes representa un total aproximado de 194,246 personas. (Ing. Leonel Carrasco, OPRET, 2012).

En base a los datos ofrecidos se puede apreciar que el número de usuarios sigue en aumento, lo que implica que el número de usuarios que solicitara acceso a comunicaciones inalámbricas en horas pico será mayor. Además de que si se presenta una situación de emergencia, estas personas quedarían incomunicadas con el exterior.

3- Objetivos del trabajo de grado.

3.1- Objetivo general.

Diseñar de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

3.2- Objetivos específicos y secundarios.

- Investigar el diseño de construcción de la primera línea del metro de Santo Domingo.
- Investigar los efectos atenuantes de los materiales de construcción empleados en la primera línea del metro de Santo Domingo.
- Analizar las diferentes tecnologías existentes aplicables en este tipo de diseño
- Mejorar la cobertura en áreas en donde las celdas existentes no poseen buenos niveles de señal.

4- Metodología operativa para el desarrollo del trabajo.

Para la realización de este trabajo se utilizara el método analítico, así como el uso de una investigación explicativa estableciendo relación de causa-efecto en el desarrollo de la propuesta.

Empleando el método analítico, se procederá a evaluar cada una de las propiedades de la propuesta tales como: cobertura, costo, fiabilidad, demanda, escalabilidad; y en conjunto obtener un resultado conglomerado que sustente nuestra hipótesis. Una vez obtenidos los parámetros como los mencionados previamente, procederemos a establecer conclusiones generales de nuestra propuesta.

De la misma forma la investigación será de tipo experimental ya que se ajustara y diseñara en función de las variables que se puedan presentar en la primera línea del metro de Santo Domingo.

5- Técnicas a utilizar en el desarrollo metodológico del trabajo.

Consultas Bibliográficas

Se consultaran revistas, libros, papers, manuales especializados para conocer lo relacionado al diseño de redes inalámbricas de comunicaciones y propagación de señales en espacios cerrados y subterráneos.

Entrevistas

A personas expertas en la materia para tener una idea general sobre la misma y aclarar los diferentes problemas en torno a la propagación de señales en áreas subterráneas y espacios cerrados.

Simulaciones

Las simulaciones permitirán ver el funcionamiento de la red propuesta, al mismo tiempo que simular el diseño actual y a través de los resultados comparar uno con otro y determinar cuál diseño es el más óptimo.

Mediciones

Se harán mediciones de la red actual para identificar los niveles de atenuación y pérdida de la red actual dentro de las instalaciones del metro.

6- Esquema del contenido con el posible índice temático del trabajo

1. Índice Temático
2. Dedicatorias
3. Agradecimientos
4. Introducción
5. Metodología
6. CAPÍTULO I: Propagación de Ondas y Modelos de Propagación.
7. Propagación de las Ondas Electromagnéticas.
 - a. Propiedades básicas de las ondas electromagnéticas.
 - b. Modos de propagación en el espacio libre y en el entorno terrestre.
 - c. Densidad de flujo de potencia e intensidad de campo.
8. Modelos de propagación móviles
 - a. Tipos de modelos
 - b. Modelo de propagación en el espacio libre
 - c. Modelos de propagación en exteriores.
 - d. Modelos de propagación de interiores
 - e. Descripción estructural y análisis de propagación y atenuación en el túnel de la primera línea de Santo Domingo.
 - f. Descripción de sistemas Indoors de radiación.
 - g. Selección del sistema Indoor de radiación a ser utilizada en el diseño.
9. Tecnologías inalámbricas
 - a. GSM
 - i. 2G

ii. 3G

1. UTMS

2. HSPDA

10. CAPÍTULO II: Diseño del sistema

- a. Planteamiento de la propuesta de diseño
- b. Calculo de cobertura del sistema.
- c. Calculo de capacidad del sistema.
- d. Diseño del sistema de red Inalámbrica.

