



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE VIDEO VIGILANCIA ENTRE VAGONES Y  
CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES DEL METRO DE CARACAS.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**REALIZADO POR:** Pacheco León, Luis Alejandro C.I. V- 19.453.421.  
Rubio Heredia, Miguel Guillermo C.I. V- 19.841.735.

**TUTOR:** Ing. Alfredo Matos Anzola. C.I. V- 6.894.893.

**FECHA:** Caracas, Octubre de 2013.



## RESUMEN

Una gran necesidad para la población es transportarse, y como es conocido, Caracas es una ciudad con un gran número de habitantes. Debido a esta razón, es de suma importancia contar con un Sistema Ferroviario Metropolitano (Metro), que preste un servicio integrado y de calidad que contribuya en elevar la calidad de vida de los habitantes de Caracas.

El Metro de Caracas es un sistema subterráneo de transporte masivo de pasajeros, considerado actualmente como el sistema de transporte más importante, rápido, económico, extenso y confiable que sirve a la ciudad de Caracas, por ende se encuentra en constante búsqueda de mejoras para satisfacer las necesidades de los usuarios y mejorar la calidad del servicio tan importante que brinda. Dentro de las necesidades más importantes para los usuarios se encuentra la seguridad, es por esto que en el presente Trabajo Especial de Grado se diseñará un sistema de video vigilancia que buscará mejorar la seguridad de los usuarios del Metro de Caracas.

El diseño propone un sistema que adapta tecnologías modernas a las particularidades del entorno ferroviario. El sistema se basa en la transmisión de video en tiempo real desde los vagones hasta el Centro de Control de Operaciones y su infraestructura comprende un conjunto de cámaras, grabadores de red, y una interfaz inalámbrica capaz de interconectarse con la red de cable radiante existente en los túneles, para de esta forma establecer una comunicación continua con el Centro de Control de Operaciones.

**Palabras Claves:** Video Vigilancia, Cable Radiante, CCTV, Metro de Caracas.

## **DEDICATORIA**

“A Dios, a mis padres, que siempre han sido mi ejemplo a seguir, que en todo momento me han apoyado y brindado su ayuda cuando los he necesitado. Este éxito en mi vida se debe en gran parte a ustedes. A mis hermanas, a mi familia Pacheco, a mi familia León, a todos mis amigos y seres queridos que son parte fundamental en mi vida.”

Luis Pacheco.

“A mis padres por el apoyo incondicional a lo largo de la carrera, a mis abuelos por todo el cariño y las enseñanzas, a Dios, y a todas esas personas que forman parte de mi vida y me han hecho quien soy, este logro es para ustedes”.

Miguel Rubio.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **UCAB.**

Ing. Beltrán Chaurán.

Ing. Javier Barrios.

Ing. Berardo Di Attanasio.

Ing. Wilfredo Torres.

Ing. Nicola Buonnano.

### **METRO DE CARACAS C.A**

Ing. Alfredo Matos.

Ing. Ygor Salgado.

Ing. Jesús Barragán.

A nuestros padres y familiares por brindarnos la oportunidad y el ánimo necesario para concluir nuestros estudios universitarios, darnos todo lo que necesitábamos y servirnos de apoyo durante toda esta etapa en nuestras vidas.

A la familia Pacheco por toda la hospitalidad (de Miguel).

Y a todo el personal del Metro de Caracas que hizo este Trabajo Especial de Grado posible, GRACIAS.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....	1
I.1. Planteamiento del Problema.....	1
I.2. Objetivo General.....	2
I.3. Objetivos Específicos.....	2
I.4. Alcances.....	3
I.5. Limitaciones.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
II.1. Video Vigilancia.....	5
II.2. Fundamentos de Video.....	5
II.2.1. Video Analógico.....	5
II.2.2. Video Digital.....	7
II.2.3. Calidad de la imagen digital.....	7
II.2.4. <i>Bitrate</i> .....	8
II.2.5. Generación de la imagen.....	8
II.2.6. Barrido entrelazado.....	8
II.2.7. Barrido progresivo.....	9
II.2.8. Resoluciones NTSC y PAL.....	9
II.2.9. Resolución VGA.....	10
II.3. Comprensión de Video.....	11

II.3.1. MPEG-1.....	12
II.3.2. MPEG-2.....	12
II.3.3. MPEG-4.....	13
II.3.4. H.261. ....	13
II.3.5. H.263. ....	13
II.3.6. H.264/MPEG-4 AVC. ....	14
II.4. Modulaciones Digitales. ....	15
II.5. OFDM.....	16
II.6. Modulaciones de Espectro Ensanchado. ....	18
II.7. Sistema CCTV (Circuito Cerrado de Televisión). ....	18
II.7.1. Componentes de un sistema de CCTV Clásico.....	19
II.8. Protocolo IP. ....	21
II.9. Ethernet (Estándar IEEE 802.3). ....	23
II.9.1. Fast-Ethernet y Giga-Ethernet.....	23
II.10. PoE (Power over Ethernet).....	24
II.11. Redes de Datos. ....	24
II.11.1. LAN (Local Area Network). ....	25
II.11.2. MAN (Metropolitan Area Network). ....	25
II.11.3. WAN (Wide Area Network). ....	25
II.11.4. WLAN.....	26
II.11.5. Seguridad WLAN.....	27
II.12. QoS (Quality of Service). ....	29
II.13. Fibra Óptica. ....	30
II.14. Video IP.....	33
II.14.1. Ventajas de la video vigilancia IP con respecto a los sistemas analógicos.....	34
II.14.2. Cámara de Red. ....	35
II.14.3. Servidor de video.....	39
II.14.4. Software de gestión de video.....	41
II.14.5. NVR (Network Video Recorder).....	42

II.15. Cable Radiante.....	43
II.15.1. Principios de Transmisión del Cable Radiante.....	44
II.15.2. Principios de Operación.....	44
II.15.3. Tipos de Cable Coaxial Radiante.....	46
CAPÍTULO III.....	49
METODOLOGÍA.....	49
III.1 Investigación y Documentación.....	49
III.2 Consultas y entrevistas técnicas con personal de Metro de Caracas.....	50
III.3 Estudio de infraestructura y sistemas del Metro de Caracas.....	50
III.4 Cálculos, diseño y elección de equipos.....	51
III.5 Simulaciones y análisis de resultados obtenidos.....	51
III.6 Estimación de costos de equipos.....	51
III.7 Culminación.....	52
CAPÍTULO IV.....	53
DESARROLLO.....	53
IV.1 Investigaciones Preliminares.....	53
IV.2 Analógico vs Digital.....	54
IV.3 Tipos de Cámaras.....	58
IV.4 Códec.....	61
IV.5 Infraestructura de la vía férrea.....	62
IV.6 Arquitectura de vagones.....	64
IV.7 Estudio de Frecuencias.....	66
IV.8 Diseño de la red.....	67
IV.8.1. Red móvil.....	67
IV.8.1.1 Cálculos realizados.....	69
IV.8.1.2 Equipos a bordo.....	71
IV.8.1.3 Distribución de equipos a bordo.....	77
IV.8.2. Sistema Radiante.....	79
IV.8.2.1 Teoría de difusión del cable radiante.....	79
IV.8.2.2 Posición del cable radiante según su ubicación sobre la línea.....	80

IV.8.2.3 Descripción del sistema. ....	80
IV.8.2.4 Integración de la red móvil con el sistema radiante.....	82
IV.8.2.5 Cálculos realizados. ....	83
IV.8.2.6 Arquitectura de radio y Armarios de acceso.....	90
IV.8.3. Red de Fibra óptica. ....	91
IV.8.4. Centro de Control de Operaciones.....	93
IV.8.4.1 Monitorización usando el software de gestión de video.....	94
IV.8.4.2 Equipos ubicados en Centro de Control de Operaciones.....	94
CAPÍTULO V .....	97
RESULTADOS.....	97
V.1. Descripción general del sistema a instalar. ....	97
V.1.1. Red móvil. ....	97
V.1.2. Sistema Radiante.....	99
V.1.3. Centro de Control de Operaciones. ....	102
V.2. Simulaciones. ....	104
V.3. Estimación de Costos. ....	106
CAPÍTULO VI.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
CONCLUSIONES. ....	109
RECOMENDACIONES.....	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXO A: CAMARA IP.....	115
ANEXO B: NVR. ....	117
ANEXO C: MODEM.....	119
ANEXO D: AMPLIFICADOR.....	121
ANEXO E: ANTENA VAGON. ....	123
ANEXO F: SOFTWARE DE GESTION. ....	125
ANEXO G: CARACTERISTICAS CABLE RADIANTE.....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de generación de video analógico,.....	6
Figura 2. Proceso de grabado de video en cintas magnéticas.....	6
Figura 3. Barrido entrelazado y Barrido progresivo.....	9
Figura 4. Resoluciones de NTSC y PAL.....	10
Figura 5. Concepto de una señal OFDM: a) Técnica convencional de multi portadoras. b) Técnica de modulación de portadoras ortogonales. ....	17
Figura 6. a) Espectro de un sub canal OFDM. b) Señal OFDM.....	17
Figura 7. Esquema básico de un sistema CCTV analógico.....	21
Figura 8. Clases de direcciones IP.....	22
Figura 9. Ejemplo de red alimentada por PoE.....	24
Figura 10. Diagrama de Red inalámbrica.....	27
Figura 11. Red común no compatible con QoS.....	29
Figura 12. Red Compatible con QoS.....	29
Figura 13. Estructura del cable de fibra óptica.....	30
Figura 14. Sistema básico de comunicaciones de fibra óptica.....	31
Figura 15. Fibra óptica monomodo (Izquierda) Fibra óptica multimodo (derecha)....	32
Figura 16. Esquema básico de un sistema de video vigilancia IP.....	33
Figura 17. Cámaras de Red en una Red de Video Vigilancia IP.....	36
Figura 18. Esquema básico de una cámara de Red.....	36
Figura 19. Cámara de Red Fija.....	37
Figura 20. Ejemplo de cámara tipo domo.....	38
Figura 21. Ejemplo de cámara de red PTZ.....	38
Figura 22. Ejemplo de cámara de red domo PTZ.....	39
Figura 23. Ejemplo de software de gestión de video.....	42
Figura 24. Diagrama de sistema de video vigilancia usando NVR.....	42
Figura 25. Cable coaxial corrugado radiante.....	43
Figura 26. Principio de transmisión de un cable coaxial cerrado.....	45
Figura 27. Principio de transmisión de un cable coaxial radiante.....	45
Figura 28. Cable radiante RMC.....	46
Figura 29. Cable radiante tipo CMC.....	47
Figura 30. Cable radiante tipo LSC.....	47
Figura 31. Cámara de Red AXIS M3113-R.....	59
Figura 32. Comparación de espacio entre diferentes estándares de compresión de video.....	62
Figura 33. Mapa de Líneas del Metro de Caracas.....	63

Figura 34. Túnel Línea 1 Metro de Caracas.....	63
Figura 35. (Arriba) Identificación de los extremos de un vagón tipo A y C. (Abajo) Identificación de los extremos de un vagón tipo B, D y R.....	64
Figura 36. Conformación de Trenes Línea 1. ....	65
Figura 37. Dimensiones de vagón GEC-Alsthom-Atlantique, vista frontal y posterior. ....	65
Figura 38. Vista lateral de vagón GEC-Alsthom-Atlantique.....	65
Figura 39. a) Foto frontal tren GEC-Alsthom-Atlantique.b) Vista lateral tren GEC-Alsthom-Atlantique en patio. c) Vista interior de vagón GEC-Alsthom-Atlantique..	66
Figura 40. Cálculos de almacenamiento y ancho de banda para vagones tipo A. ....	69
Figura 41. Requisitos de ancho de banda y almacenamiento para vagón Tipo A. ....	70
Figura 42. Requisitos de ancho de banda y almacenamiento para vagón Tipo B.....	70
Figura 43. Cámara de Red AXIS M3113-R.....	72
Figura 44. Grabador de video en red Nexcom NVIS 3542P4/P8. ....	73
Figura 45. Cable STP. ....	74
Figura 46. ELPRO 945U-E Wireless Ethernet High Speed Modem. ....	75
Figura 47. Hyperlink Amplificador OFDM 900MHz.....	75
Figura 48. Antena Omnidireccional Hyperlink dual band 900 MHz/2.4Ghz. ....	76
Figura 49. Cyberpower UPS 600VA/340W.....	76
Figura 50. Vista Superior ubicación de cámaras en vagón. ....	77
Figura 51. Vista lateral ubicación de cámaras en vagón. ....	77
Figura 52. Distribución de cámaras y cableado en vagones. ....	78
Figura 53. A) Cofre de conexiones eléctricas en vagón tipo B.....	78
Figura 54 . Cable Radiante.....	79
Figura 55. Difusión del cable radiante fijado en el techo. ....	79
Figura 56. Posición del cable radiante según su ubicación sobre la línea.....	80
Figura 57. Plano de cables radiantes y equipos entre estaciones Plaza Venezuela y Sabana Grande. ....	81
Figura 58. Componentes del sistema radiante.....	81
Figura 59. Diagrama de diseño en tramo abierto Caño Amarillo – Gato Negro. ....	89
Figura 60. Diagrama de Armario de acceso.....	91
Figura 61. Repartición de las Fibras a lo Largo de las Estaciones.....	91
Figura 62. Rack para equipos.....	95
Figura 63. Visualización grupo de cámaras mediante software IPronet e-netcamCLIENT.....	95
Figura 64. Servidor de almacenamiento HP. ....	96
Figura 65. Switch Gigabit Tp-link. ....	96
Figura 66. Diagrama de Red Móvil. ....	99
Figura 67. Diagrama de canalización de vagones.....	101

Figura 68. Diagrama de distribución de armarios de acceso en Línea 1.....	101
Figura 69. Diagrama de distribución de equipos en estación descubierta Caño Amarillo.....	102
Figura 70. Diagrama Centro de Control de Operaciones. ....	103
Figura 71. Sinóptico general de Propuesta. ....	104
Figura 72. Distribución y campo de visión de cámaras en vagón. ....	105
Figura 73. Vistas 3D de cámaras en vagones. ....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formato de Imágenes H.261 y H.263.....	14
Tabla 2. Comparación entre distintos medios de transmisión. ....	32
Tabla 3 Comparación entre Sistemas CCTV analógicos y digitales. ....	57
Tabla 4. Cuadro comparativo cámaras de red comerciales. ....	60
Tabla 5. Comparación entre estándares de compresión de video.....	61
Tabla 6. Servicios y Frecuencias utilizadas en cable radiante.....	66
Tabla 7. Cálculos de SR en Tramos y ubicación de Armarios de Acceso. ....	87
Tabla 8. Especificaciones del Cable en red de Fibra Óptica del Metro de Caracas. ...	92
Tabla 9. Especificaciones Eléctricas de los Convertidores Ópticos. ....	92
Tabla 10. Especificaciones Ópticas de los Convertidores Ópticos. ....	93
Tabla 11 Rendimiento del Modem ELPRO 945U-E. ‘ .....’	99
Tabla 12. Estimación de costos de equipos embarcados en tren. ....	106
Tabla 13. Estimación de costos de Armarios de Acceso.....	107
Tabla 14. Estimación de Costos equipos en CCO.....	107
Tabla 15. Estimación de Costos equipos en armario de acceso tramo abierto. ....	108

## INTRODUCCIÓN

En una ciudad tan poblada y congestionada como Caracas, el Metro de Caracas es el principal medio de transporte de los capitalinos, más de 2 millones de pasajeros son transportados diariamente por el mismo. Cuando se maneja un gran número de personas, lo primordial es brindarles un buen servicio y seguridad. El Metro de Caracas en sus instalaciones cuenta con sistemas de seguridad y monitorización como lo son las cámaras de video y monitores que conforman el sistema de CCTV integrado en cada una de las instalaciones. La función principal del Sistema de CCTV es brindar apoyo a la Operación del Sistema Metro, el cual permite visualizar al personal operativo, lugares y ambientes donde no llega el campo de visión del operador, tales como: accesos a la estación, escaleras mecánicas, cuartos de valores, entre otros.

Al diseñar sistemas de comunicaciones en los espacios físicos del Metro de Caracas confluyen factores como trenes y túneles, donde las ondas de radio se propagan con dificultad. La tecnología de cable radiante ha sido de gran ayuda para solucionar el principal inconveniente de poder radiar señales en lugares cerrados, el sistema permite la comunicación vía ondas de radio en túneles subterráneos donde dichas ondas no se pueden propagar en forma natural como en la superficie. Dicho cable se distribuye a través de todas las áreas donde se desea tener cobertura de Radiocomunicación.

La Video Vigilancia es una tecnología de vigilancia visual que combina los beneficios analógicos de los tradicionales circuitos cerrados de televisión con las ventajas digitales de las redes de comunicación IP, permitiendo la supervisión local o remota de imágenes y audio.

En el presente Trabajo Especial de Grado se pretende diseñar un sistema de video vigilancia a bordo de trenes que permita extender el servicio que presta el

sistema de CCTV en las instalaciones y andenes del Metro hacia el interior de los vagones que conforman los trenes. Para el diseño del mismo se deben tener claras las ventajas y desventajas que aportan tanto los sistemas de video analógicos (CCTV) como los sistemas digitales de video IP. La tecnología de video IP basada en el IP (Internet Protocol) introduce nuevos métodos de compresión que permiten aprovechar de mejor forma los limitados anchos de banda que encontramos en los enlaces de comunicación.

Una vez clara la tecnología del sistema a utilizar se consultaron distintas compañías y sistemas ferroviarios a nivel mundial en los cuales se han implementado con éxito sistemas de seguridad y vigilancia a bordo, redes de datos y transmisiones inalámbricas en estos entornos.

En cada vagón en el cual se desea implementar el sistema de video vigilancia se diseñó una red móvil independiente, la cual cuenta con todos los equipos necesarios para la grabación y el establecimiento de la comunicación Tren - Centro de Control de Operaciones. En el diseño del sistema se tomaron aspectos de suma importancia como son: bandas de frecuencias disponibles, alimentación y ubicación de los equipos, atenuaciones e interferencias, entre otros.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

En este capítulo se describe el problema, la motivación del presente Trabajo Especial de Grado y todos los objetivos planteados necesarios para lograr resultados adecuados en el diseño propuesto y una solución al problema planteado, al igual que se especifica el alcance y las limitaciones del proyecto.

### I.1. Planteamiento del Problema

Dentro de los espacios físicos del Metro de Caracas se encuentran implementados una serie de sistemas de comunicaciones que hacen uso de la infraestructura de cable radiante instalada a lo largo de los túneles de la vías férreas. Un ejemplo es el sistema móvil digital de radio TETRA y la cobertura de telefonía móvil brindada por las operadoras celulares dentro de los túneles.

Como muchos de los medios utilizados para la transmisión de información, el cable radiante viene siendo una línea de transmisión particular. El sistema permite la comunicación vía ondas de radio en túneles subterráneos donde dichas ondas no se pueden propagar en forma natural como en la superficie. El cable radiante se distribuye a través de todas las áreas donde se desea tener cobertura de radiocomunicación. (Paspual Narvaez, 2010).

El tema de la inseguridad y vandalismo dentro de los sistemas de transporte público es un factor importante que se debe tomar en cuenta y en el que se deben buscar soluciones para prevenir este tipo de conductas con el fin de asegurar el buen mantenimiento de los espacios físicos y la tranquilidad de los pasajeros.

El Metro de Caracas como compañía ha buscado soluciones para brindar una mejor calidad de servicio a los usuarios y que su viaje sea lo más placentero y seguro posible. Actualmente en todas las estaciones y andenes de las diferentes líneas del

Metro de Caracas, se cuenta con un sistema de Circuito Cerrado de Televisión que graba todo lo sucedido en las instalaciones y el cual es monitoreado desde el Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas. Una de las limitaciones de este sistema es que no se extiende hasta el interior de los vagones del Metro, impidiendo observar la situación dentro de estos, la cual comprende el comportamiento o seguridad tanto de los usuarios como del operador del tren.

Por tal razón, el presente Trabajo Especial de Grado tiene como finalidad diseñar un sistema de video vigilancia que permita una monitorización de video en tiempo real, extendiéndose hasta los espacios internos de los vagones y la cabina del conductor, con el objetivo de poder evitar o tomar medidas pertinentes ante cualquier situación de riesgo o emergencia que se pudiese presentar en un vagón a lo largo de la vía férrea.

## **I.2. Objetivo General**

Diseñar un sistema de transmisión de video, utilizando el sistema actual de cable radiante, y basándose en tecnología IP, que permita la monitorización de la situación dentro de los vagones de los trenes de la Línea 1 del Metro de Caracas.

## **I.3. Objetivos Específicos**

- Investigar sobre aplicaciones de redes inalámbricas y sistemas de CCTV en diferentes entornos ferroviarios alrededor del mundo, con la finalidad de estudiar distintas soluciones y evaluar posibles tecnologías y equipos que puedan ser integrados a los vagones del Metro de Caracas.
- Identificar las características físicas y técnicas del medio de propagación a utilizar (cable radiante): rango de frecuencia de trabajo, atenuación, impedancia, entre otros.

- Estudiar las frecuencias radioeléctricas aptas y disponibles para el diseño del sistema de video vigilancia, tomando como parámetros la atenuación, resistencia al ruido e interferencias que se puedan presentar en el entorno ferroviario y que afecten directamente las comunicaciones entre los equipos.
- Estudiar la alimentación eléctrica disponible en los trenes para el correcto funcionamiento de equipos a integrar, así como el acople entre vagones, para determinar la viabilidad de la comunicación.
- Estudiar aspectos técnicos relevantes al video para establecer la comunicación hacia el Centro de Control de Operaciones.
- Investigar equipos comerciales adecuados para el funcionamiento correcto del diseño propuesto: cámaras, grabadores, amplificadores, servidores, software, etc.
- Diseñar el sistema de transmisión de video de acuerdo a los aspectos técnicos estudiados, así como los equipos óptimos escogidos, teniendo en cuenta la factibilidad económica del proyecto.

#### **I.4. Alcances**

El Trabajo especial de grado abarcará todos los aspectos relacionados al diseño del sistema de video vigilancia propuesto con la finalidad de lograr un funcionamiento correcto del mismo. Para la realización del diseño, se estudiará la infraestructura de la Línea 1 del Metro de Caracas, así como la arquitectura de los trenes en los que se instalara el sistema de video, y se justificará la elección de cada uno de los equipos involucrados en el diseño.

Para el envío de la información al Centro de Control de Operaciones se utilizará como medio de transmisión el cable radiante que se encuentra instalado en la

Línea 1 del Metro, así como la red de fibra óptica existente en las instalaciones de la empresa.

## **I.5. Limitaciones**

El Trabajo Especial de Grado no contemplará la compra e implementación de los equipos propuestos en el diseño, ya que la puesta en marcha del sistema depende del presupuesto que maneja Metro de Caracas C.A dentro de los planes de inversión para mejorar la calidad del servicio hacia sus usuarios. Adicionalmente, el diseño y presupuesto se orientara a un solo tren.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### II.1. Video Vigilancia

Consiste en la captación y/o tratamiento de imágenes con fines de vigilancia. La video vigilancia es una práctica muy extendida en la sociedad, busca garantizar la seguridad de los bienes y las personas. También se utiliza en el entorno empresarial con la finalidad de verificar el cumplimiento por el trabajador de sus obligaciones y deberes laborales. (Agencia Española de Protección de Datos)

#### II.2. Fundamentos de Video

Un video es una secuencia de imágenes instantáneas o fotogramas que, reproducidos uno tras otro, dan una sensación de movimiento y que normalmente se acompañan de sonido.

El video es la técnica que engloba la captura, el almacenaje y la reproducción de imágenes en movimiento. Es un proceso electrónico que puede ser analógico o digital. La sucesión de imágenes fijas crea la sensación de movimiento que capta, almacena y reproduce el video.

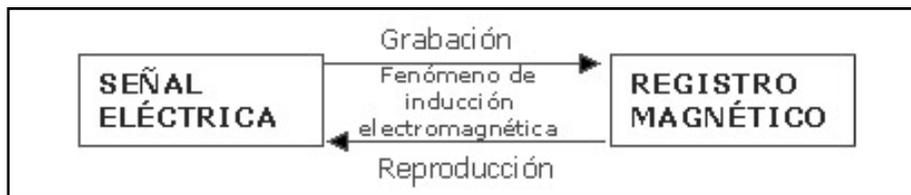
La señal de video se origina a partir de la conversión de variaciones de intensidad de luz por cambios de intensidad eléctrica. Todo este se produce cuando existen materiales fotosensibles. (Aguilar López & Morante Fernández, 2010)

##### II.2.1. Video Analógico

La señal de video analógico se genera a través del muestreo periódico de la información que llega a la cámara. Este proceso es conocido como barrido o *scanning*. A través de él se obtienen los datos de luminancia y crominancia.

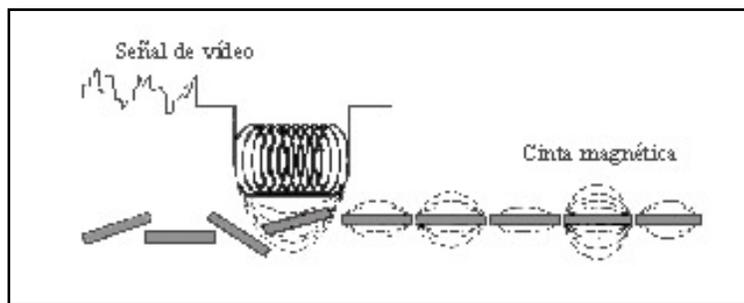
La luminancia es la señal que dará la información sobre la intensidad de la luz, esta representa la imagen en blanco y negro con todos los tonos mediante la escala de grises. La crominancia es la portadora de la información acerca de los colores del objeto, contiene los canales RGB, es decir rojo, verde y azul.

Las imágenes grabadas con una cámara de video analógica se convierten en una señal eléctrica, la base de este sistema de grabación de video analógico es la acción que esta señal eléctrica ejerce sobre un campo magnético (la cinta de video) y de forma reversible, la base del sistema de reproducción del video es que todo campo magnético genera a su vez una señal eléctrica. Dos procesos silenciosos e invisibles para generar un sistema audiovisual.



*Figura 1. Proceso de generación de video analógico,  
Fuente: <http://www.upv.es/laboluz/2222/tecnica/senal1.htm>.*

La cinta de video consiste en una sucesión de partículas ferromagnéticas que se desplazan frente a la cabeza de grabación, imantándose secuencialmente según la intensidad de magnetismo que en ese instante esté produciendo la señal de video.



*Figura 2. Proceso de grabado de video en cintas magnéticas.  
Fuente: <http://www.upv.es/laboluz/2222/tecnica/senal1.htm>.*

La señal de video es de amplitud variable, su variación corresponde a las variaciones de luminancia de la escena explorada, por lo que el magnetismo retenido por la cinta también será variable, es decir, cada partícula queda imantada en un instante determinado con valor concreto. Esta variación de magnetismo es una traducción proporcional de las variaciones de luz registradas por la cámara en el proceso de grabación, o leídas por el magnetoscopio en la cinta de video en el proceso de reproducción.

### **II.2.2. Video Digital**

En el dominio digital, la información de video no está representada por la amplitud de las variables físicas, que vendrían siendo los voltajes de luminancia y crominancia, si no que se encuentra representada mediante dígitos o lenguaje binario de 1 y 0, que son el resultado de un proceso de muestreo y codificación. La señal eléctrica que recibe la cámara ya no es plasmada en un soporte electromagnético. En video digital la información en sistema de bits se puede almacenar en discos duros o en soportes digitales. (Vega, 2003)

### **II.2.3. Calidad de la imagen digital**

Cada imagen del video digital está compuesta de un número concreto de píxeles. La resolución de la imagen del video digital se mide en píxeles por pulgada, a mayor resolución mayor calidad de imagen. Los píxeles serán, por tanto, la unidad mínima y determinarán la calidad de la imagen digital. Éstos tendrán la información del color y de la disposición de la imagen según su codificación en sistema binario.

Los dispositivos de captura han reducido su tamaño considerablemente en comparación con las cámaras analógicas. La calidad del dispositivo digitalizador resulta primordial para obtener una imagen óptima. La digitalización de video está al alcance de cualquiera y puede manipularse y editarse de forma no lineal. Los soportes digitales y los dispositivos de grabación son mucho más baratos y pueden ser de uso doméstico.

#### **II.2.4. Bitrate**

El *bitrate* o flujo de datos es la cantidad de información por segundo transmitida por una imagen digital. Esta imagen será de mayor calidad cuanto mayor sea su *bitrate*.

El video digital no pierde calidad en función del número de reproducciones. Los soportes son más pequeños y manejables que los analógicos por lo que su almacenaje es más fácil.

#### **II.2.5. Generación de la imagen**

Actualmente existen dos técnicas diferentes para interpretar el video: barrido entrelazado y barrido progresivo. La selección de estas técnicas depende de la aplicación y objeto del sistema de video, y particularmente, de la necesidad de captar objetos en movimiento y permitir la visualización al detalle de una imagen en movimiento.

#### **II.2.6. Barrido entrelazado**

Las imágenes que se basan en esta técnica utilizan técnicas desarrolladas para las pantallas de monitores de TV con tubo de rayos catódicos (CRT), las mismas constan de 576 líneas visibles horizontalmente situadas a lo ancho de una pantalla de TV estándar. El entrelazado divide las mismas en líneas pares e impares, y posteriormente, las actualiza a 30 imágenes por segundo. Existe un retraso entre las actualizaciones de una línea par e impar que crea una distorsión (*jaggedness*). La explicación de este fenómeno es que solo la mitad de las líneas sigue la imagen en movimiento mientras que la otra mitad espera a ser actualizada.

Los efectos del entrelazado se pueden compensar ligeramente utilizando el desentrelazado. El desentrelazado es el proceso de convertir el video entrelazado en una forma no entrelazada, eliminando parte de la distorsión del video para lograr una

mejor visualización. Este proceso también es llamado “doblaje de líneas”. Algunos productos de video IP, como los servidores de video, incorporan un filtro de desentrelazado

### II.2.7. Barrido progresivo

Esta técnica, a diferencia del barrido entrelazado, escanea la imagen entera línea a línea cada 1/16 segundos. Es decir, las imágenes captadas no se dividen en campos separados. Los monitores de ordenador no necesitan el entrelazado para mostrar la imagen en la pantalla, las coloca en una misma línea a la vez en perfecto orden. Por tanto, virtualmente no existe un efecto de “parpadeo”. En este orden de ideas, en una aplicación de vigilancia puede resultar vital para visualizar al detalle una imagen en movimiento. Sin embargo, son necesarios monitores de alta calidad para sacar el máximo provecho a este tipo de barrido. (García M, 2010).

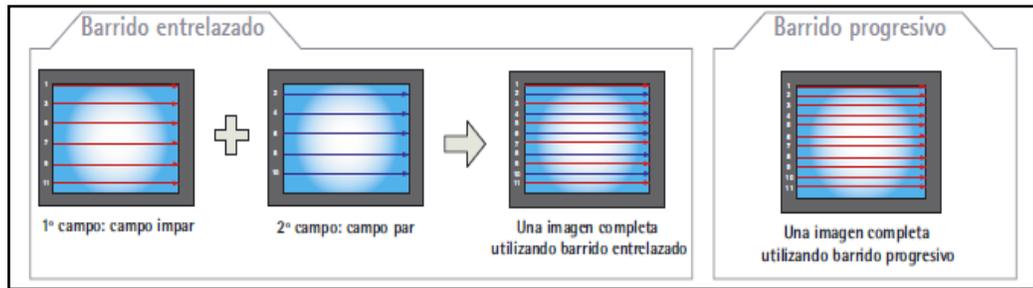
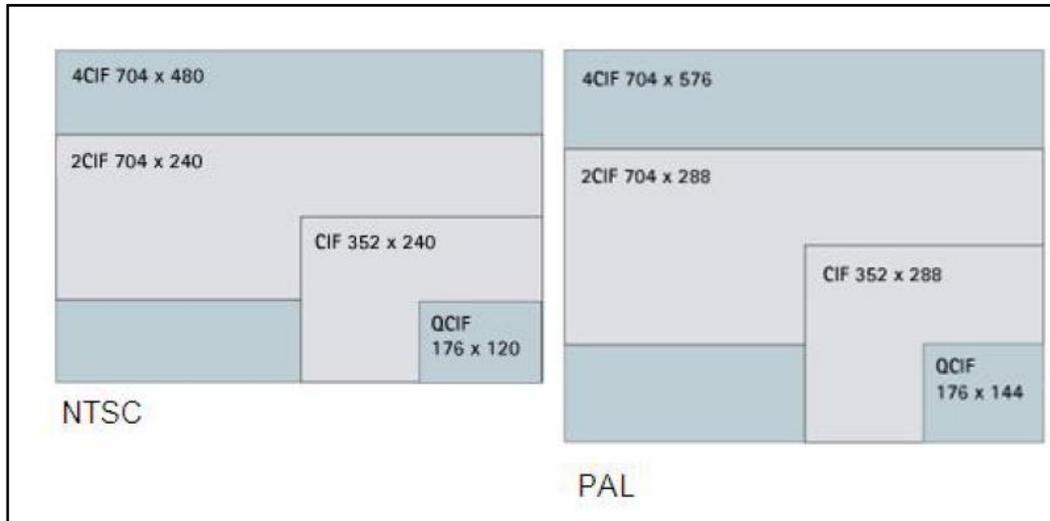


Figura 3. Barrido entrelazado y Barrido progresivo.  
Fuente: (García M, 2010)

### II.2.8. Resoluciones NTSC y PAL

NTSC tiene una resolución de 480 líneas horizontales y una velocidad de renovación de 60 campos entrelazados por segundo (o 30 imágenes completas por segundo). PAL tiene una resolución de 576 líneas horizontales y una velocidad de renovación de 50 campos entrelazados por segundo (o 25 imágenes completas por segundo). La cantidad total de información por segundo es la misma en ambos estándares. Cuando el video analógico se digitaliza, la cantidad máxima de píxeles

que pueden crearse se basará en el número de líneas de TV disponibles para ser digitalizadas. En NTSC, el tamaño máximo de imágenes digitalizadas es de 720x480 píxeles. En PAL, el tamaño es de 720x576 píxeles. La resolución más utilizada habitualmente es 4CIF 704x576 PAL / 704x480 NTSC. (Lasluisa N & Cachiguongo A, 2008)



*Figura 4. Resoluciones de NTSC y PAL.  
Fuente: (Lasluisa N & Cachiguongo A, 2008).*

## II.2.9. Resolución VGA

VGA es la abreviatura de Video Graphics Array (*Tabla de Gráficos de Video*), un sistema de exposición gráficos para PC desarrollado originalmente por IBM. La resolución se define a 640x480 píxeles, un tamaño muy parecido a NTSC y PAL. La resolución VGA es normalmente más adecuada para las cámaras IP, ya que el video en la mayoría de los casos se mostrará en pantallas de ordenador, con resoluciones en VGA o múltiplos de VGA.

También encontramos otras resoluciones derivadas de VGA como son: Quarter VGA (QVGA), con una resolución de 320x240 píxeles, QVGA en ocasiones se llama SIF (Formato de Intercambio Estándar), que fácilmente se confunde con

CIF. XVGA (1.024x768 píxeles) y de 1.280x960 píxeles, 4 veces VGA, que ofrecen una resolución megapíxel. (Lasluisa N & Cachiguongo A, 2008)

### **II.3. Compresión de Video**

A pesar de los avances en el campo de la tecnología digital, ya sea en equipos sensores detectores de la información visual, almacenamiento de datos y métodos de representación de imágenes, el impedimento fundamental en la mayoría de las aplicaciones sigue siendo la gran cantidad de datos que se precisan para representar una imagen digital directamente.

Todos los métodos de compresión se basan en la redundancia estadística de los datos (algunos métodos utilizan además la redundancia subjetiva), por un lado, y en las propiedades no lineales de la visión humana, por otro. El uso de redundancia de datos significa que aprovechan la correlación espacial, en el caso de imágenes sin movimiento, y la correlación espacial y temporal, en el caso de las señales de video.

Usualmente las técnicas que ofrecen mejores rangos de compresión están basadas en la pérdida de datos, sin que por ello se produzca una reducción visible de la calidad en la reconstrucción de la imagen. Con estos procedimientos se consiguen niveles de compresión desde 1/10 hasta 1/50, para imágenes, y desde 1/50 hasta 1/200 en las señales de video.

Asimismo, los métodos sin pérdida también son utilizados comúnmente, donde tras la reconstrucción de datos se obtiene un formato exactamente igual al original; pero tienen el inconveniente de que los rangos de compresión son mínimos, quizás no superiores a 1/3. Este tipo de técnicas se utilizan en aquellos casos en que las aplicaciones son altamente sensibles, por ejemplo, en imágenes para medicina.

Como se observa, los algoritmos con pérdidas suponen un ahorro de memoria y ancho de banda de transmisión. (Alcubilla, 2009).

Los estándares para compresión de video son los siguientes:

### **II.3.1. MPEG-1**

Este estándar desarrollado por la ISO, surgió al observar la necesidad de comprimir audio y video con objeto de satisfacer aplicaciones de transmisión y almacenamiento a 1.5 Mbps. Dicha velocidad venía impuesta por el flujo de datos que admitía un CD (alrededor de 1,2 Mbps). En 1993 se presentó este estándar y especifica la estructura del decodificador y del formato del fichero comprimido. Las aplicaciones de MPEG-1 incluyen desde sistemas interactivos en CD-ROM a transmisión de video sobre sistemas de telecomunicación. MPEG-1 es un estándar genérico, es decir, para que el usuario pueda utilizarlo sobre una aplicación específica, existen muchos parámetros de entrada que pueden configurarse libremente, entre ellos se encuentran la tasa de imágenes por segundo, el tamaño de las imágenes y el tamaño del fichero comprimido. Por otro lado, este estándar únicamente soporta video no entrelazado y proporciona una calidad de imagen similar a la del video VHS. MPEG-1 ofrece acceso aleatorio, editabilidad y búsquedas rápidas hacia delante y hacia atrás. (Figueiras, 2002).

### **II.3.2. MPEG-2**

Fue aprobado por la ISO en 1994. Se realizó como una extensión del MPEG-1, el cual, se puede considerar como un subconjunto del MPEG-2. La sintaxis del MPEG-2 tiene dos categorías: sintaxis no escalable, la cual incluye la sintaxis del MPEG-1, con extensiones adicionales para soportar video entrelazado, y sintaxis escalable, la cual permite una codificación por capas de la señal de video. Soporta video entrelazado y video progresivo. Al igual que MPEG-1, el MPEG-2 es un estándar de compresión con pérdidas, basado en la compensación de movimiento, con estimación del movimiento hacia delante, hacia detrás o interpolada, transformada DCT (transformada de coseno discreta), cuantificación, codificación de longitud de series y codificación Huffman. Es utilizado en video de alta calidad (DVD), TV digital de alta definición (HDTV), medios de almacenamiento interactivo, entre otros. (Castillo, 1999)

### **II.3.3. MPEG-4**

Este estándar fue desarrollado en el año 2004 por la ISO para un número muy amplio de aplicaciones, desde tasas de bits de 5 a 64 Kbps para aplicaciones telefónicas a tasas de hasta 4 Mbps para aplicaciones de televisión digital. Por tanto, facilita la convergencia entre aplicaciones de telecomunicaciones, el mundo de los ordenadores y la industria cinematográfica. MPEG-4 añade un concepto nuevo: escalabilidad basada en el contenido, la cual proporciona los mecanismos necesarios para interactuar y modificar el contenido de las imágenes. Para ello se introduce el concepto de planos de objetos de video VOP (*Video object planes*), el cual consiste en segmentar cada una de las imágenes en un número de regiones de la imagen de forma arbitraria. Cada una de esas regiones puede contener una parte en concreto de la imagen, como, por ejemplo, objetos distintos. De esta forma, a diferencia de los estándares MPEG anteriores, no se divide la imagen en bloques cuadrados, sino en objetos. (Zannuy, 2000)

### **II.3.4. H.261**

La ITU desarrollo este estándar y fue publicado en 1990, es un estándar de codificación de videos diseñado para tasas múltiples de 64 kbps, por ello se denomina *px64* kbps donde (donde p va en los valores de 1 a 30). Trabaja con imágenes no entrelazadas y es utilizado principalmente en aplicaciones de videoconferencia, vigilancia y monitoreo, telemedicina, entre otros. (Figueiras, 2002).

EL estándar está dispuesto en una estructura jerárquica de cuatro capas: imagen, grupo de bloques (GOB), macrobloques (MB) y bloques.

### **II.3.5. H.263**

H.263 fue desarrollado por la ITU para aplicaciones de videoconferencia a muy bajo caudal (hasta 64 Kbps) para la transmisión de video sobre las redes telefónicas existentes, a partir del estándar H.261. Este estándar se basa en las

técnicas utilizadas por los estándares H.261 y MPEG-1. Contiene un componente para una compresión temporal más intensa y funciona preferiblemente con secuencias de videos que presentan cambios reducidos entre imagen e imagen.(Castillo, 1999)

A continuación se presenta una tabla comparativa de los formatos de imágenes soportados por H.261 y H.263.

<i>Formato</i>	<i>Pixels luminancia</i>	<i>Soportado por H.261</i>	<i>Soportado por H.263</i>	<i>Tasa de bits sin compresión Mb/s</i>			
				10 imágenes/s		30 imágenes/s	
				B/N	Color	B/N	Color
SQCIF	128×96	NO	SÍ	1	1,5	3	4,4
QCIF	176×144	SÍ	SÍ	2	3	6,1	9,1
CIF	352×288	Opcional	Opcional	8,1	12,2	24,3	36,5
4CIF	704×576	NO	Opcional	32,4	48,7	97,3	146
16CIF	1408×1152	NO	Opcional	129,8	194,6	389,3	583,9

*Tabla 1. Formato de Imágenes H.261 y H.263.*

*Fuente: (Zannuy, 2000)*

### **II.3.6. H.264/MPEG-4 AVC.**

Se trata de una norma que define un códec de video de alta compresión, fue desarrollada conjuntamente por el ITU-T VCEG (*Video Coding Experts Group*) y el ISO/IEC MPEG (*Moving Picture Expert Group*), los cuales formaron el denominado JVT (*Joint Video Team*). H.264 es el nombre más utilizado para esta tecnología, aunque también se utilizan otros nombres como AVC, JVT y H.26L. La ISO/IEC adopto el nombre de MPEG-4 Parte 10 Códec de Video Avanzado (AVC) mientras que ITU-T opto por utilizar el nombre de H.264, de aquí surge el nombre híbrido H.264/MPEG-4 AVC.

El estándar H.264 puede alcanzar la mayor calidad posible en MPEG-2 pero con la mitad de tasa binaria sin aumentar la complejidad de diseño. Asimismo,

permite distribuir calidad de video excelente a través de todo el espectro posible comprendido entre 3G y a HD (desde 40 Kbps hasta más de 10 Mbps).

Por otro lado, cuenta con especificaciones simples de su sintaxis, permitiendo una mejor integración con los protocolos actuales y arquitecturas múltiples, logrando así incluir otras aplicaciones como transmisión de video y videoconferencia en redes fijas e inalámbricas y sobre diferentes protocolos de transporte.

Este estándar, cuenta con los mismos elementos o bloques funcionales que sus antecesores, ya que también adopta un algoritmo híbrido de predicción y transformación para la reducción de la correlación espacial y de la señal residual, control de la tasa binaria, entre otros. Sin embargo, lo que hace que H.264 proporcione mayor eficiencia de codificación es la manera en que opera cada bloque funcional. Por ejemplo, el H.264 incluye predicción intracadro, transformación por bloques 4x4 muestras, referencia múltiple para predicción temporal, tamaño variable de macro bloques a comprimir y muchas más mejoras que implican un aumento en la complejidad de la implementación.

## **II.4. Modulaciones Digitales**

A la hora de transmitir señales digitales existen dos formas, la primera no es otra que transmitir la señal directamente a través del canal sin efectuar antes ningún tipo de cambio o modulación, esta técnica es conocida como transmisión en banda base. La segunda forma, consiste en alterar la señal con alguna técnica de modulación digital antes de ser transmitida, esta recibe el nombre de transmisión en banda ancha.

Modular consiste en transformar una señal digital en una señal analógica que ira variando su amplitud, frecuencia, fase o amplitud y fase de forma conjunta, según los valores que vaya tomando la señal digital de información. De esta forma, surgen distintas técnicas de modulación de señales digitales según el tipo de modulación empleado.

Una de las principales ventajas que tiene la transmisión en banda ancha frente a la banda base, es la posibilidad de multiplexar en frecuencia varias señales digitales moduladas, a su vez las señales transmitidas en banda ancha pueden alcanzar mayores distancias sin verse afectadas por el ruido. Vale la pena destacar otras ventajas que introduce el uso de señales digitales, como lo son, la facilidad en el tratamiento de la información digital, y la posibilidad de introducir mecanismos que permitan la detección y corrección de errores ocurridos durante la transmisión (Luque Rodriguez & Clavijo Suero, 1995).

Entre los diferentes tipos de modulaciones digitales se distingue entre las de amplitud la ASK (*Amplitude Shift Keying*), las de fase PSK (*Phase Shift Keying*) y las de frecuencia (*Frequency Shift Keying*) o combinaciones de ellas como lo es la QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*).

## **II.5. OFDM**

OFDM por sus siglas en inglés (*Orthogonal frequency division multiplexing*) es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión el cual envía un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM, PSK o QPSK. Vale la pena mencionar que OFDM puede ser visto como una técnica de modulación o multiplexación.

Una de las principales razones para usar OFDM es para incrementar la robustez contra el desvanecimiento selectivo de frecuencia o la interferencia de banda estrecha. En un sistema de una sola portadora, una sola interferencia o desvanecimiento puede hacer que el enlace completo falle, pero en un sistema de múltiples portadoras, solo un pequeño porcentaje de las sub portadoras se verá afectado.

La palabra ortogonal indica que hay una precisa relación matemática entre las frecuencias de las portadoras que conforman el sistema. En un sistema normal de

Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) las portadoras se encuentran separadas de tal manera que las señales pueden ser recibidas usando filtros y demoduladores convencionales. En dichos receptores se introducen bandas de guarda entre las distintas portadoras en el dominio de frecuencia, lo que conlleva a una disminución de la eficiencia en el espectro de frecuencia. Sin embargo, es posible arreglar las portadoras en una señal OFDM de tal forma que las bandas laterales de cada portadora se solapen y las señales sean igualmente recibidas sin la interferencia de la portadora adyacente. Para lograr este objetivo, las portadoras deben ser matemáticamente ortogonales. (Prasad, 2004)

La Figura 5 ilustra la diferencia entre una técnica convencional de múltiples portadoras con no solapamiento y una técnica de modulación con múltiples portadoras solapadas. Al usar la técnica de solapamiento de multi portadoras se ahorra el 50 del ancho de banda.

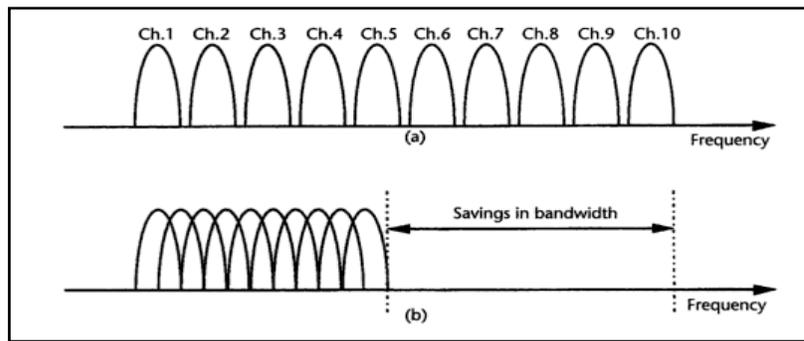


Figura 5. Concepto de una señal OFDM: a) Técnica convencional de multi portadoras. b) Técnica de modulación de portadoras ortogonales.

Fuente: (Prasad, 2004)

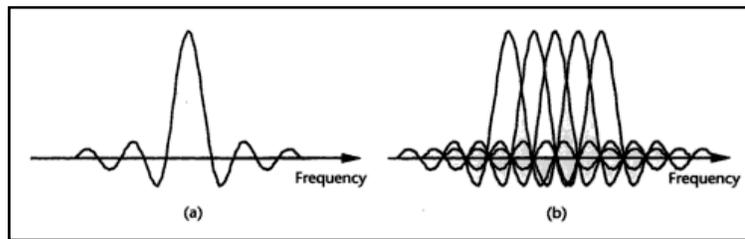


Figura 6. a) Espectro de un sub canal OFDM. b) Señal OFDM.

Fuente: (Prasad, 2004).

En líneas generales OFDM presenta una alta eficiencia espectral, resistencia a la interfaz RF y menor distorsión multi trayecto. Actualmente OFDM no solo se usa en las redes inalámbricas LAN 802.11<sup>a</sup>, si no en las 802.11g, en comunicaciones de alta velocidad por línea telefónica como las ADSL y en difusión de señales digitales de televisión en Europa, Japón y Australia.