11. CAPÍTULO III: Validación

- a. Simulación del diseño de la red inalámbrica.
- b. Presentación de los resultados obtenidos

12. Conclusión

- a. Conclusiones generales
- b. Recomendaciones
- c. Implicación para investigaciones futuras

13. Referencias

14. Glosario

15. Anexos

7- Fuentes de documentación para el presente proyecto

7.1 Para el presente proyecto

7.1.1 Primarias (Cátedras, tutorías y observaciones con personas, instituciones y/u objetos, datos, testimonios verbales, evidencias y pruebas cognitivas.)

Observaciones del Prof. Porfirio Sánchez.

Informaciones brindadas por el Ing. Leonel Carrasco, Responsable de Acceso a la Información de la Oficina Para el Reordenamiento del Transporte (OPRET) Datos de Operación del metro de Santo Domingo (30 de junio de 2012), Santo Domingo, R.D: Oficina Para el Reordenamiento del Transporte (OPRET). Extraído el 24 de Septiembre de 2012 desde: <http://opret.gob.do/Estadisticas.aspx>

7.1.2 Secundarias (Reglamentos de Trabajo de grado, Guía oficial, textos de técnicas de investigación, Libros especializados, tesis, trabajos de grados, monografías, folletos, revistas, periódicos y otros de igual naturaleza).

Reglamento de Trabajo de grado. Universidad APEC. Extraído el 24 de Septiembre del 2012.

7.2 Para el trabajo de grado (Bibliografía inicial):

7.2.1 Primarias (Entrevistas, consultas, encuestas, experimentos, con o las personas, instituciones y/u objetivos).

1- Ing. Leonel Carrasco, Responsable de Acceso a la Información (IRAI), Oficina Para el Reordenamiento del Transporte (OPRET): Datos de Operación del metro de Santo Domingo (Numero de Pasajeros) (13 de Septiembre de 2012), Santo Domingo, R.D.

7.2.2 Secundarias (Reglamento de Trabajo de Grado, Guía Oficial, textos de técnicas de investigación, libros especializados, tesis, trabajos de grados, monografías, folletos, revistas, periódicos y otros de igual naturaleza).

1- Reglamento de Trabajo de grado. Universidad APEC. Extraído el 24 de Septiembre del 2012.

2- Ed. Laplante, P. A. (2000). Electrical engineering dictionary (1a ed.). Estados Unidos: CRC Press LLC.

3- Rappaport, T. S. (2002). Wireless communications principles and practice (2a ed.). Estados Unidos: Prentice Hall.

4- Kobayashi, H. K. & Patrick, G. (1992). Preliminary building attenuation model. En NTIA Technical Memorandum 92-155. Estados Unidos: U.S. Department of commerce.

5- Ed. Gibilisco, S. (2001). The illustrated dictionary of electronics (8va ed.). Estados Unidos: McGraw-Hill.

6- Diccionario de la real academia española (2001), (22^a ed.), [base de datos]. España. Extraído el 24 de Septiembre de 2012 desde <http://buscon.rae.es/draeI/>.

Diseño de una red inalámbrica para proveer voz y data en la primera línea del metro de Santo Domingo.

7- Memoria de operaciones del Metro (27 de Febrero de 2008), Santo Domingo, R.D: Oficina Para el Reordenamiento del Transporte (OPRET). Extraído el 24 de Septiembre de 2012 desde: <http://opret.gob.do/Estadisticas.aspx>

8- PRESENTACIÓN DE LA MEMORIA Y CUENTA (Gestion 2004-2012), Santo Domingo, R.D: Oficina Para el Reordenamiento del Transporte (OPRET). Extraído el 24 de Septiembre de 2012 desde: http://opret.gob.do/Descargas/LIBRO_FINAL_23-07.pdf

9- Datos de Operación del metro de Santo Domingo (30 de junio de 2012), Santo Domingo, R.D: Oficina Para el Reordenamiento del Transporte (OPRET). Extraído el 24 de Septiembre de 2012 desde: <http://opret.gob.do/Estadisticas.aspx>

.