## **II.6. Modulaciones de Espectro Ensanchado**

En general, en comunicaciones interesa concentrar el mensaje a transmitir en un ancho de banda lo más limitado posible, para obtener un uso eficiente del canal de comunicaciones. Sin embargo, al transmitir la misma potencia en un ancho de banda más elevado se obtienen ventajas, como lo son una mayor robustez frente a las interferencias, desvanecimientos del canal, así como la posibilidad de realizar transmisiones por debajo del nivel de ruido, privacidad, entre otros. Una de las técnicas utilizadas es el DSSS (*Direct Sequence Spectrum Signal*). En este tipo de modulación, la señal modulada consiste en el producto de una modulación convencional de tipo QAM por una señal formada a partir de una secuencia “*chip*” pseudoaleatoria. De este modo, la señal resultante ocupa un ancho de bando mucho mayor que la señal original. En el demodulador debe generarse la misma secuencia pseudoaleatoria que en el modulador para poder detectar los símbolos. La señal ensanchada en banda, que tiene una apariencia ruidosa, se atenúa a un valor aproximado del 0,5% del margen dinámico de la señal que albergará la información, y se suman ambas señales. De esta forma se limita el efecto del ruido introducido. Mediante esta técnica se puede conseguir una tasa de bits de información oculta alrededor de 4 bps. (Zannuy, 2000).

## **II.7. Sistema CCTV (Circuito Cerrado de Televisión)**

Las siglas CCTV vienen del inglés (*Closed Circuit Television*), la función de este sistema es la supervisión, el control y el eventual registro de la actividad física dentro de un local, espacio o ambiente en general. El nombre de circuito cerrado se

debe a que a diferencia de la televisión tradicional, este solo permite un acceso limitado y restringido del contenido de las imágenes a algunos usuarios.

El sistema puede estar integrado por una o varias cámaras de vigilancia, conectadas a una o más monitores o televisores, los cuales reproducen las imágenes capturadas y estas imágenes a su vez pueden ser almacenadas en medios analógicos o digitales según lo requiere el usuario. Teniendo en cuenta lo mencionado los componentes de un circuito CCTV pueden ser: cámara, conmutadores matriciales análogos, grabadores digitales (DVR) o matrices de videos (VMX). (García M, 2010).

(García M, 2010) En su libro Videovigilancia: CCTV usando videos IP, define los componentes de un sistema de CCTV de la siguiente forma:

### **II.7.1. Componentes de un sistema de CCTV Clásico**

- **Cámara:** el punto principal de cualquier sistema de CCTV es la cámara. Existe gran variedad de cámaras, cada una para diferentes aplicaciones y con diferentes especificaciones y características. Entre las principales características encontramos:
  - Blanco y Negro o Color.
  - Temperatura de funcionamiento.
  - Resistencia a la intemperie.
  - Iluminación (sensibilidad).
  - Resolución (calidad de imagen).
  - Formato (NTSC, PAL).
  - Voltaje de alimentación.
  - Dimensiones.
  - Tipo de lentes que utiliza.

- **Lentes:** en los sistemas de CCTV profesionales, la cámara suele venir sin lente y únicamente con un conector de rosca para que el instalador ensamble la lente que mejor se ajuste a los requerimientos y especificaciones los cuales varían de acuerdo a:
  - Distancia del objeto.
  - Angulo mínimo de observación.
  - Vari focal o fijo.
  - Intensidad de luz variable o fija.
  - Telefoto variable o fijo.
  
- **Monitores:** la imagen capturada por la cámara es transmitida a la posición de control y visualizada mediante monitores. Un monitor de CCTV es prácticamente el mismo que un receptor de televisión, es decir un monitor analógico con entrada de antena. La principal característica que los diferencia es la durabilidad de su pantalla. Cabe destacar que en los sistemas CCTV se requieren por lo general las 24 horas de trabajo sin pérdida de la calidad de imagen y por periodos largos de tiempo en condiciones o ambientes hostiles.
  
- **Grabadoras:** las grabadoras de un sistema de CCTV clásico sirven para poder ver, analizar y hacer copias de seguridad del video capturado por las cámaras. Durante mucho tiempo fueron de cinta, pero en la actualidad y con el surgimiento de los sistemas IP, la grabación se lleva a cabo en discos duros ya sea en PC's o equipos especiales para esta tarea como lo son los grabadores digitales autónomos.
  
- **Matriz de video:** es un dispositivo que nos permite monitorear y conmutar muchas cámaras a un monitor o múltiples monitores de salida. La matriz puede actuar como una interface entre las cámaras, los monitores y el puesto de control.

- **Línea de transmisión:** la señal de video que sale de la cámara debe ser transmitida en las mejores condiciones posibles al monitor, para lo cual se hace uso de las líneas de transmisión, que deben ser capaz de transportar la señal de video que puede alcanzar frecuencias de 8 MHz, con un mínimo de pérdidas. Usualmente el método de transmisión ha sido el cable coaxial, antecesor del cable UTP, usado en las modernas redes de video vigilancia IP.

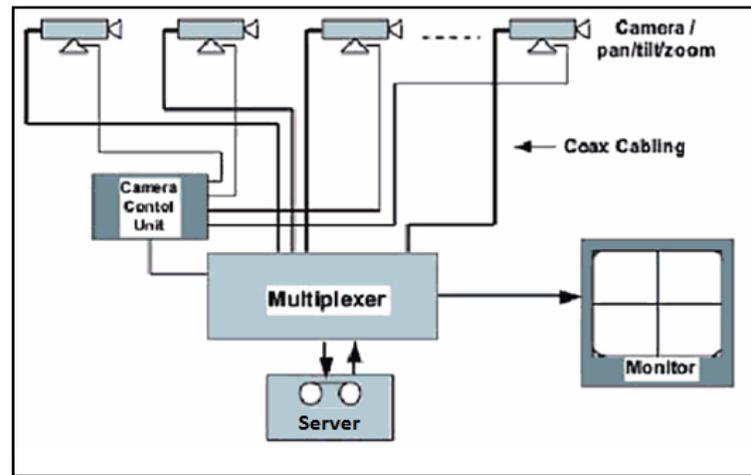


Figura 7. Esquema básico de un sistema CCTV analógico.  
Fuente: (García M, 2010)

## II.8. Protocolo IP

También llamado protocolo Internet, tiene como propósito transmitir datagramas a través de un grupo interconectado de redes hasta que cada datagrama alcance su destino. Este protocolo define el formato de los paquetes, llamados datagramas IP, de igual manera establece también un esquema de dirección (dirección IP) que asigna a cada computadora un número único que se utiliza en todas las comunicaciones. Lo primordial es que el software IP hace que un grupo interconectado de redes y enrutadores opere como una sola y gran red.

Asimismo, cada terminal en el grupo de redes debe tener software IP, para que pueda crear y enviar datagramas IP. Cada enrutador debe contar también con software IP, que conoce cómo encaminar datagramas hacia su destino final. Cuando

algún datagrama debe pasar de una red a otra y la red de destino no soporta su tamaño, el protocolo IP realiza la fragmentación, que consiste en subdividir el datagrama de origen y colocarle los encabezados apropiados. IP trata a cada datagrama como una entidad independiente, no hay conexiones o circuitos virtuales; además utiliza mecanismos como: tiempo de vida, opciones, tipo de servicio y verificación de encabezado (*checksum*). (Pérez, 2003)

A continuación se presenta la Figura 8 en la que se observan las diferentes tipos de clases que existen en las direcciones IP:



Figura 8. Clases de direcciones IP.

Fuente: <http://redesdecomputadores.umh.es/red/ip/clases.jpg>

El protocolo IP permite la multidifusión, que es la posibilidad de enviar un mensaje a varios destinatarios. Existen tres tipos de envío de mensaje:

- **Unicast:** envío de un paquete a un solo destino.
- **Broadcast:** permite enviar un mensaje a todas las direcciones IP.
- **Multicast:** permite enviar un mensaje a un grupo de máquinas.

La ventaja de la multidifusión es la facultad de dialogar con varias personas enviando una sola trama, sin congestionar toda la red. Una aplicación que usa la multidifusión son las videoconferencias.

## **II.9. Ethernet (Estándar IEEE 802.3)**

Ethernet es un estándar de redes de área local, de todos los esquemas utilizados para organizar redes de área local, este es el que tiene mayor aceptación. Ethernet describe el nivel físico y el subnivel MAC (control de acceso al medio) de una familia de redes de área local que usan un medio de transmisión de difusión (usando topología de bus en su origen) al que acceden las estaciones según un protocolo de acceso aleatorio de tipo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*). En otras palabras Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI. A pesar de ser uno de los esquemas más antiguos, con el tiempo ha mejorado y su tasa de transmisión ha aumentado su valor original de 10Mb/s a 100Mb/s y 1Gb/s como se puede apreciar a continuación. (Blake, 2004)

### **II.9.1. Fast-Ethernet y Giga-Ethernet**

La necesidad de nuevos requisitos de transmisión propiciaron la evolución del estándar hacia tasas de transmisión superiores, llegando a Fast-Ethernet a 100 Mbps (estándar IEEE 802.u), este nuevo estándar al ser compatible con Ethernet permite el crecimiento de la red ya que permite continuar con los equipos existentes al tiempo que puede procederse a la migración hacia la nueva tecnología. Sin embargo, por motivos físicos debidos a la propagación de la señal en el cable se reduce el tamaño de la red a 200 m (en Ethernet a red podía alcanzar 2,5 km).

De la misma manera, con la necesidad de aumentar la tasa de bits, surge la tecnología Gigabit Ethernet que opera a 1 Gbps (estándar IEEE 803.z). Al igual que con Fast-Ethernet el tamaño de la red se reduce, pero en este caso queda limitado a 20 m. Para evitar este problema, se ha aumentado el tamaño mínimo de la trama, pasando de 512 bit en Ethernet y Fast-Ethernet a los 512 bytes (esta modificación se ha denominado *carrier extensión*), con lo que el tamaño de extremo a extremo de la red llega a 200 m. (Hesselbach Serra & Altés Bosch, 2002).

## II.10. PoE (Power over Ethernet)

PoE o alimentación a través de Ethernet es una tecnología que incorpora alimentación eléctrica a una infraestructura LAN estándar. Permite que la alimentación eléctrica se suministre al dispositivo red, como por ejemplo una cámara IP o teléfono IP, usando el mismo cable Ethernet que es utilizado para la conexión de red. Esta tecnología elimina la necesidad de utilizar tomas de corriente en las ubicaciones de la cámara. *Power over Ethernet* se regula en una norma denominada IEEE 802.3af y está diseñado de manera que no haga disminuir el rendimiento de comunicación de los datos en la red o reducir alcance de la red. La corriente suministrada a través de la infraestructura LAN se activa de forma automática cuando se identifica un terminal compatible y se bloquea ante dispositivos preexistentes que no sean compatibles, permitiendo a los usuarios mezclar en la red con total libertad y seguridad dispositivos preexistentes con dispositivos que sean compatibles con PoE. Esta tecnología funciona a través de un cableado de red estándar. (García M, 2010)

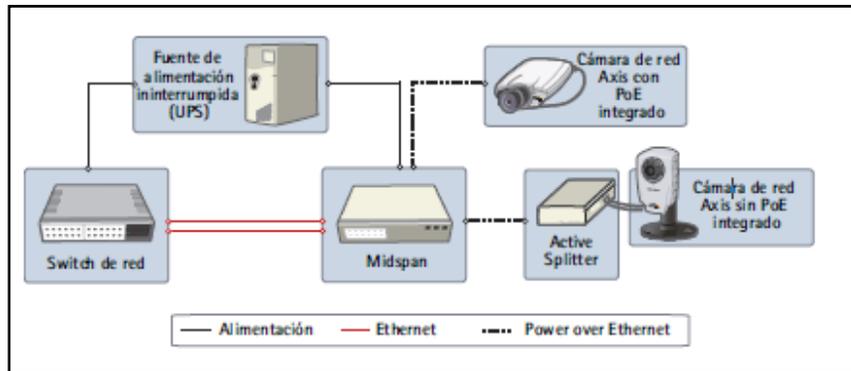


Figura 9. Ejemplo de red alimentada por PoE.  
Fuente: (García M, 2010)

## II.11. Redes de Datos

Las redes de comunicación de datos ponen a disposición de los usuarios los diferentes recursos localizados en distintos puntos de la misma, estos recursos pueden

ser servidores de información, servidores de correos, impresoras, entre otros. En función de la cobertura que alcancen las redes se pueden definir en:

### **II.11.1. LAN (*Local Area Network*)**

Una red de área local es un sistema de comunicaciones constituido por un hardware (cableado, servidores, terminales, entre otros) y un software (acceso al medio, gestión de recursos, intercomunicación, etc.) que se distribuye en una área de extensión limitada (oficinas, edificio, grupo de edificios) en donde existen una serie de recursos compartidos (discos, impresoras, base de datos, etc.), a los que tienen acceso los diferentes usuarios pertenecientes a la red logrando así compartir información de trabajo.

Otras características importantes que definen a una red LAN, son las siguientes:

- Velocidades de transmisión de los datos dentro de la red local va desde 10Mbps hasta 10Gbps.
- La tasa de error de transmisión de los bits es despreciable (del orden de 1 bit erróneo por cada 100 millones de bits transmitidos). (Blanco Solsona, Huidobro Moya, & Jordán Calero, 2006)

### **II.11.2. MAN (*Metropolitan Area Network*)**

Una red de área metropolitana es una red intermedia entre una LAN y una WAN, cubriendo el entorno de lo que puede ser una gran ciudad y utilizando técnicas mixtas. Las dos tecnologías más empleadas en este tipo de redes son las denominadas SMDS (*Switched Multi-Megabit Data Service*) y FDDI (*Fiber Distribute Data Interface*).

### **II.11.3. WAN (*Wide Area Network*)**

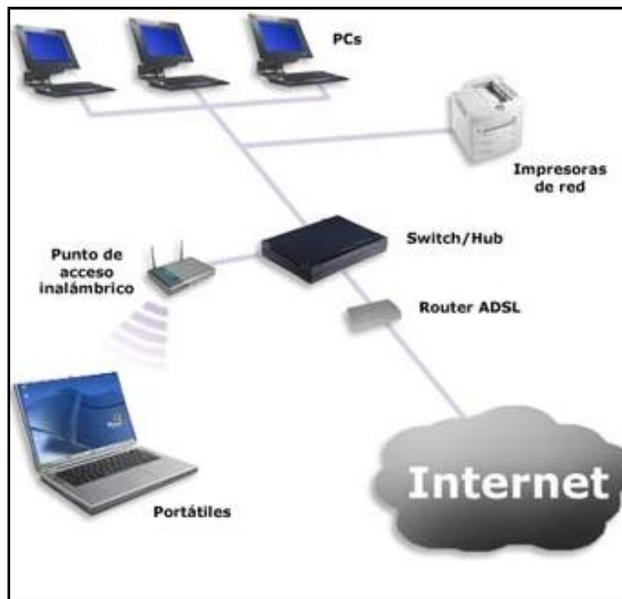
Cuando la cobertura que proporciona la red de comunicaciones no tiene límite predefinido, entonces se habla de una red de área extendida o WAN, estas redes

pueden llegar a ser tan extensas como sea necesario. Usualmente, este tipo de redes ofrecen a apoyo a las estructuras que proporcionan los diferentes operadores de telecomunicaciones en cada país. Este tipo de redes no usa una tecnología en específico, pero la tendencia es a utilizar técnicas que consigan el mayor aprovechamiento de los recursos, como son las tecnologías de conmutación de paquetes. (Blanco Solsona, Huidobro Moya, & Jordán Calero, 2006).

#### **II.11.4. WLAN**

Las redes de área local inalámbricas o también conocidas como WLAN por sus siglas en inglés, operan usando señales de radio o infrarrojas. La mayoría de los equipos de tecnología inalámbrica son capaces de transmitir información a distancias que pueden llegar varios cientos de metros en entornos abiertos. Las WLAN consisten en una interfaz de red inalámbrica, conocida como estación (STA), y un puente inalámbrico conocido como punto de acceso (AP). El *Access Point* o punto de acceso interconecta la red inalámbrica con la red alámbrica o cableada (Ethernet LAN). (Prasad, 2004)

Las redes inalámbricas más usadas usan ondas de radio a una frecuencia de 2.4 GHZ, al hablar de ondas de radio nos referimos normalmente a portadoras de radio, sobre las que va la información, ya que realizan la función de llevar la energía a un receptor remoto. Los datos a transmitir se superponen a la portadora de radio y de este modo pueden ser extraídos exactamente en el receptor final. El uso de esta tecnología de radiofrecuencia permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. Estas redes han adquirido importancia en muchos campos, como almacenes, en los que se transmite la información en tiempo real a una terminal central. También son muy populares en los hogares para compartir el acceso a Internet entre varias computadoras.



*Figura 10. Diagrama de Red inalámbrica.  
Fuente: <http://www.javiersosa.com/redes.htm>*

Entre las ventajas de una WLAN sobre una LAN cableada se encuentran:

- Movilidad: permite una conexión a la red independientemente de la ubicación e incluso en movimiento.
- Reducción de costos: a pesar de que los costos iniciales son mayores que los que supondría un sistema cableado, a lo largo del tiempo los gastos de operación pueden ser significativamente menores.
- Fácil instalación: menor tiempo de instalación y puesta en marcha del sistema.
- Configuración flexible y escalabilidad: existe completa flexibilidad en cuanto a la configuración del sistema, pues permite llegar a donde el cable no puede.

### **II.11.5. Seguridad WLAN**

Debido a la naturaleza de las comunicaciones inalámbricas, cualquier dispositivo inalámbrico presente en un área cubierta por una red inalámbrica podrá utilizarla e interceptar datos transferidos en la misma a menos que esté protegida.

Para evitar el acceso no autorizado a los datos transferidos y a la red se han desarrollado tecnologías de seguridad, como WEP y WPA/WPA2, que impiden el acceso no autorizado y cifran los datos que se envían a través de la red.

- **WEP (*Wired Equivalent Privacy*):** es el sistema de cifrado incluido en el estándar IEEE 802.11 como protocolo para redes *wireless* que permite cifrar la información que se transmite. WEP evita que los usuarios accedan a la red sin la clave correcta. No obstante, tiene puntos débiles, como claves relativamente cortas y otros defectos que permiten que las claves se reconstruyan a partir de una cantidad relativamente pequeña de tráfico interceptado. Actualmente, ya no se considera que WEP proporcione la seguridad necesaria, ya que en Internet se pueden encontrar utilidades que descifran lo que debería ser una clave WEP secreta.
- **WPA/WPA2 (*WiFi Protected Access*):** el WPA aumenta significativamente la seguridad, ya que trata las deficiencias del estándar WEP. Asimismo, el WPA incorpora un método estándar de distribución de claves cifradas. WPA adopta la autenticación de usuarios mediante el uso de un servidor, donde se almacenan las credenciales y contraseñas de los usuarios de la red. Para no obligar al uso de tal servidor para el despliegue de redes, WPA permite la autenticación mediante una clave pre compartida, que de un modo similar al WEP, requiere introducir la misma clave en todos los equipos de la red. (Axis, 2006).
- **AES (*Advanced Encryption Standard*):** es un esquema de cifrado por bloques adoptado como un estándar de cifrado por el gobierno de los Estados Unidos. AES es uno de los algoritmos más populares usados en criptografía simétrica. Este algoritmo tiene un tamaño de bloque fijo de 128 bits y tamaños de llave de 128, 192 o 256 bits. La mayoría de los cálculos del algoritmo AES se hacen en un campo finito determinado. AES opera en una matriz de 4×4 bytes.

## II.12. QoS (*Quality of Service*)

Dado que distintas aplicaciones como, por ejemplo, teléfono, correo electrónico y video vigilancia, pueden utilizar la misma red IP, es necesario controlar el uso compartido de los recursos de la red para satisfacer los requisitos de cada servicio. Una solución es hacer que los enrutadores y los conmutadores de red funcionen de maneras distintas para cada tipo de servicio (voz, datos y video) del tráfico de la red. QoS Calidad de Servicio son las tecnologías que permiten aplicar un tratamiento específico a un determinado tipo de tráfico. Ejemplos de mecanismos de QoS son la priorización de tráfico y la garantía de un ancho de banda mínimo.

Al utilizar la Calidad de servicio (QoS), distintas aplicaciones de red pueden coexistir en la misma red sin consumir cada una el ancho de banda de las otras. La aplicación de QoS es un requisito básico para poder implantar servicios interactivos (por ejemplo VoIP). (Axis, 2006).

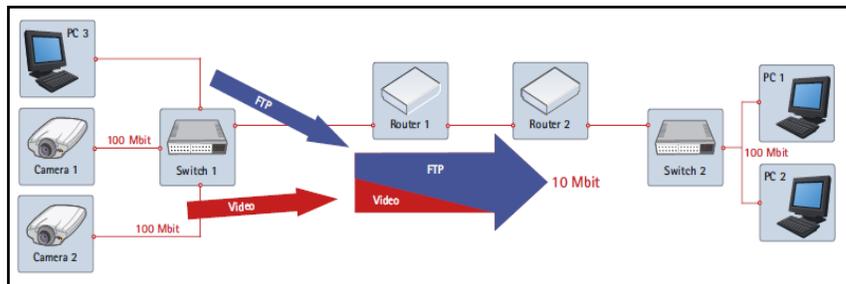


Figura 11. Red común no compatible con QoS.

Fuente: (Axis, 2006)

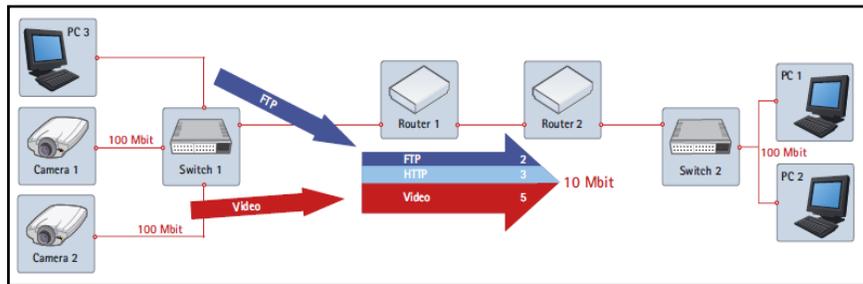
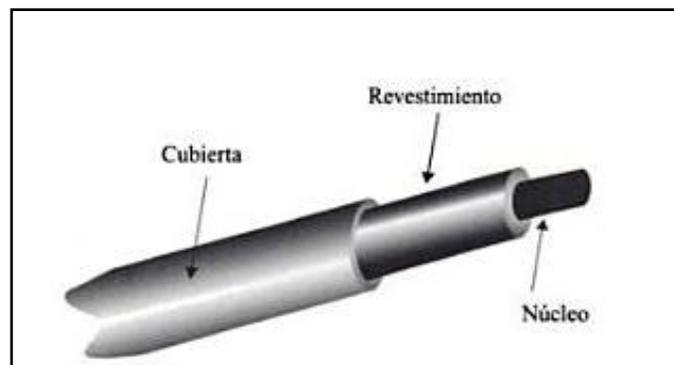


Figura 12. Red Compatible con QoS.

Fuente: (Axis, 2006)

## II.13. Fibra Óptica

La fibra óptica es una tecnología de cable que se utiliza para la instalación de redes de comunicación de datos. Físicamente el cable consiste en un núcleo central muy delgado de vidrio de alto índice de refracción de la luz. Alrededor de este núcleo hay un revestimiento también a base de vidrio pero con índice de refracción más bajo que protege el núcleo de la continuación y provoca el fenómeno de reflexión interna, es decir, que cuando un rayo de luz (información) entra por un extremo del cable no se disipa hacia el exterior sino que mediante de reflexiones sucesivas dentro del núcleo se propaga hasta el otro extremo de la fibra. (Pérez, 2003).



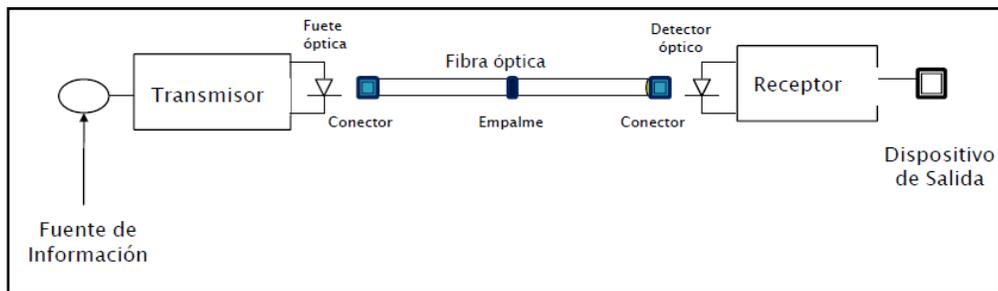
*Figura 13. Estructura del cable de fibra óptica.  
Fuente: (Pérez, 2003).*

La fibra óptica es muy utilizada ya que permite conexiones a grandes distancias, posee alta capacidad y gran ancho de banda, su implementación es robusta frente a ambientes de trabajo hostil en cuanto a ruido e interferencia.

De la misma manera, la fibra es delgada, ligera, fuerte y flexible, soportando esfuerzos considerables en comparación con otro tipo de cable. Debido a su ligereza se puede acomodar en ductos muy congestionados que no admiten el diámetro y peso del cable coaxial. Las redes de fibra óptica no son afectadas por variaciones de voltaje o corriente en líneas de potencia, la interferencia o los químicos corrosivos

dispersos en el aire, por lo tanto, pueden ser implementadas en ambientes industriales expuestos a condiciones muy severas.

La transmisión de información a través de fibra óptica requiere de tres elementos esenciales: una fuente de luz, la fibra óptica como medio de transmisión y un detector de luz en el receptor. En la Figura 14 se observan los componentes de un sistema óptico para la transmisión de datos, el sistema envía los bits de la señal de datos como estados, prendido o pagado, de un rayo de luz. Esta luz es generada por el transmisor láser o un diodo emisor de luz y posee diferentes longitudes de ondas por la cual se envía la información. La luz se desplaza dentro de la fibra sin fugas debido a las propiedades de reflexión y refracción de su revestimiento.



*Figura 14. Sistema básico de comunicaciones de fibra óptica.  
Fuente: (Jardon & Linares Miranda, 1995)*

En cuanto a los tipos de fibra óptica existen fundamentalmente dos: multimodo y monomodo. Antes de explicarlas es necesario establecer qué es un nodo. Un nodo es cada impulso de luz que se transmite a lo largo de la fibra, se descompone en otro impulso de menor potencia que siguen distintos caminos y trayectorias a lo largo de la fibra.

- **Fibra óptica multimodo:** en este tipo de fibra óptica el diámetro de la misma es superior a la longitud de onda del rayo de luz, el mismo entre por un extremo de la fibra con diferentes ángulos, se ve refractado innumerables veces en su camino hacia el otro extremo, llegando por tanto con diferentes fases. Los diferentes ángulos de entrada dan lugar a distintos modos. Su

diámetro de núcleo suele estar comprendido entre los 50 y los 62.5 $\mu$ m y el revestimiento en torno a los 125 $\mu$ m. Son utilizadas para enlaces entre centrales urbanas o de corta distancia donde no se requiere excesiva capacidad ni empleo de repetidores.

- **Fibra óptica monomodo:** su diámetro está comprendido entre 5 y 10 $\mu$ m y el revestimiento entorno a los 125 $\mu$ m, al ser el diámetro del núcleo similar a la longitud de onda del rayo de luz que se transmite, solo un rayo o modo puede viajar a través de ella. Estas fibras son empleadas normalmente en enlaces de larga distancia y/o elevada velocidad de flujo luminoso. (Gormaz González, 2010)

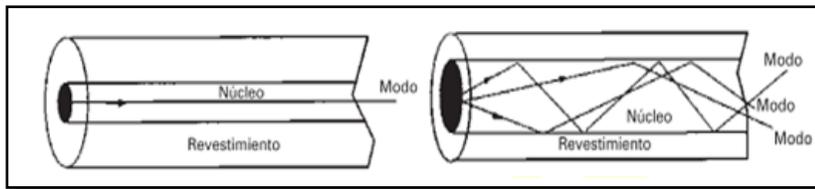


Figura 15. Fibra óptica monomodo (Izquierda) Fibra óptica multimodo (derecha).  
Fuente: (Gormaz González, 2010)

A continuación se puede observar en la tabla 2, la comparación entre la fibra óptica con diferentes medios de transmisión.

<i>Características</i>	<i>Radio</i>	<i>Cobre</i>	<i>Fibra</i>
Movilidad	Amplia	Limitada	Limitada
Velocidad de transmisión	Limitada	Baja	Muy alta
Distancia	Larga	Corta	Larga
Área de cobertura	Amplia	Limitada	Limitada
Inmunidad a las interferencias	Muy baja	Baja	Muy alta
Costo / Canal	Alto	Alto	Muy bajo
Espectro	Limitado	Bajo	Muy amplio

Tabla 2. Comparación entre distintos medios de transmisión.  
Fuente: Elaborado por el autor.

## II.14. Video IP

La tecnología de video vigilancia en los últimos años ha sufrido un auge como consecuencia de la aplicación de la tecnología IP en este sector. El video IP al igual que muchos otros tipos de comunicaciones como los e-mails, servicios webs o telefonía IP, se realiza a través de redes ya sean cableadas o inalámbricas. Todo el flujo de audio/video se efectúa a través de la misma infraestructura de red común, lo cual conlleva multitud de ventajas sobre los sistemas de CCTV tradicionales. La arquitectura básica de un sistema de video vigilancia IP consta de los siguientes elementos: (García M, 2010).

- Cámaras analógicas.
- Cámaras de redes IP.
- Servidores de video (se encargan de adaptar la señal de una cámara analógica a la red IP).
- Servidores de almacenamiento/gestión de video.
- Clientes de monitorización.
- Elementos de la red de datos (cableado, routers, switches, etc).

Un sistema de video vigilancia IP permite supervisar y grabar video desde cualquier lugar de la red, bien sea desde una red de área local (LAN) o una red más extensa como Internet. Esto permite una monitorización remota en tiempo real.

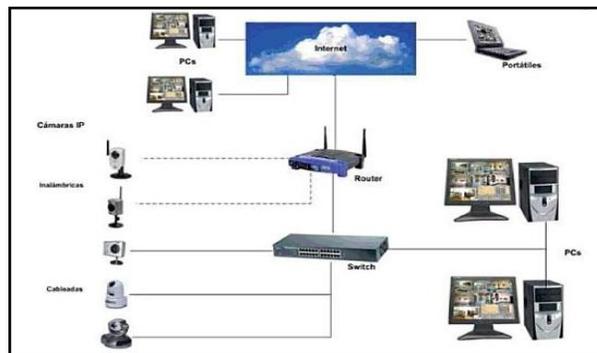


Figura 16. Esquema básico de un sistema de video vigilancia IP.

Fuente: (García M, 2010)

### **II.14.1. Ventajas de la video vigilancia IP con respecto a los sistemas analógicos**

Los sistemas de video vigilancia IP ofrecen una serie de ventajas y funcionalidades avanzadas que no ofrecen los sistemas tradicionales de CCTV o video vigilancia analógicos. Entre las ventajas encontramos las siguientes:

- **Accesibilidad Remota:** nos permite configurar las cámaras de red y servidores de video y acceder a ellos de forma remota, lo que permite a los usuarios visualizar el video bien sea en vivo o grabado en cualquier momento y desde cualquier ubicación del mundo con conexión a la red. En contraste con los sistemas de CCTV analógicos, el usuario necesitaría encontrarse en su centro de control para ver y gestionar el video.
- **Calidad de Imagen:** en un sistema de video vigilancia IP es indispensable contar con una alta calidad de imagen para poder capturar un incidente en curso e identificar a las personas u objetos implicados. Con la tecnología de barrido progresivo y megapíxel, una cámara de red puede producir una imagen con mejor calidad y una resolución más alta que una cámara de CCTV analógica.
- **Gestión de eventos y video inteligente:** es muy común en los sistemas de CCTV la existencia de demasiado material de video almacenado y la falta de tiempo suficiente para analizarlo adecuadamente. Las cámaras de red y servidores avanzados con inteligencia por así decirlo, puede ocuparse de este problema al reducir la cantidad de grabaciones sin interés y permitir respuestas programadas. El uso de la tecnología IP posibilita la utilización de software que incluyen funciones integradas como la detección de movimiento por video, alarma de detección de audio, así como otras funcionalidades de gestión de alarma y eventos.

- **Estandarización:** los productos de video en red basados en estándares abiertos se pueden integrar fácilmente con sistemas de información basados en ordenadores y Ethernet, sistemas de audio y seguridad, y otros sistemas digitales, además del software de gestión de video y de la aplicación.
- **Escalabilidad y Flexibilidad:** los sistemas de video en red pueden crecer a medida que crecen las necesidades del usuario. Los sistemas basados en IP ofrecen a muchas cámaras y servidores de videos, la posibilidad de compartir una misma red inalámbrica o por cable para compartir los datos; de esta forma se pueden añadir al sistema cualquier cantidad de productos de video en red sin que esto suponga cambios significativos o costosos para la infraestructura de red. En los sistemas de CCTV analógicos se debe extender un cable coaxial directamente desde cada cámara hasta un puesto de visualización o grabación.
- **Rentabilidad de la inversión:** los sistemas de video vigilancia IP usualmente tienen un coste inferior a los de los sistemas analógicos de CCTV tradicional. La infraestructura de red IP a menudo ya está instalada y se utiliza para otras aplicaciones dentro de la organización o empresa, por lo que una aplicación de video en red puede aprovechar la infraestructura existente. Las redes basadas en IP y las opciones inalámbricas constituyen alternativas más económicas que el cableado coaxial y de fibra usados por los sistemas de CCTV tradicionales. (García M, 2010).

## II.14.2. Cámara de Red

Una cámara de red también conocida como cámara de internet o cámara IP, es un dispositivo que capta y transmite una señal de audio/video digital a través de una red IP estándar a otros dispositivos de red, tales como un PC o un teléfono 3G o Smartphone. Mediante el uso de una dirección IP dedicada, un servidor web y

protocolos de *streaming* de video, los usuarios pueden visualizar, almacenar y gestionar video de forma local o remota en tiempo real.

La versatilidad de las redes IP permiten al usuario la visualización en directo de diferentes dispositivos de red. Además, los usuarios pueden gestionar múltiples cámaras al mismo tiempo desde cualquier lugar donde haya una conexión de red. (García M, 2010).

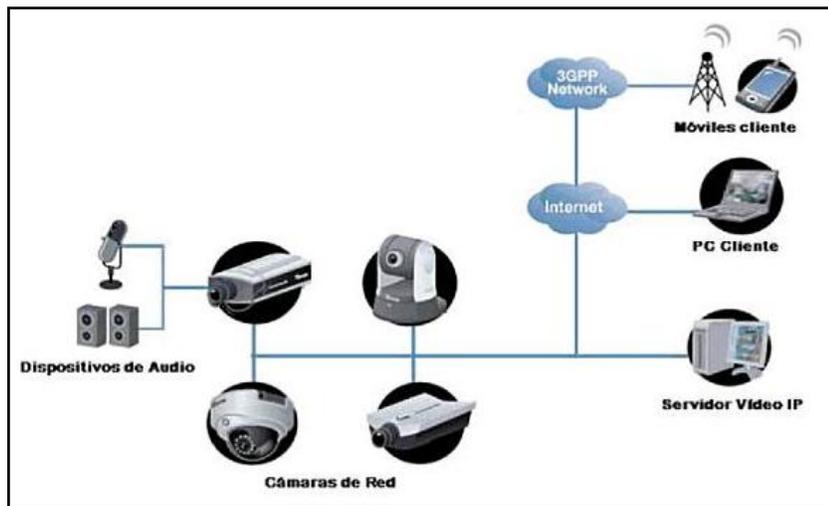


Figura 17. Cámaras de Red en una Red de Video Vigilancia IP.  
Fuente: (García M, 2010).

Una cámara de red como se puede observar en la Figura 18, está compuesta principalmente de una lente, un sensor de imágenes, un procesador de imagen, un chip de compresión de video y un chip de Ethernet que ofrece conectividad de red para la transmisión de datos.

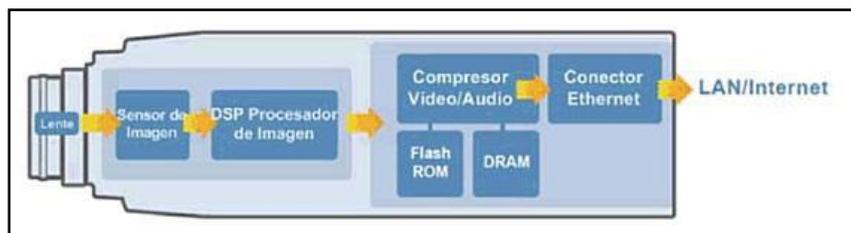


Figura 18. Esquema básico de una cámara de Red.  
Fuente: (García M, 2010).

Cuando la luz pasa de la lente al sensor, se convierte en señales digitales que son luego procesadas por el DSP, el flujo de video es posteriormente comprimido para poder transmitirlo por la red IP a una velocidad de transmisión óptima. Por ultimo las imágenes de video se envían a través de red para permitir la visualización y almacenamiento de las mismas. (García M, 2010).

Las cámaras de red se suelen clasificar si están diseñadas para usos en interiores o exteriores. Las cámaras para usos en exteriores suelen tener un objetivo con iris automático para regular la cantidad de luz a la que se expone el sensor de imagen. Las cámaras de red para exteriores también necesitan una carcasa de protección externa, pero no solo las cámaras para exteriores necesitan carcasas, algunas cámaras para interiores requieren protección frente a entornos adversos como polvo y humedad así como también frente a riesgo de vandalismo o manipulación.

Las cámaras de red tanto para usos en interiores como exteriores pueden clasificarse de la siguiente forma:

- **Cámaras de red fijas:** este tipo de cámara es la mejor opción en aplicaciones en las que resulta útil que la cámara este bien visible. Disponen de un campo de vista fijo una vez instalada. Normalmente las cámaras fijas permiten que se cambien sus objetivos.



*Figura 19. Cámara de Red Fija.  
Fuente: (García M, 2010).*

- **Cámaras de red domo-fijas:** también conocidas como mini domos, están constituidas por una cámara fija instalada dentro de una pequeña carcasa en forma de domo. Esta cámara puede enfocar un punto seleccionado en cualquier dirección. La ventaja de este tipo de cámara radica en su discreto diseño, así como en la dificultad de ver en qué dirección apunta la cámara. A su vez el domo permite la resistencia a manipulaciones. Las cámaras tipo domo fijas están diseñadas con diferentes tipos de cerramientos a prueba de vandalismo, así como protección completa contra polvo y agua. Generalmente este tipo de cámaras se encuentran instaladas en paredes o techo.



*Figura 20. Ejemplo de cámara tipo domo.*

*Fuente: <http://www.seguridad-nonex.com/camaras-domo/>*

- **Cámara de red PTZ:** las cámaras PTZ por sus siglas en inglés (*Pan Tilt Zoom*) son cámaras que pueden moverse vertical u horizontalmente y disponen de un zoom ajustable dentro de un área, de forma tanto manual como automática. Este tipo de cámara es ideal para ser usada en áreas muy espaciales, por ejemplo, estacionamientos, terminales aéreas, estadios deportivos, entre otros. Pueden ser controladas remotamente mediante un PC.



*Figura 21. Ejemplo de cámara de red PTZ.*

*Fuente: (García M, 2010).*

- **Cámara de red Domo PTZ:** este tipo de cámara puede cubrir una amplia área al permitir una mayor flexibilidad en las funciones de movimiento horizontal, vertical y zoom. Asimismo, permiten un movimiento horizontal continuo de 360 grados y un movimiento vertical usualmente de 180 grados. Las cámaras de red domo PTZ también ofrecen una solidez mecánica para una operación continua en el modo ronda de vigilancia, en el que la cámara se mueve automáticamente desde una posición predefinida a la siguiente de forma predeterminada o aleatoriamente. En el modo de vigilancia una cámara domo PTZ puede cubrir un área en la que se necesitarían hasta 10 cámaras de red fijas. (García M, 2010)



*Figura 22. Ejemplo de cámara de red domo PTZ.  
Fuente: (García M, 2010).*

### **II.14.3. Servidor de video**

Un servidor de video es un dispositivo que permite la integración de un sistema de video vigilancia analógico CCTV existente en un sistema de video en red IP. En otras palabras, se puede decir que es un puente entre la tecnología coaxial de los sistemas analógicos, y la tecnología IP, que permite al software de gestión del sistema de video vigilancia considerar las cámaras analógicas como cámaras IP.

Ya que el servidor de video permite migrar un sistema de CCTV analógico a un sistema de video en red, los usuarios pueden beneficiarse de las ventajas de este

último sin tener que descartar los equipos analógicos existentes, bien sean cámaras analógicas de CCTV o cableado coaxial.

El servidor se conecta a la cámara analógica mediante cable coaxial, y convierte las señales de video analógicas en secuencias de video digitales que luego son enviadas a través de una red basada en IP.

Dependiendo de la configuración, el número de cámaras, el tipo de cámara y de si se encuentra o no instalado cable coaxial, podrán utilizarse distintos tipos de servidores de video.

- **Servidores de videos montados en rack:** la mayoría de las empresas dedican una sala de control exclusiva en la que ubican el servidor de video y desde la que controlan de forma eficiente las operaciones. Esto conlleva a que todo el cableado coaxial instalado partirá de cada una de las cámaras al centro de control. De esta forma, el servidor de video se configura como un equipo modular al cual se le van insertando tarjetas de interfaz de cable coaxial que permite que un gran número de servidores de video funcionen en paralelo en un mismo rack, todos administrados de forma centralizada.
- **Servidores de video independientes:** este tipo de servidor es usado en sistemas de vigilancia donde se han realizado inversiones en cámaras analógicas pero aún no se ha instalado el cableado coaxial, de tal manera que se tendría que conectar un servidor de video independiente a cada cámara, y las comunicaciones hacia el resto del sistema se harían a través de red IP.
- **Servidores de video con cámaras PTZ y domo:** las cámaras PTZ pueden conectarse tanto a servidores de video independientes como servidores de video en rack, usando el puerto serie (RS 232/422/485) integrado en los servidores de video. En los casos en los que se utiliza un servidor de video de un solo puerto con la cámara, se añade el beneficio de no tener que instalar

cableado serie independiente para controlar el mecanismo PTZ. (García M, 2010).

#### **II.14.4. Software de gestión de video**

Un software de gestión de video está diseñado para atender la visualización, gestión y grabación de un gran número de cámaras. Por lo general los sistemas de video vigilancia actuales pueden llegar a tener cientos o miles de cámaras de seguridad. Con sistemas de tal magnitud sería imposible asignar un monitor o circuito dedicado a cada una.

Mediante el uso de la tecnología IP podemos conectar todas las cámaras a una misma red, y usando el software de gestión de video en un servidor dedicado, podemos hacer una selección de las cámaras que deseamos visualizar en determinado momento. A su vez se pueden implementar diversos servicios dentro de los que encontramos: (García M, 2010).

- Visualización simultánea y grabación de video en directo desde múltiples cámaras.
- Diversos modos de grabación: continua, programada, por alarma y por detección de movimiento.
- Capacidad para manejar altas velocidades de imágenes y gran cantidad de datos.
- Múltiples funciones de búsqueda para eventos grabados.
- Acceso remoto a través de un navegador web.
- Control de cámaras PTZ y domo.



Figura 23. Ejemplo de software de gestión de video.  
Fuente: (García M, 2010).

### II.14.5. NVR (Network Video Recorder)

El NVR es el servidor de video IP, al cual solo se conectan cámaras digitales IP mediante cables de red UTP, el NVR está conectado a una red LAN con acceso a internet. Un grabador de video en red se presenta como una caja de hardware con la funcionalidad de gestión de video preinstalada. Por definición, está dedicado a tareas específicas de grabación, análisis y reproducción de video IP. Un NVR es un verdadero sistema digital que recibe imágenes digitales/transmisiones de video a través de la red y las graba en un disco duro en un formato digital, no dispone de un monitor y un teclado exclusivos. Toda la visualización y gestión del NVR tiene lugar de forma remota a través de la red mediante un PC.

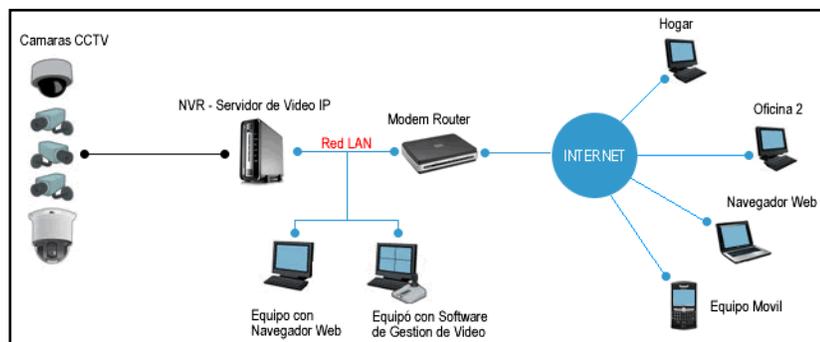


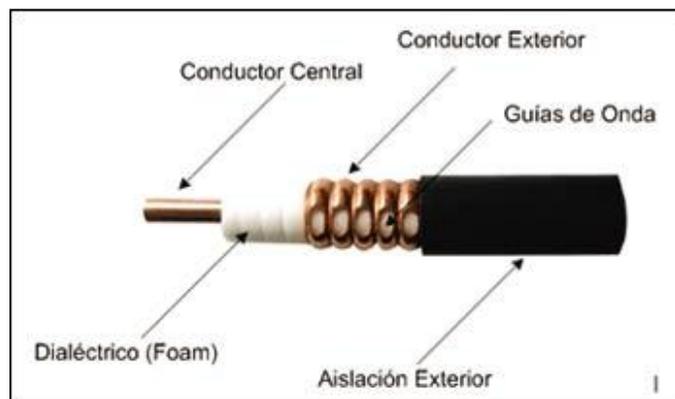
Figura 24. Diagrama de sistema de video vigilancia usando NVR.  
Fuente: <http://www.felipereyesvivanco.com/tic/videovigilancia/dvr-y-nvr/>

## II.15. Cable Radiante

Como muchos de los medios utilizados para la transmisión de información el cable radiante viene siendo una línea de transmisión particular. El sistema permite la comunicación vía ondas de radio en túneles subterráneos donde dichas ondas no se pueden propagar en forma natural como en superficie. Dicho cable se distribuye a través de todas las áreas donde se desea tener cobertura de Radiocomunicación.

Las comunicaciones inalámbricas se encuentran en constante crecimiento debido a la gran demanda de los usuarios por la necesidad de comunicarse en todo momento y en cualquier lugar, pero las ondas no pueden llegar a todos los lugares de manera efectiva y directa, es decir, en lugares como metros, estacionamientos, grandes edificios, túneles, entre otros existen mucha interferencia que afecta a la propagación de la señal y que influye notablemente en la calidad de la señal.

Con el fin de adaptarse a las exigencias del desarrollo de la industria de las comunicaciones móviles, se desarrolló el cable coaxial con fugas, condición que lo convierte en una excelente solución para este tipo de recintos. En la Figura 25 se muestra un típico cable coaxial corrugado radiante, que se ha convertido en una real alternativa para solucionar los problemas que se plantean en los entornos mencionados (Prat Ayala, 2010).



*Figura 25. Cable coaxial corrugado radiante.  
Fuente: (Prat Ayala, 2010).*

El cable coaxial radiante posee características de guía de onda: su conductor exterior es corrugado, y producido mediante un proceso de soldadura de arco-argón, al que se le practican las perforaciones con equipos de corte, de manera que en toda la extensión del cable exista emisión de señal de radio frecuencia en forma uniforme en su intensidad. De esta manera, la emisión, con un patrón constante de intensidad, asegura una dispersión uniforme en zonas muertas, a las que la geometría del cable se ha conformado. (Prat Ayala, 2010).

### **II.15.1. Principios de Transmisión del Cable Radiante**

Las funciones del cable radiante son tres:

- Transmisión de la onda electromagnética en toda su longitud física.
- Radiación de la onda electromagnética hacia el exterior.
- Recepción de ondas específicas electromagnéticas desde el exterior.

A través de la investigación, se ha comprobado que estas tres funciones se pueden obtener por franjas horarias o agujeros con determinados tamaños practicados al conductor externo del coaxial. (Prat Ayala, 2010).

### **II.15.2. Principios de Operación**

En el caso del coaxial cerrado Figura 26, la transmisión es transversal, a través del conductor, y no existe emisión E.M. (electromagnética) hacia el exterior del cable. La finalidad es contar con la máxima ganancia al final del cable, con un mínimo de pérdidas durante la transmisión lineal en conductor. Del mismo modo, los campos externos de E.M, no tendrán efecto en el interior del cable.

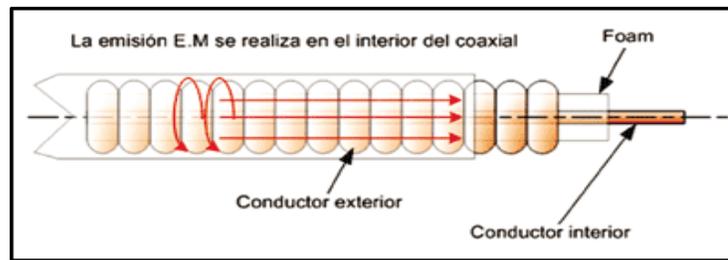


Figura 26. Principio de transmisión de un cable coaxial cerrado.  
Fuente: (Prat Ayala, 2010).

Como se muestra en la Figura 27, a través de las ranuras practicadas en la cubierta conductora exterior, parte de la energía E.M transmitida por el conductor interior puede ser irradiada hacia el exterior del cable. Al mismo tiempo, las emisiones E.M del exterior pueden ser transferidas hacia el interior del cable, de manera que las funciones de transmisión y recepción puedan ser realizadas en forma simultánea en toda la longitud de éste.

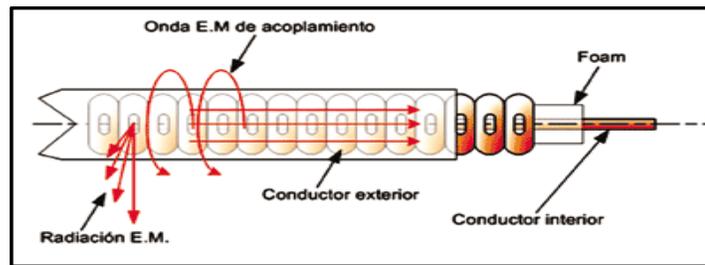


Figura 27. Principio de transmisión de un cable coaxial radiante.  
Fuente: (Prat Ayala, 2010).

El efecto de la radiación y acoplamiento de un cable coaxial radiante se ve afectado por las radiaciones medioambientales y emisiones de instalaciones vecinas. En la mayoría de los entornos físicos existen cables eléctricos, rieles y tuberías de acero que se instalan a lo largo de las paredes laterales. Estos elementos varían las características de las E.M sobre el terreno. En consecuencia, el cable coaxial radiante debe diseñarse sobre la base de su entorno de servicio específico, manteniendo constantes los parámetros de atenuación longitudinal y pérdidas por acoplamiento. (Prat Ayala, 2010)

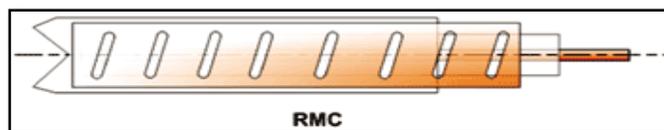
Referente a las definiciones de constante de atenuación longitudinal y pérdidas por acoplamiento, (Prat Ayala, 2010) define:

- **Constante de Atenuación Longitudinal:** este parámetro controla las pérdidas de la emisión E.M en el interior del cable. Para un cable coaxial radiante, además de sus factores constructivos, el medioambiente externo puede afectar su atenuación característica, pues existen otras pequeñas emisiones E.M que se propagan por la cubierta del conductor exterior. Se mide en dB por cada kilómetro.
- **Pérdidas por Acoplamiento:** este parámetro describe la magnitud de la energía inducida por acoplamiento sobre la cubierta conductora exterior del cable, y es recibida por una antena externa. Se define como "un radio de distancia específico de energía recibida por una antena externa, y que es transmitida a lo largo del cable radiante". La pérdida por acoplamiento se ve afectada por la forma de las ranuras o huecos, y por la injerencia externa o reflejo de las condiciones dadas por el medioambiente hacia la señal.

### II.15.3. Tipos de Cable Coaxial Radiante

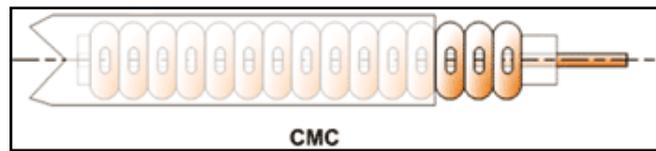
Los cables radiantes se pueden clasificar según la forma de acoplamiento de la señal con el exterior y el tipo de aplicación, el cable coaxial radiante puede dividirse en tres grandes tipos:

- **Según la radiación (RMC):** su campo E.M es producido por las ranuras dispuestas sobre el conductor externo, en espacio de franjas horarias.



*Figura 28. Cable radiante RMC.  
Fuente: (Prat Ayala, 2010).*

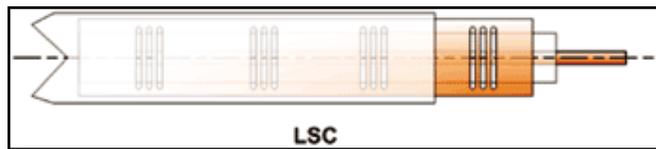
- **Modo de conexión del cable (CMC):** tiene muchas estructuras diferentes (ranuras rectangulares, dispuestas a lo largo del cable, o pequeños agujeros dispuestos en grupos cuyo espacio es menor que la longitud de onda). Puede ser en 1 o 2 caras del conductor externo.



*Figura 29. Cable radiante tipo CMC.*

*Fuente: (Prat Ayala, 2010).*

- **Cable con sección de fugas (LSC):** este tipo de cable posee zonas específicas de radiación, insertadas en zonas predeterminadas, y generalmente obedece a diseños específicos, requeridos para una aplicación en especial.



*Figura 30. Cable radiante tipo LSC.*

*Fuente: (Prat Ayala, 2010).*







## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo se muestra la metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos trazados en el presente Trabajo Especial de Grado, es decir, hace referencia a todas las actividades empleadas para el desarrollo de dicho trabajo.

El desarrollo del presente trabajo de grado se dividió en siete fases, estas se van complementando entre sí para lograr el correcto desarrollo y funcionamiento del mismo. A continuación se detallan dichas fases.

#### **III.1 Investigación y Documentación**

Es necesario tener en cuenta el tipo de investigación o de estudio que se va a realizar, ya que cada uno de estos tiene una estrategia diferente para su tratamiento metodológico. Es por esta razón que en el presente Trabajo Especial de Grado se aplicó una investigación de tipo Proyecto Factible, apoyada en un estudio de campo de tipo descriptivo. Un proyecto factible como su nombre lo indica, tiene un propósito de utilización inmediata, la ejecución de la propuesta. En este sentido, la UPEL (1998) define el proyecto factible como “un estudio que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales”. De igual manera, la Universidad Simón Rodríguez (1980) considera que un proyecto factible está orientado a resolver un problema planteado o a satisfacer las necesidades en una institución.

Por otro lado, “la investigación descriptiva ayuda a mejorar los estudios porque permite establecer contacto con la realidad para observarla, describirla, predecirla y controlarla a fin de que la conozcamos mejor; la finalidad de está radica en formular nuevos planteamientos y profundizar en los hechos existentes, e

incrementar los supuestos teóricos de los fenómenos de la realidad observada”. (Amador, 2013)

En esta primera fase del Trabajo Especial de Grado, siguiendo las pautas de una investigación de tipo Proyecto Factible, se realizó una revisión bibliográfica, esta contempló la recopilación, clasificación y estudio de información relacionada a la tecnología de cable radiante, entornos ferroviarios, sistemas de circuito cerrado de televisión, transmisión de video por IP, entre otros conceptos fundamentales para el desarrollo del trabajo.

A su vez, se realizaron investigaciones de sistemas de video vigilancia implementados en diferentes entornos ferroviarios alrededor del mundo, con la finalidad de estudiar los equipos, tecnologías y protocolos empleados en estos.

### **III.2 Consultas y entrevistas técnicas con personal de Metro de Caracas**

Como segunda fase se realizaron entrevistas y consultas con el personal del Metro de Caracas, como lo son el gerente del Departamento de Telecomunicaciones, el coordinador de proyectos, y distintos ingenieros y técnicos encargados de otros departamentos, con la finalidad de definir las necesidades operativas, técnicas y requerimientos para el diseño del sistema propuesto.

### **III.3 Estudio de infraestructura y sistemas del Metro de Caracas**

Luego de realizar las investigaciones y estudios preliminares se procedió a visitar las instalaciones del Metro de Caracas C.A a fin de efectuar las siguientes actividades:

- Se estudiaron las características físicas y técnicas del cable radiante instalado evaluando la situación actual del mismo a lo largo de la vía ferroviaria en la cual se implementara el sistema de video vigilancia.

- Identificación del tipo de vagones en los cuales se implementará el sistema de video vigilancia en tiempo real.
- Estudio del sistema de Circuito Cerrado de Televisión implementado en las instalaciones del Metro de Caracas.
- Identificación de equipos de CCTV y Cable Radiante instalados en estaciones y andenes, visitas a cuartos de control, servidores y Centro de Control de Operaciones.
- Estudio de la red de fibra óptica que intercomunica los distintos servicios y estaciones pertenecientes al Metro de Caracas C.A.

### **III.4 Cálculos, diseño y elección de equipos**

En esta fase se realizaron los cálculos teóricos pertinentes para la elección más apropiada de la frecuencia a utilizar. Una vez establecido este parámetro se prosiguió con el diseño del sistema de video vigilancia, tomando en cuenta las características físicas tanto de los túneles como de los vagones del Metro de Caracas C.A.

Para culminar con esta fase se realizó la elección apropiada de los equipos comerciales necesarios para el mejor funcionamiento del diseño propuesto, así como a su vez se estableció una metodología para la instalación e interconexión entre estos.

### **III.5 Simulaciones y análisis de resultados obtenidos**

Posterior a la realización del diseño y la elección de los equipos comerciales, mediante software de simulación se recreó de la forma más real posible el funcionamiento del sistema de video vigilancia con la finalidad de observar su desempeño y evaluar posibles fallas.

### **III.6 Estimación de costos de equipos.**

Teniendo en cuenta la topología del diseño a implementar, así como la cantidad apropiada de equipos necesarios para el desarrollo del sistema de video

vigilancia, fue posible la realización de un estimado de costos de equipos para futuros planes de inversión o la puesta en marcha del diseño.

### **III.7 Culminación**

En esta última fase se realizó la redacción del tomo del Trabajo Especial de Grado una vez culminadas todas las actividades propuestas en las fases anteriores.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO**

El desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado se basó en la metodología planteada en el capítulo anterior, dichas fases y actividades fueron esenciales para lograr los objetivos planteados, y se presentan a continuación de forma organizada y detallada.

#### **IV.1 Investigaciones Preliminares**

En la fase inicial del Trabajo Especial de Grado se realizó una investigación exhaustiva que contemplo las bases del proyecto, dentro de esta investigación se consultaron distintas tecnologías de redes y sistemas de seguridad implementadas en sistemas ferroviarios de gran magnitud e importancia alrededor del mundo. Dentro de estos sistemas ferroviarios consultados estudiamos los elementos que componen la red de telecomunicaciones del Metro de Bilbao, la red de banda ancha existente en el Metro de Madrid y las redes de servicio de otros sistemas de transporte colectivos a nivel mundial, específicamente sus sistemas de video vigilancia.

La investigación inicial no solo se limitó a las distintas empresas y sistemas ferroviarios a nivel mundial, otro factor importante que complementó dicha investigación fue la consulta de artículos científicos y proyectos de fin de carrera o Trabajos Especiales de Grado relacionados a redes y sistemas de comunicaciones en entornos ferroviarios. Un claro ejemplo de estas investigaciones consultadas es el proyecto de fin de carrera: “Sistemas de comunicaciones de banda ancha en entorno de túneles”, por el autor Ricardo Saiz Villoria. Para complementar la investigación y conocimientos requeridos para desarrollar el presente proyecto se consultaron libros de diferentes autores relacionados a la tecnología de cable radiante, sistemas de CCTV, transmisión de video por IP, modulaciones digitales y toda una serie de

conceptos de gran importancia los cuales se encuentran detallados en el Capítulo II del presente Trabajo Especial de Grado.

Por último, se consultaron las principales compañías líderes en el desarrollo y manufactura de cámaras de seguridad, redes inalámbricas y el resto de equipos necesario para el desarrollo del sistema. Entre las empresas más destacadas en el desarrollo de sistemas de seguridad y cámaras de red consultadas, se encuentran: Axis Communications, Samsung, Sony y Panasonic.

## IV.2 Analógico vs Digital

A la hora de diseñar un sistema de CCTV para seguridad, son muchos los factores a tener en cuenta. Un punto clave en el diseño de un sistema de video vigilancia es la elección correcta del tipo de tecnología que se adapte mejor al diseño, es en este punto donde entra la elección entre utilizar un sistema CCTV analógico o uno Digital (IP). La principal diferencia entre ambos sistemas radica en la transmisión de video desde la cámara hacia el dispositivo de visualización.

El alcance actual de la tecnología digital ha cubierto muchas de las limitaciones de la tecnología analógica. Los sistemas de CCTV analógicos generalmente precisan un mantenimiento intensivo y son notablemente difíciles de integrar con otros sistemas.

Otros aspectos a tomar en cuenta son los siguientes:

- **Audio:** la mayoría de las cámaras IP tienen Audio (full duplex, muchas de ellas) mientras que esta es una característica que agrega costo tanto a una cámara analógica como a una placa DVR.
- **Tendido de Cables y Ductos:** el sistema IP puede aprovechar redes de computadoras existentes, a su vez, un único cable UTP transporta por protocolo IP el video de múltiples cámaras mientras que en sistemas

analógicos se debe tender un cable coaxial por cámara. Un metro de cable RG59 pesado cuesta un 80% más que un metro de UTP categoría 5.

El sistema de video vigilancia de red digital ofrece toda una serie de ventajas y funcionalidades avanzadas que no puede proporcionar un sistema de video vigilancia analógico. Entre las ventajas se incluyen la accesibilidad remota, la alta calidad de imagen, la gestión de eventos y las capacidades de video inteligente, así como las posibilidades de una integración sencilla y una escalabilidad, flexibilidad y rentabilidad mejoradas. Estas ventajas se encuentran detalladas a fondo en el Capítulo II (II.3.1).

En la siguiente tabla se puede apreciar una comparación entre las características de cada sistema:

<i>Características</i>	<i>CCTV Analógico</i>	<i>CCTV Digital (Video IP)</i>
Resoluciones.	Estándares de TV analógica: NTSC y PAL. 2CIF (704x240 NTSC) 4CIF(704x480 NTSC)	Estándares de Video VGA: Pantallas LCD y Plasma. VGA (640x480 pixeles). XVGA (1024x480 pixeles). Megapíxel (1280x1024 pixeles).
Imágenes por segundo (fps).	25 fotogramas para PAL y 30 fotogramas para NTSC.	Múltiples opciones configurables.
Grabación en tiempo real.	Los sistemas tradicionales de CCTV registran eventos que sólo se pueden ver después de que el evento se ha producido.	El sistema de cámaras IP es más eficiente, ya que registra los eventos en tiempo real y proporciona alertas en caso de cualquier actividad sospechosa.
Seguridad.	Las señales análogas son menos seguras y pueden ser interceptadas o visualizadas por cualquiera que tenga acceso a la infraestructura de cableado.	Los envíos de video IP pueden ser encriptados y son difíciles de interceptar.

Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

Transmisión inalámbrica.	El número de cámaras análogas usando radio frecuencias para transmitir el video de forma inalámbrica está limitado a una docena antes de llegar al límite de capacidad del espectro en las bandas libres de radio.	Una clara ventaja de las cámaras IP es la flexibilidad de integración con las redes WiFi, que son prácticamente ilimitadas en términos de expansión.
Compatibilidad.	Cualquier cámara análoga puede ser conectada a cualquier DVR, no hay diferencias de compatibilidad cuando se sustituye o agrega una cámara o DVR al sistema.	Las cámaras IP requieren un grabador de video en red (NVR) o navegador para comunicar cada cámara en particular, que puede ser propietario o único. Cada vez que se agrega una cámara, tendrá que asegurarse que el NVR soporte ese modelo en particular. Un NVR puede soportar un número limitado de cámaras de un fabricante específico.
Cableado.	La adición de más cámaras de red para el sistema es muy difícil porque cada cámara necesita su propio cable. La calidad de imagen también se pierde cuando se utilizan cables largos.	Una ventaja que se percibe de las cámaras IP es la habilidad de usar el cableado de red existente para soportar un sistema de video vigilancia.
Inteligencia.	Las cámaras analógicas se limitan solo a grabar el video, y no poseen ninguna capacidad de toma de decisiones.	Las cámaras IP pueden tomar decisiones lógicas a nivel de cámara (envío fotogramas o video por mail o FTP frente a detección de movimientos u otras alarmas).
Deterioro de Datos.	Sí, dependiendo de la distancia que la señal de video tiene que recorrer y del tipo de transmisión utilizado. (es decir, cable coaxial, UTP, etc).	Ninguna.

Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

Gestión de Video.	Múltiples imágenes simultáneas y secuencias de imágenes en monitores.	Software que permite un manejo amplio del sistema, desde detección de alarmas y movimiento, hasta grabaciones programadas, etc.
Escalabilidad.	Un sistema DVR normalmente se suministra con 4, 8 o 16 entradas de cámara, por tanto, se convierte en escalable en incrementos de 4, 8 o 16. Añadir una única cámara generaría la necesidad de un DVR complementario.	Los sistemas de video IP son mucho más flexibles y pueden ampliarse en incrementos de una cámara cada vez. En una instalación de video IP no hay límites de cámaras.
Alimentación eléctrica.	Lograr alimentación eléctrica para una cámara analógica ha supuesto siempre un obstáculo y un costo importante.	Gracias a la tecnología PoE de una cámara de red digital, es posible utilizar el mismo cable de red tanto para datos de video como para la alimentación eléctrica, lo cual permite un ahorro en el costo de instalación y cableado.
Audio.	Con un sistema analógico, el audio no es posible salvo que se desee establecer líneas de audio independientes al DVR.	Una cámara de red digital captura el audio en la cámara, sincronizándolo con el video o incluso integrándolo en el mismo flujo de video.
Costos de Implementación.	Los costos de instalación para sistemas analógicos a pequeña escala suelen ser bajos, sin embargo, un sistema CCTV analógico a gran escala puede ser excesivamente caro.	Los estudios demuestran que en las configuraciones de sistemas con más de 32 cámaras, el costo inicial de un sistema de vigilancia IP es incluso inferior si se compara con las opciones analógicas.

*Tabla 3 Comparación entre Sistemas CCTV analógicos y digitales.  
Fuente: Elaborado por el autor.*

Apoyándose en los aspectos técnicos más relevantes de cada sistema, al igual que sus ventajas y desventajas, se optó por la implementación de un sistema de video vigilancia digital basado en tecnología IP.

### **IV.3 Tipos de Cámaras**

Una vez consultadas las compañías destacadas en el desarrollo de equipos de CCTV, sistemas de seguridad, sistemas de video en red, y a su vez elegido el tipo de tecnología a implementar, se realizó una evaluación completa de cada una de estas compañías, tomando en cuenta la operatividad y desempeño de sus equipos en un ambiente complejo y exigente como es el entorno ferroviario. Asimismo se estudió la capacidad de los equipos de mencionadas compañías de trabajar con distintos protocolos y estándares que permitan el correcto funcionamiento de estos dentro de una red IP.

La compañía que más destacó, y aportó las mejores soluciones al diseño propuesto fue Axis Communications, esta empresa es líder de soluciones de video en red y ofrece una amplia gama de productos profesionales de video vigilancia IP. Axis fue la empresa pionera en esta tecnología cuando inventó la primera cámara de red en el año 1996, y hoy en día sigue liderando este mercado.

Axis ha ayudado a múltiples administraciones, operadores y propietarios de infraestructura de transportes para cumplir sus objetivos de vigilancia, dentro de estos sistemas de transporte a los cuales ha brindado soluciones encontramos: autobuses de Madrid (6000 cámaras instaladas), Metro de Moscú (3000 cámaras y codificadores de video), trenes de Oslo (3000 cámaras) entre muchos otros sistemas de transporte masivo alrededor del mundo.

Se eligieron las cámaras de red Axis ya que esta compañía presenta una amplia gama de equipos especialmente diseñados para autobuses y trenes. Soportan vibraciones, golpes, humedad y cambios de temperatura para garantizar un funcionamiento continuo. Estas cámaras se basan en estándares abiertos para

conectarse a cualquier red IP, incluyendo Internet, y permiten la visualización y grabación remota desde cualquier lugar del mundo. Además, proporcionan valiosas funciones, como:

- Alarma anti manipulación automática
- Protección contra picos de tensión
- Batería de reserva para mantener el sistema activo durante breves períodos de cortes de suministro eléctrico
- Instalación flexible y rentable

El tipo de cámara de red que se eligió fue la cámara de red domo-fija, específicamente el modelo AXIS M3113-R, esta cámara está especialmente diseñada para la video vigilancia en autobuses, trenes, vagones de metro y vehículos de emergencia. La cámara AXIS M3113-R incluye protección frente al polvo y el agua y puede resistir las condiciones más duras, como vibraciones, choques, golpes y cambios de temperatura. El sistema de alarma anti manipulación activa es capaz de detectar intentos de manipulación de la cámara. Para información más detallada y aspectos técnicos consultar el Anexo A.



*Figura 31. Cámara de Red AXIS M3113-R.  
Fuente: AXIS M3113-R datasheet.*

A continuación se presenta una tabla comparativa en la cual se contrasta las diferencias entre la cámara de red elegida y cámaras de red de otros fabricantes:

Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

<b>Características</b>	Axis M31-R. 	Samsung SNV-6084R 	D-Link DCS-6511 	Geovision GVMDR520 
<b>Sensor de Imagen</b>	CMOS RGB de barrido progresivo de 1/4".	1/2.8" PS Exmor 2.38M CMOS barrido progresivo.	CMOS WDR barrido progresivo 1/3".	1/3" progressive scan CCD.
<b>Comprensión de video</b>	H264 y Motion JPEG	H264 y Motion JPEG	MJPEG, MPEG4 y H264	MPEG4 / MJPEG / H.264
<b>Velocidad de Imagen</b>	Hasta 30 imágenes por segundo	Hasta 60 imágenes por segundo	Hasta 30 imágenes por segundo	10fps
<b>Protocolos Compatibles</b>	IPv4/v6, HTTP, HTTPS, QoS Layer 3 DiffServ, FTP, CIFS/SMB, SMTP, Bonjour, UPnP, SNMPv1/v2c/v3(MIB-II), DNS, DynDNS, NTP, RTSP, RTP, TCP, UDP, IGMP, RTCP, ICMP, DHCP, ARP, SOCKS.	Pv4, IPv6 Protocol TCP/IP, UDP/IP, RTP(UDP), RTP(TCP), RTCP,RTSP, NTP, HTTP, HTTPS, SSL, DHCP, PPPoE, FTP, SMTP, ICMP, IGMP, SNMPv1/v2c/v3(MIB-2), ARP, DNS, DDNS, QoS, PIM-SM, UPnP, Bonjour.	IPv4, DHCP, ARP, DNS, TCP/IP, DDNS (D-Link), HTTP, HTTPS, UPnP Port Forwarding, Samba, SMTP, PPPoE, NTP (D-Link).	HTTP, HTTPS, TCP, UDP, SMTP, FTP, DHCP, NTP, UPnP, DynDNS, 3GPP/ISMA, RTSP, PSIA, SNMP, QoS (DSCP).
<b>Alimentación</b>	IEEE 802.3af Power-over-Ethernet Clase 1, máx. 3,2 W.	12V DC.	12 V DC 1.25 A.	PoE Power Output: Per Port 48V DC, 350mA. Max. 15.4 watts.
<b>Resolución</b>	800x600	1280 x 1024	640x480	2560 x 1920
<b>Diseño compacto y robusto.</b>	Si	No	No	Si
<b>Precio</b>	454 \$	647 \$	899 \$	515 \$

Tabla 4. Cuadro comparativo cámaras de red comerciales.

Fuente: Elaborado por el autor.

#### IV.4 Códec

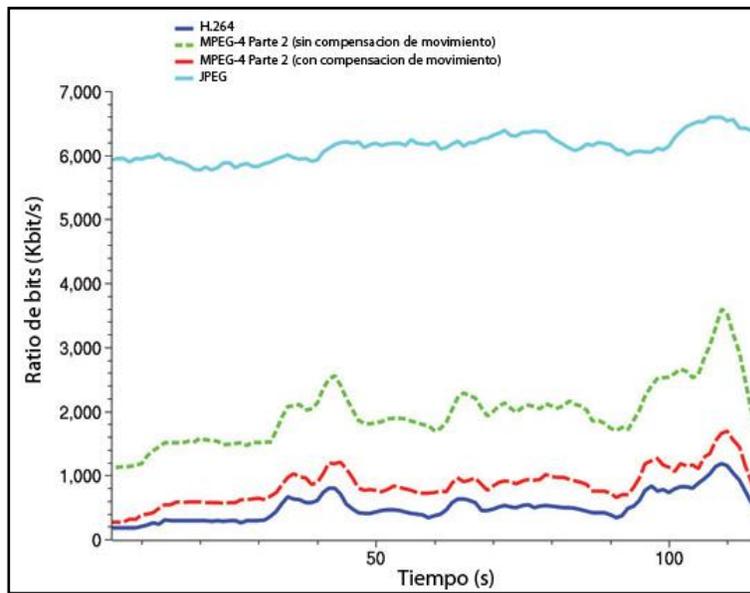
En el diseño de una red móvil de video vigilancia es de suma importancia la elección correcta del códec a utilizar, este mismo debe prestar la mayor tasa de compresión posible y aun así mantener una calidad de imagen óptima en las secuencias de imágenes transmitidas.

Las cámaras de red de Axis ofrecen a los usuarios la opción de más de un formato de compresión de video. Entre estos formatos se incluyen *Motion* JPEG, MPEG-4 Parte 2 y H.264. En el sector de video vigilancia, H.264 encuentra su mayor utilidad en aplicaciones donde se necesiten velocidades y resoluciones altas. Es aquí donde las ventajas económicas de un ancho de banda y un almacenamiento reducidos se hacen sentir de forma más clara. Por otro lado, ofrece técnicas más eficientes en la compresión gracias a sus mejores capacidades de predicción y a su capacidad de recuperación ante errores.

Por ser el estándar más reciente, H.264 ofrece significativos ahorros en lo que a ancho de banda y almacenamiento se refiere, aumentando de esta forma la eficacia del sistema. H.264 puede reducir el tamaño de un archivo de video un 80% en comparación con *Motion* JPEG y hasta un 50% en comparación con MPEG-4, sin que la calidad de imagen se vea afectada.

<i>Tecnología de Compresión de Video.</i>	<i>M-JPEG</i>	<i>MPEG-2</i>	<i>MPEG-4</i>	<i>H.264</i>
Eficiencia en codificación.	1/4	1	1.25	2.5
Almacenamiento de una hora de video a 720p.	16 GB/hr	8.5 GB/hr	4 GB/hr	2 GB/hr.
720p Tasa de bits por segundos	36 Mbps	19 Mbps	9 Mbps	4.5 Mbps

*Tabla 5. Comparación entre estándares de compresión de video.  
Fuente: Elaborado por el autor.*



*Figura 32. Comparación de espacio entre diferentes estándares de compresión de video.*

*Fuente: (Axis, 2006)*

Por todas estas ventajas y mejoras que presenta H.264 en comparación con otros estándares de compresión de video, el diseño del sistema de video vigilancia propuesto en el presente Trabajo Especial de grado trabajará con el estándar de compresión de video mencionado anteriormente.

## **IV.5 Infraestructura de la vía férrea**

La Línea 1 del Metro de Caracas fue la elegida para el diseño del sistema de video vigilancia, la misma opera entre las estaciones Propatria y Palo Verde. Es la línea más antigua del Metro de Caracas y cuenta con un total de 22 de estaciones a lo largo de 20.4 kilómetros, siendo así la línea que posee mayor número de estaciones de las cuatro existentes. En cuanto a su longitud es la segunda más grande detrás de la Línea 2 que cuenta con 23.1 kilómetros.

Esta Línea cruza toda la ciudad de Caracas de oeste al este, pasando a través de tres municipios (Libertador, Sucre y Chacao) y transporta aproximadamente

Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

---

1.200.000 pasajeros diarios. Su flota está conformada por tres modelos de vagones: GEC-ALSTHOM (serie 1), ALSTHOM Atlantique (serie 2) y CAF.



*Figura 33. Mapa de Líneas del Metro de Caracas.  
Fuente: Metro de Caracas.*



*Figura 34. Túnel Línea 1 Metro de Caracas.  
Fuente: Elaborado por el autor.*

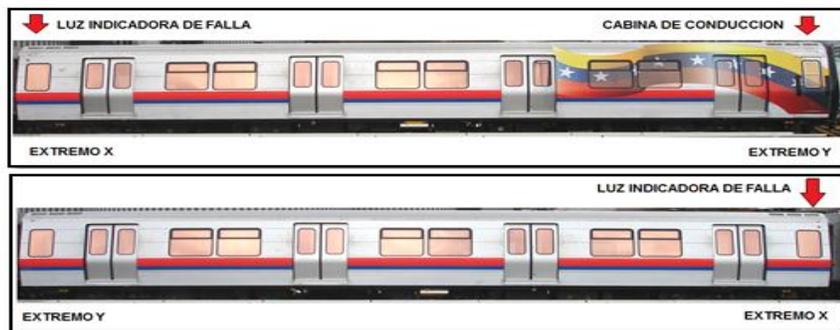
## IV.6 Arquitectura de vagones

Los vagones seleccionados por el Metro de Caracas para el desarrollo del sistema de video vigilancia son los fabricados por la empresa francesa ALSTOM, específicamente las series 1 y 2 perteneciente a la Línea 1.

ALSTOM es una corporación francesa centrada en el negocio de la generación de electricidad y la fabricación de trenes y barcos. Desde el año 1981 ha producido modelos para el sistema ferroviario Metro de Caracas C.A.

Antes de enfocarnos en los vagones es necesario conocer algunos conceptos básicos relacionados al material rodante (tren). Un tren está constituido por un conjunto de vagones unidos destinados al transporte de pasajeros que posee propulsión propia, mientras que un vagón es el habitáculo donde se encuentran tanto los pasajeros como el conductor y pueden tener o no propulsión propia.

Existen diferentes tipos de vagones: A, B, C, D y R. Los vagones tipo A y C poseen cabina de conducción y los tipo B, D y R no poseen cabina de conducción. Por otro lado, los dos extremos de los vagones se identifican de la siguiente manera: el extremo “Y” donde se encuentra la cabina de conducción (para los vagones B, D y R es el extremo donde no se encuentran las luces de falla) y el extremo “X” que se identifica por tener las luces exteriores de fallas.

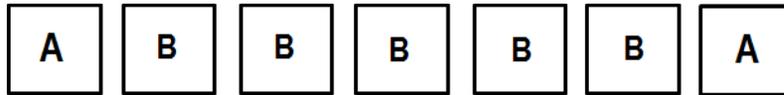


*Figura 35. (Arriba) Identificación de los extremos de un vagón tipo A y C.*

*(Abajo) Identificación de los extremos de un vagón tipo B, D y R.*

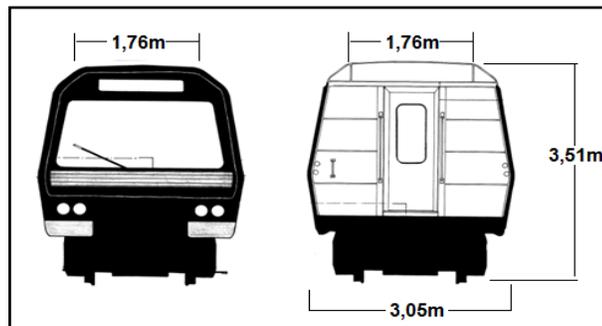
*Fuente: Elaborado por el autor.*

La conformación de los trenes varía dependiendo de la línea, para el caso de este diseño como se mencionó anteriormente se trabajó con la Línea 1 del Metro de Caracas, en esta línea el tren se encuentra conformado por un total de 7 vagones, de este total, dos son de tipo A los cuales poseen cabina de conducción y son los líderes, los otros cinco vagones que conforman el tren son de tipo B, la conformación de los trenes se puede observar mejor en la siguiente figura:

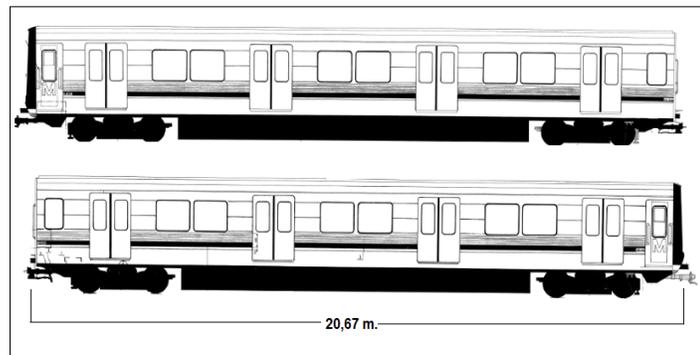


*Figura 36. Conformación de Trenes Línea 1.  
Fuente: elaborado por el autor.*

En las siguientes figuras se puede apreciar mejor las características físicas de los vagones mencionados:



*Figura 37. Dimensiones de vagón GEC-Alsthom-Atlantique, vista frontal y posterior.  
Fuente: Metro de Caracas C.A.*



*Figura 38. Vista lateral de vagón GEC-Alsthom-Atlantique.  
Fuente: Metro de Caracas C.A.*



Figura 39. a) Foto frontal tren GEC-Alsthom-Atlantique. b) Vista lateral tren GEC-Alsthom-Atlantique en patio. c) Vista interior de vagón GEC-Alsthom-Atlantique.

## IV.7 Estudio de Frecuencias

El cable radiante instalado en los túneles presenta un rango de frecuencia que va desde los 30 hasta los 2500MHz. Dentro de este rango de frecuencias se prestan los siguientes servicios:

<i>Servicio</i>	<i>Rango de Frecuencia (MHz)</i>
Frecuencias para Subsistema de Radio de Tráfico	447.675 - 457.725
Frecuencias para Comunicaciones de Mantenimiento	448.200 - 458.200
Telefonía Móvil Movistar GSM	825-835 / 870-880
Telefonía Móvil Movistar HSDPA	1875-1890 / 1955-1970

*Tabla 6. Servicios y Frecuencias utilizadas en cable radiante.  
Fuente: Elaborado por el autor.*

Como se puede observar, el cable radiante posee un espectro amplio de frecuencias libres en las cuales se puede desarrollar el sistema de video vigilancia. Dentro de las frecuencias disponibles se encuentran las bandas de frecuencia ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de uso no comercial como son las bandas de 900MHz y 2.4GHz

La decantación por la banda de 900 MHz se debe a que esta banda de frecuencia presenta una mayor robustez y se tienen menos pérdidas que la banda de 2.4GHz. Si bien una ventaja de trabajar con la banda de 2.4 GHz es que esta aporta

mayor ancho de banda y por ende mayor número de canales, el cable radiante instalado en los túneles presenta pérdidas longitudinales considerablemente altas en la banda de 2.4GHz en comparación con la banda de 900MHz, lo cual degrada el nivel de potencia de la señal y reduce el alcance de esta, haciendo necesario el uso de amplificadores o repetidores para cubrir la distancia entre estaciones.

## **IV.8 Diseño de la red**

Los sistemas de video vigilancia IP permiten a los usuarios reunir información en todos los puntos clave de una operación y visualizarla en tiempo real, lo que los convierte en la tecnología perfecta para la monitorización remota y local de equipos, personas y lugares. La importancia de un sistema de video vigilancia está basada en la capacidad que brinda esta de visualizar y registrar acontecimientos para un análisis y toma de acciones tanto preventivas como correctivas.

Una vez ejecutadas y completadas las fases previas, se tienen todas las herramientas para llevar a cabo el diseño del sistema de video vigilancia propuesto. El diseño se divide en cuatro sub sistemas: la red móvil, el sistema de cable radiante, la red de transporte de datos de fibra óptica y el Centro de Control de Operaciones. Cada uno de estos sub sistemas es indispensable y se complementan entre sí para el funcionamiento integral del sistema.

### **IV.8.1. Red móvil**

Este sub sistema comprende todos los equipos embarcado en los trenes: los equipos de video vigilancia (Cámaras IP, NVR), y los equipos de comunicación inalámbrica (Módems, antenas) que permiten integrar el sistema de video con el sistema de cable radiante ubicado en los túneles.

En un principio se pensó en trabajar el tren completo (los 7 vagones), como una sola red, y de esta forma ahorrar costos en cuanto a la cantidad de equipos a utilizar. Todas las cámaras ubicadas en los vagones (30 cámaras en total) irían

conectadas hasta la cabina de conducción ubicada en el vagón líder tipo A por medio de los pines ubicados en los acoples de los vagones, pero después de analizar los mismos, se determinó que esta opción era inviable debido a las siguientes razones:

- Muchos de los pines no se encontraban disponibles.
- Los pines disponibles no se encontraban en condiciones físicas óptimas, siendo difícil garantizar la comunicación entre vagones.

Al descartar el acople de los vagones, se consideró seguir el mismo principio de una sola red cableada a lo largo del tren, conectando las cámaras mediante cable STP y realizando unas modificaciones físicas en los vagones (ducto de conexión) para el tendido del cable hasta la cabina de conducción donde se encontrarían el resto de equipos necesarios para el almacenamiento y transmisión remota hacia el Centro de Control de Operaciones. Este diseño presentó los siguientes inconvenientes:

- Se debía realizar una interconexión física entre vagones para traspasar de uno a otro los cables de red provenientes de las cámaras, esta interconexión una vez realizada hacía sumamente difícil la extracción de un vagón cualquiera en caso de mantenimiento o falla sin afectar por completo el funcionamiento del sistema de video vigilancia.
- Al gestionar un gran número de cámaras, la capacidad de almacenamiento era sumamente alta para gestionarse con un solo NVR.
- De igual forma al manejar un alto número de cámaras para ser transmitidas por un solo módem, se presentaba el inconveniente que el ancho de banda era mayor al soportado por este mismo, lo cual conllevaba a reducir la velocidad de imagen considerablemente con el fin de reducir el ancho de banda hasta niveles óptimos que pudiesen ser transmitidos por el módem.

Por estas razones, se diseñó la red móvil de forma que cada vagón es considerado una red independiente, equipada con las cámaras de red, un NVR, y un módem Ethernet OFDM de altas velocidades. A estos dispositivos mencionados se

les debe asignar una dirección IP para de esta forma poder ser gestionados y visualizados de forma remota desde el Centro de Control de Operaciones.

#### IV.8.1.1 Cálculos realizados

Mediante el uso de la herramienta de diseño "AXIS Design Tool" se pudo calcular los valores referentes al ancho de banda y el almacenamiento requerido para el sistema de cámaras de red instalado en cada vagón. Con esta herramienta se puede escoger un escenario, seleccionar las opciones de visualización, grabación y compresión para obtener los valores de ancho de banda y almacenamiento requeridos para un correcto diseño del sistema de video vigilancia.

En la Figura 40 se puede apreciar cómo se configuraron los parámetros en la herramienta de diseño, el primer paso fue la selección del modelo de cámara, como paso siguiente se seleccionó el número total de cámaras a utilizar (5 cámaras vagones tipo A, 4 cámaras Vagones tipo B). Posteriormente se configuraron los parámetros del video como son la velocidad de la imagen, la resolución, la compresión, la codificación de video y el tiempo total de grabación.

Nombre	Modelo	Cantidad	Escenario
Vagones	AXIS M3113-R	5	Estación

Perfil	Visualización	Grabación continua	Grabación de eventos
Personalizado ...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

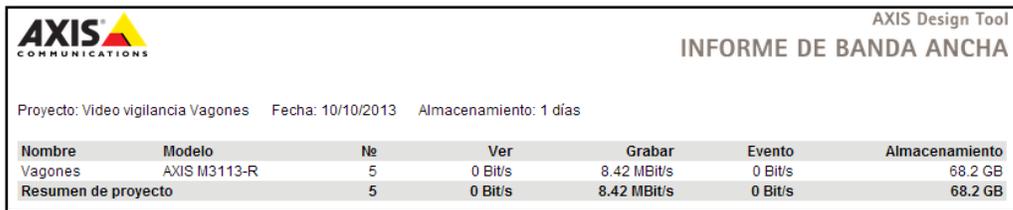
Velocidad de imagen	Resolución	Codificación de video	Compresión	Audio	Grabación	Ancho de banda
30	SVGA	H.264	30	Desactivado	18 h	0 Bit/s
12	SVGA	H.264	30	Desactivado	20%	1.68 MBit/s
30	VGA	H.264	30	Desactivado		0 Bit/s

Hecho

Figura 40. Cálculos de almacenamiento y ancho de banda para vagones tipo A.  
Fuente: [http://www.axis.com/es/products/video/design\\_tool/v2/](http://www.axis.com/es/products/video/design_tool/v2/)

Como se aprecia en la figura previa, se calcularon los valores máximos de ancho de banda y almacenamiento para la transmisión usando una resolución SVGA (800x600), el códec de compresión H.264 por todas las ventajas que aporta al diseño mencionadas anteriormente en este capítulo, un tiempo total de grabación de las cámaras de 18 horas, equivalente al horario de funcionamiento del Metro de Caracas (5am-11pm), y por último se definió una velocidad de imagen de 12 cuadros por segundo, la cual brinda una rapidez y alta calidad de imagen óptimas, y a su vez aporta ahorros significativos respecto al ancho de banda necesario para la transmisión.

Como resultado de los cálculos, se obtuvo ancho de banda de 8.48 Mbit/s equivalentes por todas las cámaras (cada cámara de 1.68Mbit/s) y un almacenamiento de 68.2 GB requeridos diariamente.

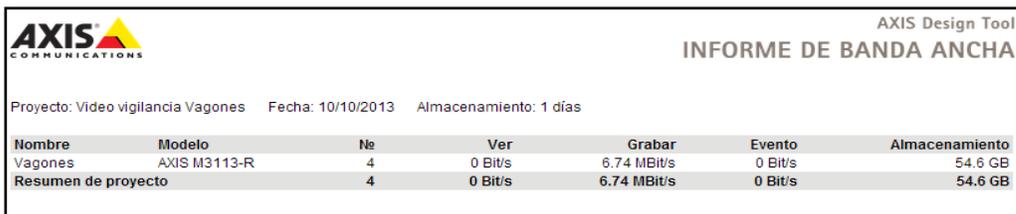


Nombre	Modelo	Nº	Ver	Grabar	Evento	Almacenamiento
Vagones	AXIS M3113-R	5	0 Bit/s	8.42 MBit/s	0 Bit/s	68.2 GB
Resumen de proyecto		5	0 Bit/s	8.42 MBit/s	0 Bit/s	68.2 GB

Figura 41. Requisitos de ancho de banda y almacenamiento para vagón Tipo A.

Fuente: [http://www.axis.com/es/products/video/design\\_tool/v2/](http://www.axis.com/es/products/video/design_tool/v2/)

Para el cálculo de los requerimientos del sistema para los vagones tipo B se utilizaron los mismos parámetros pero el número de cámaras se redujo a 4, los resultados se pueden apreciar en la siguiente figura.



Nombre	Modelo	Nº	Ver	Grabar	Evento	Almacenamiento
Vagones	AXIS M3113-R	4	0 Bit/s	6.74 MBit/s	0 Bit/s	54.6 GB
Resumen de proyecto		4	0 Bit/s	6.74 MBit/s	0 Bit/s	54.6 GB

Figura 42. Requisitos de ancho de banda y almacenamiento para vagón Tipo B.

Fuente: [http://www.axis.com/es/products/video/design\\_tool/v2/](http://www.axis.com/es/products/video/design_tool/v2/)

Como se puede observar en las figuras anteriores para el almacenamiento se necesitan 68.2 GB para los vagones tipo A y 54.6 GB para los vagones tipo B diariamente, configurados en grabación continua durante 18 horas.

Siguiendo lo establecido por CONATEL se debe contar con un respaldo de grabación de treinta días (30), para lo cual se necesitaría un almacenamiento mínimo equivalente a 2.046 GB (68.2GB\*30) para vagones tipo A y 1.638 GB (54.6GB\*30) para vagones tipo B.

La herramienta de diseño Axis permite realizar las estimaciones de ancho de banda y almacenamiento de una forma rápida y eficaz, sin embargo es importante destacar que estos valores son producto de la aplicación de las siguientes fórmulas matemáticas:

- Ancho de banda:

$$AB = \frac{\frac{\text{Tamaño imagen}}{1000} * \text{Cuadros por segundo} * \text{Canales}}{8}$$

- Almacenamiento:

$$\text{Almacenamiento: } \frac{\text{Tamaño imagen} * \text{CPS} * \text{Tiempo} * \text{Profundidad de color.}}{8}$$

#### **IV.8.1.2 Equipos a bordo**

Los equipos embarcados tienen la tarea de capturar, grabar y transmitir todo lo sucedido en los vagones, el sistema de video vigilancia a bordo está compuesto por las cámaras de red que se encargan de capturar la situación en los vagones, el NVR, el cual tiene como tarea gestionar las cámaras y grabar todo lo procedente de estas, el módem que se encarga de modular y transmitir las señales de RF para ser captadas por los cables radiantes, así como el cableado, equipos de alimentación y demás

equipos necesarios para el funcionamiento de la red móvil. Las funcionalidades del sistema de comunicación a bordo son las siguientes:

- Grabar lo sucedido en los vagones de forma continua y durante el horario de funcionamiento del Metro de Caracas.
- Establecer la comunicación entre los vagones y el Centro de Control de Operaciones.
- Recibir solicitudes desde el Centro de Control de Operaciones para visualización por demanda de cualquier vagón en tiempo real.

En el diseño de la red móvil a bordo de los vagones se emplearon los siguientes equipos comerciales:

- **Cámara de Red AXIS M3113-R:** diseño plano y robusto, barrido progresivo y resolución megapíxel, secuencias H.264 y Motion JPEG, instalación rápida y fiable, alarma anti manipulación. Diseñada para video vigilancia en buses, trenes, vagones de metro y vehículos de emergencia. En el Anexo A se puede consultar el resto de las especificaciones técnicas.



*Figura 43. Cámara de Red AXIS M3113-R.  
Fuente: AXIS 31-R datasheet.*

- **NVR Nexcom NVIS 3542P4/3542P8:** las comunicaciones móviles presentan una serie de desafíos como lo son un amplio margen en la temperatura de operación, constantes vibraciones, entre otros. La comunicación inalámbrica es la base para un sistema de video vigilancia a bordo. El grabador de video en red de Nexcom presenta soluciones a estos desafíos mencionados

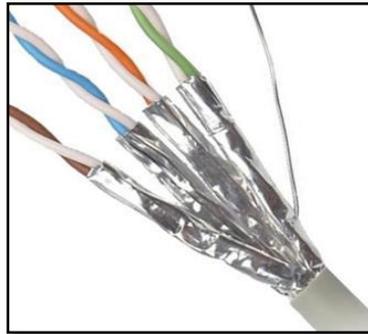
anteriormente, el NVIS 3542P4 es resistente a altos niveles de vibraciones, así como de temperaturas, y posee una carcasa protectora reforzada que brinda una máxima protección.

El grabador de video en red Nexcom proporciona puertos con tecnología PoE (*power over Ethernet*) para la alimentación de las cámaras de red, dependiendo del modelo posee 4 puertos PoE (NVIS 3542P4) ó 8 puertos PoE (NVIS 3542P8). A su vez, este posee una amplia variedad de interfaces de entradas y salidas, así como disco duro interno y puertos SATA para ampliación de la capacidad de almacenamiento mediante disco duros externos. El NVR de Nexcom para soluciones móviles ofrece conectividad 3G/3.5G/Wi-Fi, GPS, puertos Gigabit Ethernet, y puertos mini PCIe para expansiones. Esta plataforma ofrece un amplio rango de alimentación que va desde los 9 hasta los 36V. Para más información y aspectos técnicos consultar el Anexo B.



Figura 44. Grabador de video en red Nexcom NVIS 3542P4/P8.  
Fuente: NVIS 3542P4/3542P8 datasheet..

- **Cable STP** (*Shielded Twisted Pair - Par trenzado apantallado*): ya sea para una red cableada o inalámbrica, el tipo de cable de a utilizar juega un papel importante en el desempeño de la misma. Existen entornos eléctricos en los que las interferencias electromagnéticas y de radiofrecuencia son tan poderosas que se requiere una pantalla para posibilitar la comunicación (en este caso un tren o un entorno ferroviario). Es por esto que el tipo de cable seleccionado para la interconexión de las cámaras con los equipos fue el cable STP, en este cable cada par va recubierto por una malla conductora que actúa de pantalla frente a interferencias y ruido eléctrico. Es utilizado generalmente en las instalaciones de procesos de datos por su capacidad y sus buenas características contra las radiaciones electromagnéticas. El nivel de protección del cable STP ante perturbaciones externas es mayor al ofrecido por el cable UTP.



*Figura 45. Cable STP.*

*Fuente: <http://sincables.com.ve/v3/content/59-cable-utp-stp-y-ftp>.*

- **ELPRO 945U-E Wireless Ethernet Modem:** este módem perteneciente a la familia de módems Ethernet de alta velocidad es una ideal opción de comunicación de datos para instalaciones en las que se requieren una alta transmisión de datos, así como en ambientes con alto ruido e interferencias. Este modelo ofrece mayor velocidad que otros productos ya que combina la banda de 900 MHz con la tecnología OFDM. Adicionalmente está diseñado para operaciones en infraestructuras de minería, control automático vehicular,

entre otras aplicaciones. Soporta transferencia de datos en una sola red para video vigilancia en tiempo real, brinda múltiples modos de configuración como lo son Access Point / Cliente o Puente / enrutador, y puede ser configurado para ambientes de alto ruido. Para más aspectos técnicos consultar el Anexo C.



*Figura 46. ELPRO 945U-E Wireless Ethernet High Speed Modem.  
Fuente: ELPRO 945U-E Wireless Ethernet Modem datasheet.*

- **Amplificador OFDM 900MHz 5Watts:** este amplificador compatible con la tecnología OFDM y LAN's inalámbricas de alta velocidad, permite extender el rango de cobertura de la señal inalámbrica gracias a su aumento en la potencia de transmisión. Esta ganancia en potencia compensa las pérdidas introducidas por los cables y otros medios. Más información detallada se puede consultar en el anexo D.



*Figura 47. Hyperlink Amplificador OFDM 900MHz.  
Fuente: 5 Watt OFDM Compatible Indoor 900 MHz Amplifier Datasheet.*

- **Antena omnidireccional 2.4 GHz/900 MHz 3dBi:** esta pequeña y compacta antena pero de gran desempeño funciona en las bandas de 2.4 GHz y 900 MHz, es ideal para el uso en vehículos de servicio, minería, transporte público, entre otros. En la banda de 900 MHz es ideal para ISM, GSM, aplicaciones RFID así como sistemas celulares y redes LAN inalámbricas a 900 MHz. Para más aspectos técnicos consultar el Anexo E.



*Figura 48. Antena Omnidireccional Hyperlink dual band 900 MHz/2.4Ghz.  
Fuente: Hyperlink 2.4GHz/900MHz dual band antenna datasheet.*

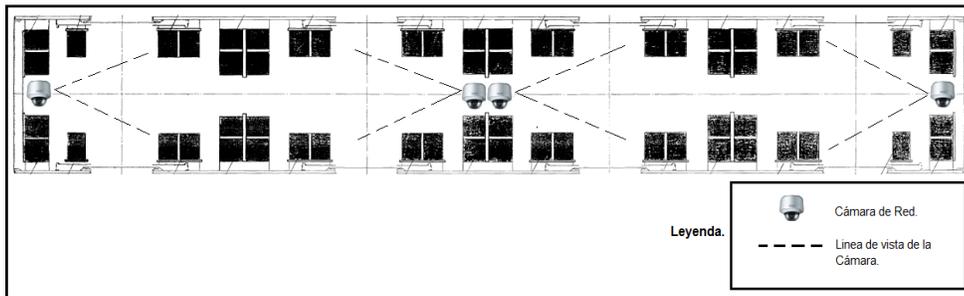
- **Cyberpower UPS 600VA/340W:** este sistema de alimentación ininterrumpida, es un dispositivo que gracias a sus baterías puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado y durante un apagón a todos los dispositivos que tenga conectados. Posee una pequeña pantalla LCD en la cual se puede observar la información referente al estado de la batería, el tiempo de duración que dispone, así como otras notificaciones de su funcionamiento.



*Figura 49. Cyberpower UPS 600VA/340W.  
Fuente: Cyberpower UPS 600VA/340W datasheet.*

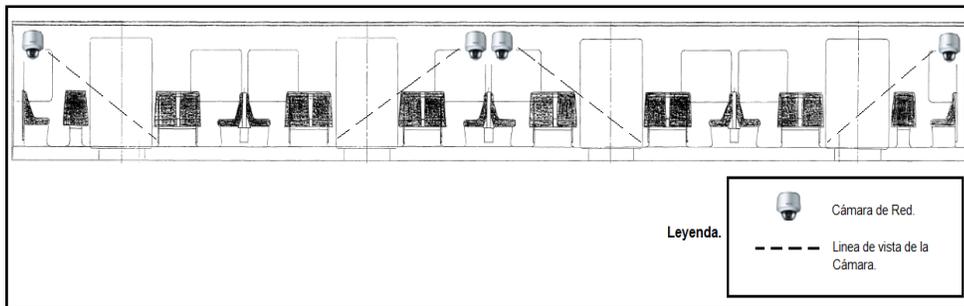
### IV.8.1.3 Distribución de equipos a bordo

En el siguiente conjunto de figuras se puede apreciar con claridad cómo se encuentran distribuidos los equipos que conforman la red móvil a lo largo de todo el material rodante (vagón). En las figuras 50 y 51 se aprecia la distribución de las cámaras en el vagón, las líneas punteadas representan la orientación o el ángulo de visión que cubren las cámaras.



*Figura 50. Vista Superior ubicación de cámaras en vagón.*

*Fuente: elaborado por el autor.*



*Figura 51. Vista lateral ubicación de cámaras en vagón.*

*Fuente: elaborado por el autor.*

En la figura 52 se muestra el cableado de las cámaras en los distintos tipos de vagones, dependiendo del tipo de vagón, el cableado se dirige a un cofre de conexiones eléctricas o a un armario en la cabina de conducción donde se encuentran los otros equipos que complementan la red móvil. Este cableado se encuentra ubicado dentro de los ductos por donde se encuentran los sistemas eléctricos y ventilación de los vagones.

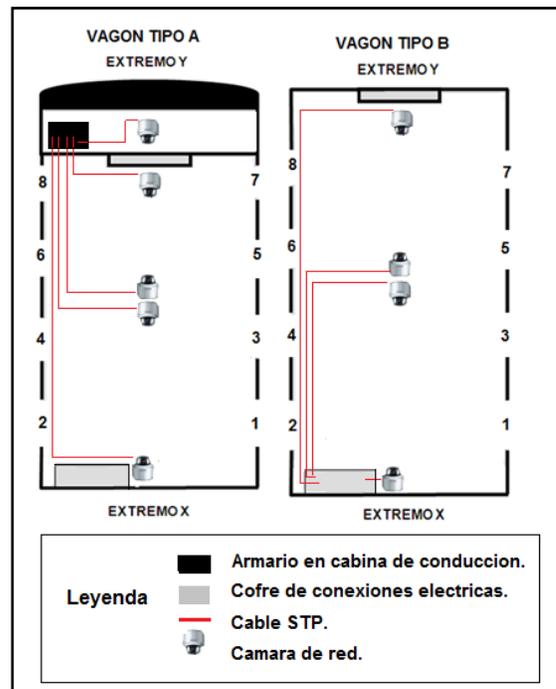


Figura 52. Distribución de cámaras y cableado en vagones.  
Fuente: elaborado por el autor.

A continuación se pueden observar los espacios físicos mencionados anteriormente, destinados para la ubicación de los NVR's y módems de cada vagón.



Figura 53. A) Cofre de conexiones eléctricas en vagón tipo B.  
B) Armario en cabina de conducción vagón tipo A.  
Fuente: elaborado por el autor.

#### IV.8.2. Sistema Radiante

La comunicación de radio en el interior de los túneles de la Línea 1 es posible gracias a cables radiantes marca EUPEN modelo F543RC8R-HLFR distribuido en ambos sentidos de la vía. Como se mencionó en el capítulo II, estos cables funciona como si fuera una antena emitiendo una radiación circular uniforme a su alrededor, posee un conductor exterior provisto de agujeros uniformemente repartidos a lo largo del cable. El cable radiante, frente a otras opciones, presenta una cobertura total a la hora establecer una comunicación. Permite cubrir más distancia con una buena calidad y rendimiento, y trabaja como línea de transmisión y antena.

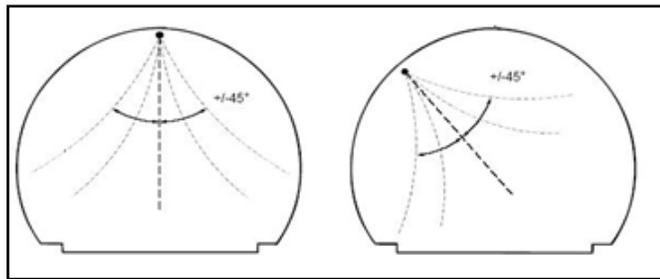


*Figura 54 . Cable Radiante.*

*Fuente: <http://telecombs.com/shop/cables-radiantes/>*

##### IV.8.2.1 Teoría de difusión del cable radiante

El cable radiante ha sido concebido para para una emisión dominante radial. En la siguiente figura se observa el esquema de líneas de campos eléctricos acorde con la ubicación del cable radiante en el túnel.



*Figura 55. Difusión del cable radiante fijado en el techo.*

*Fuente: (Zenitel, 2006)*

#### IV.8.2.2 Posición del cable radiante según su ubicación sobre la línea.

Para evitar las fuertes atenuaciones, el cable radiante se encuentra colocado de diferentes formas tanto en los túneles como en las estaciones, esta última forma dependiendo de la infraestructura del andén.

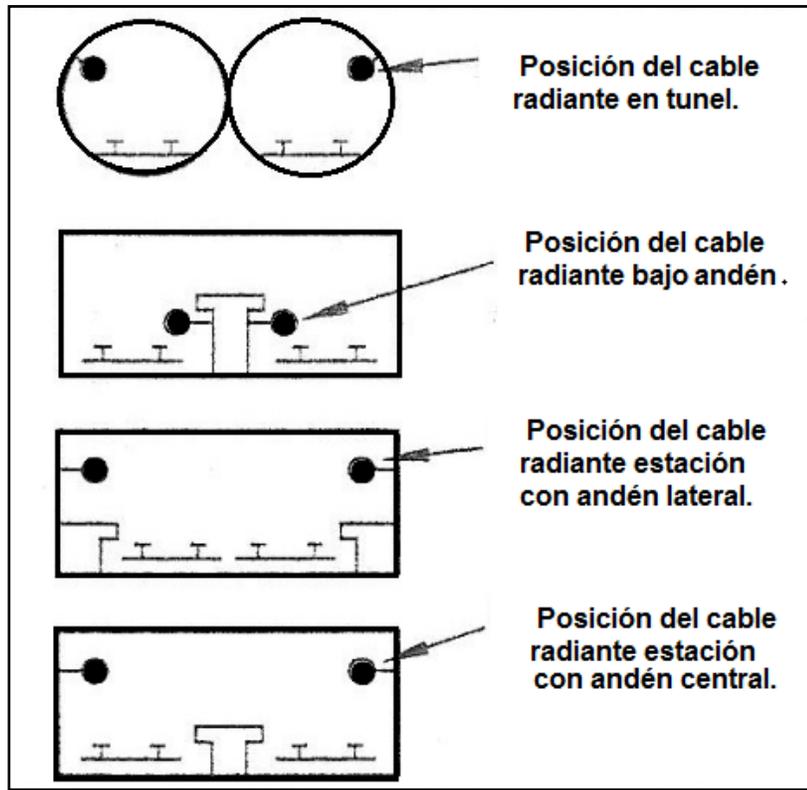


Figura 56. Posición del cable radiante según su ubicación sobre la línea.  
Fuente: Elaborado por el autor.

#### IV.8.2.3 Descripción del sistema

El sistema de cable radiante se extiende por todo lo largo de la Línea 1, brindando de esta forma cobertura para los servicios de radio UHF y TETRA tanto en los túneles como en cada una de las estaciones. En la siguiente figura se puede apreciar los equipos y la distribución de los cable radiantes entre las estaciones de Plaza Venezuela y Sabana Grande.

Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

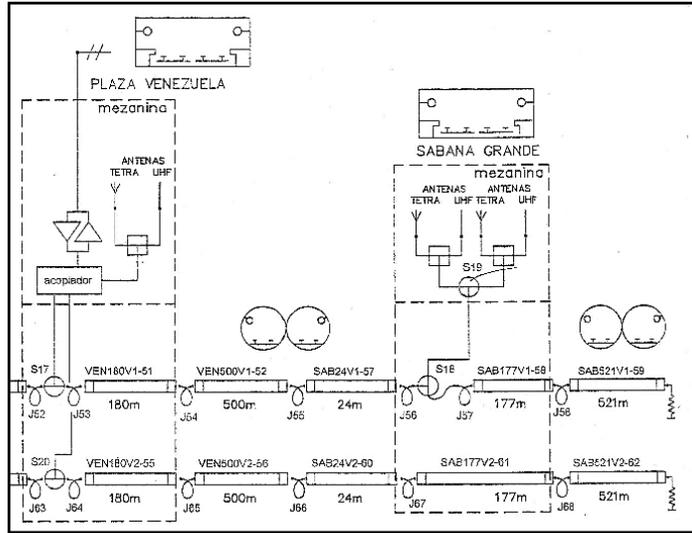


Figura 57. Plano de cables radiantes y equipos entre estaciones Plaza Venezuela y Sabana Grande.

Fuente: Metro de Caracas C.A.

El sistema está compuesto por dos cables radiantes instalados en los túneles, uno en sentido Vía 1 (Propatria) y el otro Vía 2 (Palo Verde). La interconexión de cables radiantes se realiza mediante empalmes o conectores N, en las estaciones encontramos *splitters* y acopladores los cuales permiten integrar las señales de RF provenientes de los cables radiantes a los armarios de radio ubicados en los cuartos de control de trenes. Del acoplador se encuentran conectadas antenas tipo Yagi en las estaciones extendiendo la cobertura de radio en estas. En los extremos de los cables radiantes se utilizan cargas de 50 Ohms para equilibrar la impedancia de la línea. En la Figura 58 se encuentran estos elementos detallados previamente.

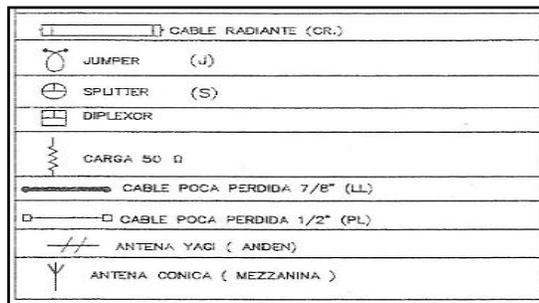


Figura 58. Componentes del sistema radiante.

Fuente: Metro de Caracas C.A.

#### **IV.8.2.4 Integración de la red móvil con el sistema radiante**

Las señales de video de cada vagón serán transmitidas por el módem ELPRO 945U-E Wireless Ethernet a 900 MHz instalado en los mismos, para posteriormente, llegar a los armarios dispuestos en las estaciones necesarias por medio del sistema radiante. En dichos armarios se encontrarán equipos capaces de recibir la señal RF y realizar la conversión de señal RF a señales ópticas y de esta forma ser transmitida al Centro de Control a través de la fibra óptica monomodo instalada en el Metro de Caracas.

La integración de la red móvil con el sistema radiante depende en gran parte del *Modem Wireless* ELPRO 945U-E ya que el mismo estará instalado tanto en los vagones como en los armarios. Los módems instalados en los vagones estarán configurados como clientes mientras que los módems instalados en los armarios estarán configurados como puntos de acceso.

Cuando un punto de acceso (AP) se pone en marcha, comenzará inmediatamente la transmisión de mensajes periódicos (*beacons*) en el canal configurado. Los *beacons* incluyen información que un cliente puede examinar con el fin de identificar si el punto de acceso es adecuado para el establecimiento del enlace. Los clientes sólo tratarán de establecer un vínculo con un punto de acceso cuya *beacon* indique un SSID compatible. Los puntos de acceso no inician el establecimiento del enlace.

Los módems configurados como clientes analizan en búsqueda de *beacons* de los puntos de acceso. Mientras que un enlace no está establecido, el cliente escanea cíclicamente todos los canales disponibles de un punto de acceso adecuado. El cliente intentará establecer una conexión con un punto de acceso únicamente si se emparejan SSID, método de cifrado, y otras capacidades compatibles, como se indica por el *beacon*.

Una vez que un cliente identifica un punto de acceso adecuado para el establecimiento del enlace, se trata de establecer un vínculo mediante un proceso de dos fases, la autenticación y asociación. Durante la autenticación, el cliente y el punto de acceso comprueban si sus configuraciones les permiten establecer un vínculo. Una vez que el cliente se ha autenticado, solicitará una asociación para establecer un enlace.

Con la conexión establecida, los datos pueden ser transferidos en ambas direcciones. El punto de acceso actúa como una unidad maestra y controla el flujo de datos a los clientes vinculados a la misma. Los clientes sólo pueden transmitir los datos al punto de acceso al que están conectados. Un máximo de 127 clientes puede estar vinculado a un punto de acceso.

El módem ELPRO 945U-E es ideal para ser instalado en entornos móviles, los clientes pueden moverse dentro de un sistema ya que una de las ventajas que ofrece es un *roaming* rápido entre AP's, es decir, si se detecta más de un punto de acceso adecuado, el cliente intentará establecer una conexión con el punto de acceso que tiene la señal de radio más fuerte.

#### **IV.8.2.5 Cálculos realizados**

Con el fin de integrar correctamente la red móvil con la red de fibra óptica, es necesario garantizar una comunicación continua y fiable entre estas dos mediante el sistema de cables radiante, para esto es necesario realizar un presupuesto de enlace en el cual se realice el cálculo de todas las ganancias y pérdidas desde el transmisor hasta el receptor, para de esta forma ubicar de forma correcta los armarios o puntos de acceso del cable radiante a la red de fibra óptica y evitar que la información no sea recuperable debido a atenuaciones o degradaciones de la señal por la distancia y las pérdidas que los cables y otros medios aportan. Un buen presupuesto de enlace es esencial para un funcionamiento óptimo del sistema.

La ecuación para realizar el presupuesto de potencia es la siguiente:

$$RSL = P_{Tx} - P_{\text{cable Tx}} - P_{\text{conect}} + GT - FSL + GR - P_{\text{cable Rx}}$$

Dónde:

- RSL= Receive Signal Level (Nivel de señal recibido).
- $P_{Tx}$ = Potencia de Transmisión [dBm].
- $P_{\text{cable Tx}}$ = Pérdidas en el cable TX [dB].
- $P_{\text{conect}}$ = Pérdidas en conectores.
- $GT$ =Ganancia de Antena Tx [dBi].
- FSL= Pérdidas en la trayectoria del Espacio Abierto [dB].
- $GR$ =Ganancia de Antena RX [dBi].
- $P_{\text{cable Rx}}$ = Pérdidas de Cable RX [dB].
- $SR_x$ = Sensibilidad del receptor [dBm].

Las pérdidas de propagación están relacionadas con la atenuación que ocurre en la señal cuando esta sale de la antena de transmisión hasta que llega a la antena receptora. Dentro de las pérdidas de propagación encontramos las pérdidas en el espacio libre (*Free Space Lost*). Estas vienen dadas por la siguiente fórmula:

$$FSL \text{ dB} = 20\log_{10} d + 20\log_{10} f + 32.45$$

Donde  $d$  es la distancia en metros, y  $f$  la frecuencia en MHz.

Los cálculos realizados se dividen en dos secciones, los cálculos para el sistema de cable radiante en túneles y los cálculos para el tramo abierto Caño Amarillo - Gato Negro.

- **Sistema radiante**

Para este entorno las pérdidas en el espacio libre vendrían siendo las pérdidas longitudinales que presenta el cable radiante, ya que este es el medio de transmisión. Dichas pérdidas pueden ser calculadas multiplicando las pérdidas longitudinales por

la distancia del tramo a calcular. Las pérdidas longitudinales del cable radiante pueden ser encontradas en el Anexo E.

Para garantizar una comunicación exitosa la señal recibida debe encontrarse por encima de la sensibilidad del receptor. El presupuesto de enlace adecuado para el tramo de cable radiante quedaría de la siguiente forma:

$$RSL = P_{Tx} - P_{cableTx} - P_{conect} + GT - FSL - P_{cableRx} - P_{inserc} - P_{retorno}$$

$$RSL \text{ Receive signal level} > SRx$$

Dónde:

- $P_{Tx}$ = Potencia de Transmisión del Módem [dBm].
  - $P_{cableTx}$ = Pérdidas en el cable TX [dB].
  - $P_{conect}$ = Pérdidas en los conectores [dB]
  - $GT$ =Ganancia de Antena Tx [dBi].
  - $FSL$ = Pérdidas en la trayectoria (perdidas longitudinales Cable Radiante)[dB].
  - $P_{cableRx}$ = Pérdidas de Cable RX (Cable Poca Pérdida 1/2") [dB].
  - $P_{inserc}$ = Perdidas por inserción en acoplador.
  - $P_{retorno}$ = Pérdidas por retorno en acoplador.
  - $SRx$ = Sensibilidad del receptor [dBm].
- 
- Potencia transmisión Modem= 25 dBm.
  - Ganancia antena Tx= 3dBi.
  - Pérdidas en cables Tx (LMR-400)= 0.128 dB/m= 0.128dB/m\*3m= 0.384 dB.
  - Pérdidas longitudinales cable radiante a 900 MHz= 2.33 dB/100m
  - Pérdida de Cable RX (Cable Poca Pérdida 1/2")= 6.85dB/100m
  - Pérdidas por inserción de acoplador= 3dB.
  - Pérdidas por retorno=13dB.
  - Sensibilidad Rx= -72dBm.

Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

---

Al aplicar la fórmula en los diferentes tramos de la Línea 1 del Metro de Caracas, se obtuvieron los siguientes niveles de potencia de la señal recibida y de acuerdo a estos valores se determinó en que estaciones es necesario instalar los armarios de acceso para garantizar una buena calidad en la transmisión de video.

A continuación se presenta la tabla de los cálculos, distancia y ubicación de armarios:

<i>Tramos</i>	<i>Distancia (m).</i>	<i>Sensibilidad (dBm)</i>	<i>Armarios de Acceso</i>
Palo Verde - Petare	886	-72,88	X
Petare - La California	1644	-90,5392	X
La California - Los Cortijos	1156	-79,1688	
Los Cortijos - Los Dos Caminos	648	-67,3324	X
Los Dos Caminos - Miranda	1273	-81,8949	X
Miranda - Altamira	825	-71,4565	
Altamira - Chacao	777	-70,3381	
Chacao - Chacaito	1494	-87,0442	X
Chacaito - Sabana Grande	898	-73,1574	X
Sabana Grande - Plaza Venezuela	704	-68,6372	X
Plaza Venezuela - Colegio de Ingenieros	1307	-82,6871	X
Colegio de Ingenieros - Bellas Artes	988	-75,2544	
Bellas Artes -	509	-64,0937	

Parque Carabobo			
Parque Carabobo - La Hoyada	402	-61,6006	X
La Hoyada - Capitolio	921	-73,6933	
Capitolio - Cano Amarillo	702	TRAMO ABIERTO	
Cano Amarillo - Agua Salud	909	TRAMO ABIERTO	
Agua Salud - Gato Negro	641	TRAMO ABIERTO	
Gato Negro - Plaza Sucre	1008	-75,7204	X
Plaza Sucre - Pérez Bonalde	753	-69,7789	X
Pérez Bonalde – Propatria	1143	-78,8659	

*Tabla 7. Cálculos de SR en Tramos y ubicación de Armarios de Acceso.  
Fuente: Elaborado por el Autor.*

- **Tramo abierto Caño Amarillo – Gato Negro**

Esta etapa corresponde al tramo abierto Caño Amarillo - Gato Negro, en el cual no se cuenta con cables radiantes, si no que se propone dar cobertura al sistema de video vigilancia mediante la instalación de antenas tipo Yagi.

Para garantizar la comunicación en el tramo abierto entre las estaciones Caño Amarillo – Agua Salud - Gato Negro se realiza también un presupuesto de potencia para garantizar un nivel de recepción óptimo entre los vagones y estas estaciones. El cálculo del radio enlace en el tramo abierto viene dado por la ecuación de presupuesto de potencia descrita anteriormente:

$$RSL = P_{Tx} - P_{\text{cable Tx}} - P_{\text{conectores}} + GT - FSL + GR - P_{\text{cable Rx}}$$

Los datos para el cálculo del radioenlace son los siguientes:

- Potencia transmisión Modem= 37 dBm.
- Ganancia antena Tx= 3dBi.
- Pérdidas en cables Tx (LMR-400)= 0.128 dB/m= 0.128dB/m\*3m= 0.384 dB.
- Ganancia antena Rx= 14dBi.
- Pérdidas en cables Rx= 0.128 dB/m= 0.128dB/m\*100m= 12.8 dB.
- Pérdidas en conectores= 0.5 dB\*2=1dB.
- Sensibilidad Rx= -72dBm.

Como primer paso se garantizará la cobertura de radio del tramo abierto Caño Amarillo – Capitolio, la distancia de este tramo es de 742m y está compuesta desde el andén de la estación Caño Amarillo hasta el túnel ubicado a 20m de la estación Capitolio.

Sustituyendo los valores en la fórmula de las pérdidas en el espacio libre mencionada anteriormente obtenemos el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \text{FSL dB} &= 20\log_{10} 0.742 + 20\log_{10} 900 + 32.45 \\ \text{FSL dB} &= 88.94 \text{ dB} \end{aligned}$$

Una vez obtenidas las perdidas en el espacio libre en el tramo especificado, procedemos a calcular el presupuesto de potencia.

$$\begin{aligned} \text{RSL} &= 37\text{dBm} - 0.384\text{dB} - 1\text{dB} + 3\text{dBi} - 88.94 \text{ dB} + 14\text{dBi} - 12.8\text{dB} \\ \text{SR} &= -49.12\text{dBm} \\ \text{RSL} &> \text{SRx} \\ -49.12\text{dBm} &> -72\text{dBm} \end{aligned}$$

Como se puede apreciar, la potencia de la señal recibida es mayor que la sensibilidad del receptor lo que garantiza una cobertura de radio exitosa en este tramo.

## Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

Para el estudio de la segunda zona de cobertura compuesta por el tramo abierto Caño Amarillo – Gato Negro basta realizar un nuevo cálculo de las pérdidas en el espacio libre en este tramo y sustituirlo en el presupuesto de potencia.

$$\text{FSL dB} = 20\log_{10} 1.73 + 20\log_{10} 900 + 32.45$$

$$\text{FSL dB} = 96.3 \text{ dB}$$

$$\text{RSL} = 37\text{dBm} - 0.384\text{dB} - 1\text{dB} + 3\text{dB}_i - 96.3 \text{ dB} + 14\text{dB}_i - 12.8\text{dB}$$

$$\text{SR} = -56.48\text{dBm}$$

$$\text{RSL} > \text{SR}_x$$

$$-56.48\text{dBm} > -72\text{dBm}$$

El nivel de potencia recibido es mayor que la sensibilidad del receptor lo cual garantiza la cobertura de radio entre el tramo abierto Caño Amarillo – Gato Negro. El diagrama de diseño en el tramo abierto Caño Amarillo – Gato Negro se puede apreciar en la siguiente figura:

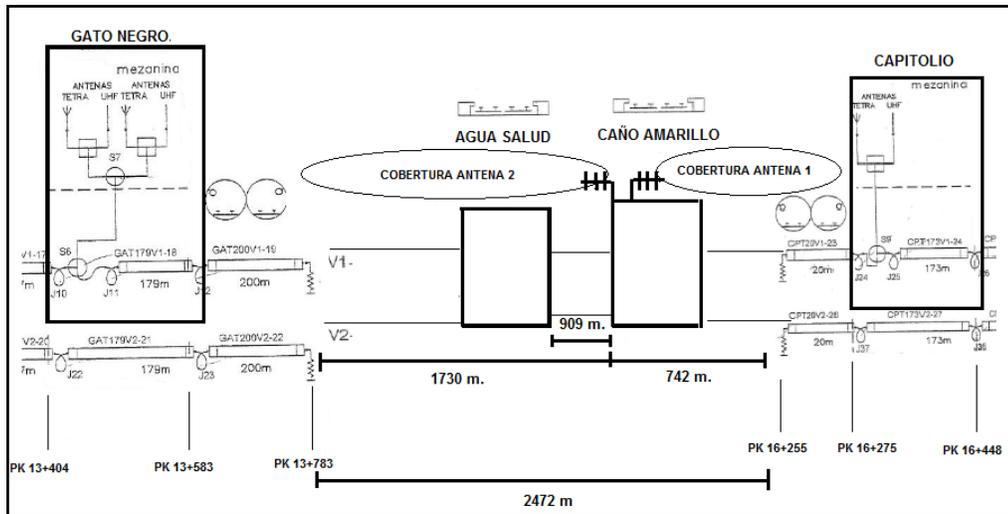


Figura 59. Diagrama de diseño en tramo abierto Caño Amarillo – Gato Negro.  
Fuente: Elaborado por el autor.

#### **IV.8.2.6 Arquitectura de radio y Armarios de acceso**

En cada estación donde se encuentran los armarios de acceso del sistema radiante a la red de fibra óptica existe un acoplador UHF donde se conectan dos cables radiantes uno en sentido Vía 1 (Propatria) y el otro Vía 2 (Palo Verde), habilitando de esta forma la cobertura en los túneles y la extracción de señales proveniente de estos.

El sistema de puntos de integración a la red de fibra óptica o armarios de acceso donde se ubican los módems estaciones base, se distribuyen a lo largo de la Línea 1 en las siguientes estaciones: Petare, La California, Los Dos Caminos, Miranda, Chacao, Chacaito, Plaza Venezuela, Colegio de Ingenieros, La Hoyada, Plaza Sucre, Caño Amarillo, Plaza Sucre, Pérez Bonalde.

Los armarios de acceso ubicados en los Cuartos de Control de Trenes están conectados al CCO mediante dos fibras ópticas. Dos puertos de salida RF permiten conectar los cables radiantes de las VÍA 1 y VÍA 2. Los armarios están conformados por los siguientes equipos:

- Acoplador UHF con la Red de Cable Radiante.
- 4 ELPRO 945U-E Wireless Ethernet módems 900MHz configurados como Puntos de Acceso (AP).
- Amplificador bidireccional 900 MHz.
- Convertidores fibra óptica (enlace ascendente y enlace descendente).
- Gaveta de alimentación eléctrica.

En la figura 60 se puede observar un diagrama de la composición de los armarios de acceso.

# Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

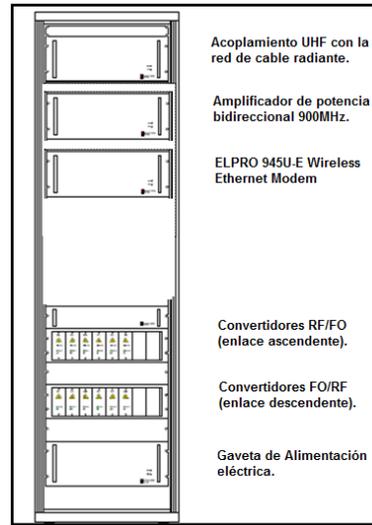


Figura 60. Diagrama de Armario de acceso.  
Fuente: Elaborado por el autor.

## IV.8.3. Red de Fibra óptica

El Metro de Caracas C.A posee una red de fibra óptica en forma de anillo que interconecta todas sus estaciones y permite el intercambio de información entre estas. En el esquema siguiente se presenta la distribución de la red de fibra óptica hasta la estación La Hoyada donde se encuentra el CCO. Los Cuartos de Control de Trenes (CCT) se repiten en cada estación de la Línea 1.

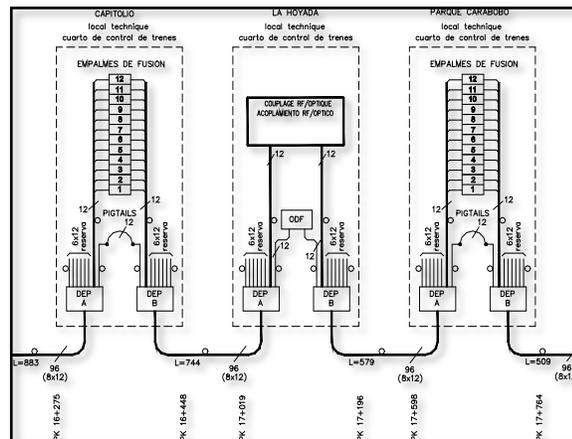


Figura 61. Repartición de las Fibras a lo Largo de las Estaciones.  
Fuente: (Metro de Caracas C.A., 2010)

Las especificaciones del cable de fibra óptica que conforma mencionada red se presentan en la siguiente tabla:

<i>Cable Fibra Óptica</i>	
<b>Tipo de fibra</b>	Monomodo
<b>Atenuación / km</b>	0,4 dB óptico
<b>Empalmes de fusión</b>	0,1 dB óptico
<b>Perdida óptica de los conectores / par</b>	0,6 dB óptico
<b>Distancia máxima de funcionamiento</b>	20 km

*Tabla 8. Especificaciones del Cable en red de Fibra Óptica del Metro de Caracas.  
Fuente: (Metro de Caracas C.A., 2010)*

Tanto en el Centro de Control de Operaciones como en los armarios ubicados en los cuartos de control de trenes en cada estación, se encuentran ubicados equipos dedicados a la integración de las señales de radio frecuencia a la red de fibra óptica, en las siguientes tablas se encuentran las características técnicas de mencionados equipos.

<i>Características Eléctricas de Convertidor Óptico</i>		
Parámetros	Características Típicas	Unidades
<b>Gama de frecuencias (señal RF)</b>	70 – 3000	MHz
<b>Ganancia de transmisión disponible (señal RF)</b>	18	dB
<b>Pérdida de retorno Entrada/Salida (señal RF)</b>	12	dB Min
<b>Impedancia RF</b>	50	Ohm
<b>Cifra de ruido @ 0 dB de ganancia (400 MHz)</b>	36	dB
<b>Tensión de suministro CC</b>	10-12	Vdc
<b>Corriente eléctrica CC</b>		
<b>20-005401</b>	120	mA
<b>20005501</b>	350	mA
<b>20-005601</b>	420	mA

*Tabla 9. Especificaciones Eléctricas de los Convertidores Ópticos.  
Fuente: (Metro de Caracas C.A., 2010)*

<i>Características Ópticas del Convertidor Óptico</i>	
<b>Longitud de onda óptica</b>	1310 o 1550 nm
<b>Poder óptico máximo de salida</b>	3 dBm óptico
<b>Poder óptico máximo de recepción</b>	1 dBm óptico
<b>Balance de enlace</b>	9 dB óptico (18 dB RF)
<b>Regreso pérdida óptica</b>	60 dB
<b>Ganancia Rx</b>	-20 à 0 dB
<b>Conectores</b>	FC / APC

*Tabla 10. Especificaciones Ópticas de los Convertidores Ópticos.  
Fuente: (Metro de Caracas C.A., 2010)*

#### **IV.8.4. Centro de Control de Operaciones**

El diseño del módulo de supervisión ubicado en el Centro de Control de Operaciones contempla todos los requerimientos de software y hardware necesarios para de esta forma poder gestionar todo el sistema de video vigilancia a bordo de trenes. En esta sala se recibe la información mediante fibra óptica, proveniente de los distintos armarios y puntos de acceso ubicados en las diferentes estaciones a lo largo de la línea.

La gestión del video de un sistema de video IP incluye la monitorización por video, que puede realizarse desde un navegador Web o un software de gestión de video determinado, y la grabación por video, que puede realizarse desde mencionado software instalado en un PC o usando un Grabador de video en red (NVR). En este diseño se utilizaron NVR's instalados en cada vagón que conforman una red independiente.

#### **IV.8.4.1 Monitorización usando el software de gestión de video**

Aunque el video puede visualizarse directamente desde un navegador Web estándar, puede instalarse el software de gestión de video si se precisan opciones de visualización más flexibles así como la capacidad de almacenar y gestionar el video. En el mercado existe una gran variedad de soluciones de software disponibles, que van desde soluciones independientes para un único PC hasta software avanzado basado en servidor/cliente que proporciona compatibilidad para múltiples usuarios simultáneos. La funcionalidad común incluye la monitorización por video, funciones de gestión de eventos y alertas ante eventos de alarma a través de, por ejemplo, una sirena o un correo electrónico.

El software elegido para gestionar el sistema de video vigilancia es el IPronet e-netcamCLIENT. Esta aplicación de gestión de video IP posee muchas bondades que se adecuan al diseño propuesto, las principales se mencionan a continuación:

- Compatibilidad con principales fabricantes de cámaras y codificadores IP.
- Grabación bajo demanda, grabaciones programadas, grabación ante alarma.
- Borrado y archivado automático de grabaciones caducadas.
- Múltiples soportes de grabación.
- Búsqueda de grabaciones por cámara, tipo, fecha y hora.
- Número ilimitado de cámaras.

#### **IV.8.4.2 Equipos ubicados en Centro de Control de Operaciones**

En el CCO (Centro de Control de Operaciones) se dispondrán de diferentes equipos (hardware y software) que permitirán gestionar la red de video vigilancia diseñada. A continuación se muestran los equipos que conformaran el CCO:

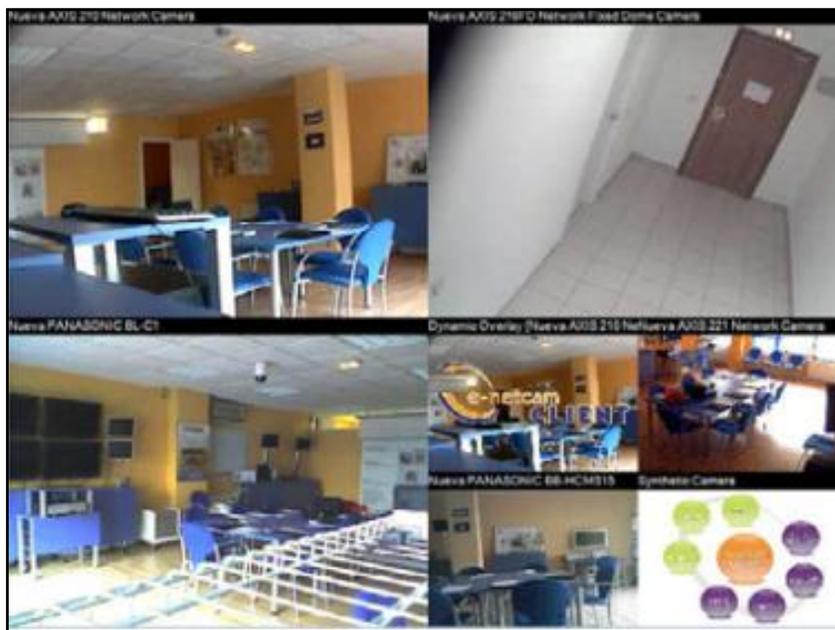
- **Rack para equipos de sistema de video vigilancia:** destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones.



*Figura 62. Rack para equipos.*

*Fuente: <http://www.kode-tech.com/tipo-de-articulo/rack/>*

- **Software de gestión de video vigilancia IP:** el software elegido es el IPronet e-netcamCLIENT.



*Figura 63. Visualización grupo de cámaras mediante software IPronet e-netcamCLIENT.*

*Fuente: IPronet e-netcam Datasheet.*

- **Servidor de almacenamiento:** dispone de un arreglo de discos destinados a grabar toda la información recibida. El servidor de almacenamiento elegido fue el HP Proliant DL380E.



*Figura 64. Servidor de almacenamiento HP.  
Fuente: HP Proliant DL380E G8 Datasheet*

- **Switch:** permite la conexión de los servidores a las estaciones de trabajo para el monitoreo de las señales de video. Fue elegido el Switch Gigabit Tp-link 24 Ptos Tl-sg1024 Rack 10/100/1000.



*Figura 65. Switch Gigabit Tp-link.  
Fuente: Switch Gigabit Tp-link 24 Ptos datasheet.*

- **Estación de trabajo:** es el lugar donde se realizara la supervisión e interacción con el sistema de video vigilancia. Habrán 2 estaciones de trabajo conformadas por un CPU y dos monitores LCD para la monitorización de los videos demandados.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de todos los cálculos y estudios realizados para cada una de las fases planteadas en la metodología de este Trabajo Especial de Grado.

#### **V.1. Descripción general del sistema a instalar**

El sistema de video vigilancia se basa en la implementación de un sistema de cámaras de seguridad a bordo de los trenes que conforman la Línea 1 del Metro de Caracas que pueda ser monitoreado de forma remota desde el Centro de Control de Operaciones ubicado en el edificio José González Lander en la estación de La Hoyada. Como se mencionó en el capítulo anterior, el sistema de video vigilancia se divide en cuatro sub-sistemas los cuales son: la red móvil, el sistema radiante, la red de fibra óptica y el Centro de Control de Operaciones.

##### **V.1.1. Red móvil**

Cada vagón que conforma el tren es una red independiente con todos los equipos necesarios para grabar y establecer una comunicación con el Centro de Control de Operaciones. Los equipos necesarios así como sus características y aspectos técnicos fueron especificados en el capítulo anterior.

Los trenes son alimentados por 750V DC, la alimentación eléctrica a bordo es 110V AC y adicionalmente cuentan con una fuente de 24V DC con la cual se puede alimentar al NVR que puede funcionar en un rango de 9-30V DC, y al módem OFDM que trabaja en un rango entre 10-28V DC. Las cámaras de red son alimentadas directamente por el NVR gracias a los puertos de PoE (*Power over Ethernet*) de los cuales cada uno aporta 16.8W. EL NVR estará configurado como cliente y grabara localmente.

En relación al direccionamiento IP, se utilizan las direcciones IP privadas clase C: 192.168.X.Y/27. La elección de este rango de direcciones privadas se debe a las especificaciones dictadas por los fabricantes. Al utilizar la máscara/27 se pueden disponer de hasta 30 direcciones IP asignables a los dispositivos abordo. En el octeto “Y” se utilizan 3 bits para realizar “*subnetting*” y poder disponer de 8 subredes, las cuales son asignadas a los 7 vagones que conforman cada tren, teniendo así redes móviles independientes en cada vagón. El octeto “X” utiliza 8bits para crear 255 redes con 8 subredes cada una. Este direccionamiento permite ser expandido a un mayor número de trenes.

La comunicación inalámbrica entre los trenes y el cable radiante la realiza el módem ELPRO 945U-E, éste ofrece una tasa de datos elevada de hasta 54Mbps la cual soporta transferencia de datos de video en tiempo real. Adicionalmente brinda al usuario la posibilidad de priorización de la data gracias QoS. En cuanto a los aspectos inalámbricos, trabaja sobre la banda de los 900 MHz y permite trabajar en 4 canales distintos de 10Mhz superpuestos cada uno utilizando modulación OFDM.

En toda comunicación inalámbrica siempre es de gran importancia la seguridad y proteger los datos enviados, el módem ELPRO 945U-E ofrece una encriptación de 128bit AES.

Cada vagón cuenta con un almacenamiento local provisto por los NVR's de 3 TB lo cual brinda una capacidad de almacenamiento de video sin sobreescribirse de hasta 45 días.

En la figura 66 se puede observar un diagrama general de la red móvil a bordo de los vagones.

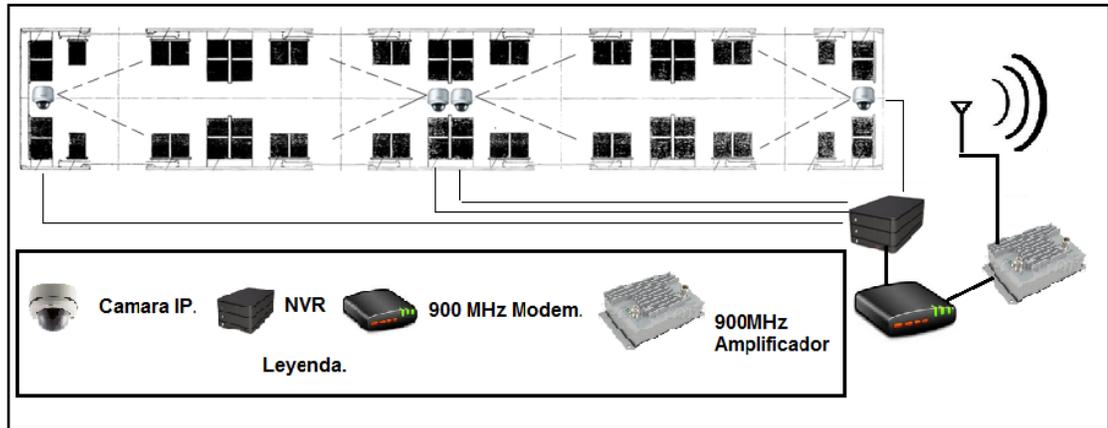


Figura 66. Diagrama de Red Móvil.  
Fuente: Elaborado por el autor.

### V.1.2. Sistema Radiante

A continuación, se presenta una tabla en la que se observan los valores máximos de flujo de datos (*Data Throughput*) basados en el rendimiento de selección de canal y la señal recibida:

945U-E Radio Data Throughput					
900MHz	Data Rate in Mbps				
Signal Strength	20MHz	10MHz	5MHz	2.5MHz	1.25MHz
-72 dBm	22.0	11.0	5.5	2.8	1.4
-75 dBm	20.0	10.0	5.0	2.5	1.3
-81 dBm	17.0	8.5	4.3	2.1	1.1
-84 dBm	11.0	5.5	2.8	1.4	0.7
-88 dBm	9.0	4.5	2.3	1.1	0.6
-91 dBm	6.0	3.0	1.5	0.75	0.38
-90 dBm	5.5	2.8	1.4	0.69	0.34
-91 dBm	4.5	2.3	1.1	0.56	0.28
-92 dBm	3.0	1.5	0.75	0.38	0.19
-91 dBm	2.0	1.0	0.5	0.25	0.13
-93 dBm	1.0	0.50	0.25	0.13	0.06
-95 dBm	0.5	0.25	0.13	0.06	0.03

Tabla 11 Rendimiento del Modem ELPRO 945U-E. ‘  
Fuente: Manual Modem ELPRO 945U-E.

Si se comparan los valores del fabricante con los obtenidos en la tabla 7 presentada en el capítulo anterior, se puede observar que se recibe la señal de video

con la suficiente potencia para garantizar un *throughput* de alrededor de los 10 Mbps con lo que se satisfacen los 8,4 Mbps requeridos en los vagones de 5 cámaras.

Por otro lado, es importante aclarar que al verificar la *Tabla 7. Cálculos de SR en Tramos y ubicación de Armarios de Acceso*, existen tramos donde la señal recibida no garantiza el *throughput* necesario para la recepción del video, los tramos mencionados son los siguientes:

- Petare – La California (-90,54 dBm).
- Chacao – Chacaito (-87,04 dBm).
- Plaza Venezuela – Colegio de Ingenieros (-82,69 dBm).

Los cálculos realizados son para la distancia del tramo completo y como dichas estaciones poseen armarios de acceso, los módems podrán conectarse de un punto de acceso a otro cuando la señal de uno de ellos sea mayor a la del otro. En otras palabras, cuando un vagón se esté desplazando en estos tramos los módems configurados como clientes podrán hacer *roaming* entre los puntos de accesos y garantizar un nivel de señal de recepción adecuado para la transmisión del video.

Al tomar la mitad de la distancia entre los tramos mencionados se obtienen los siguientes valores de señal recibida:

- Petare – La California (-71,39 dBm).
- Chacao – Chacaito (-69,64 dBm).
- Plaza Venezuela – Colegio de Ingenieros (-67,47 dBm).

En la siguiente figura se puede observar un ejemplo de lo que sería la configuración de un tren con sus módems clientes en cada vagón y el armario de acceso donde se encuentran los módems de punto de acceso transmitiendo en 4 canales diferentes.

Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

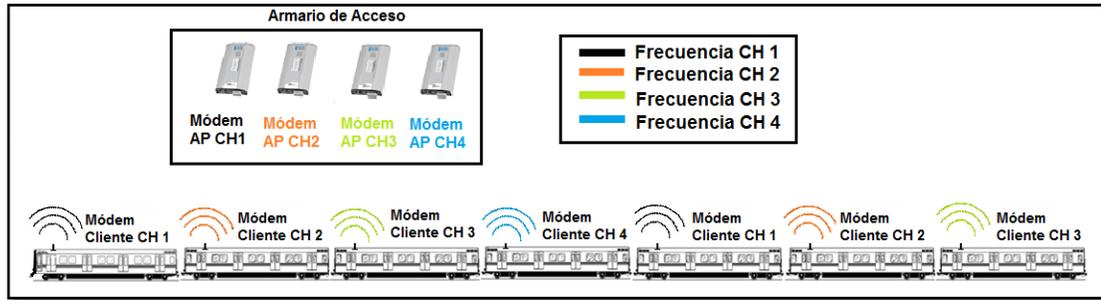


Figura 67. Diagrama de canalización de vagones.  
Fuente: Elaborado por el autor.

En base a los cálculos realizados en el capítulo anterior, la distribución de los armarios de acceso queda dispuesta como se observa a continuación.

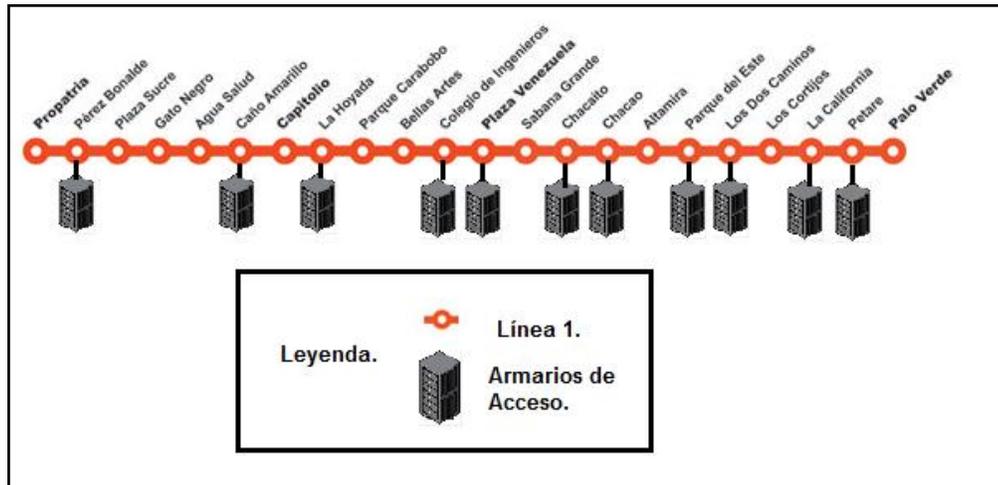
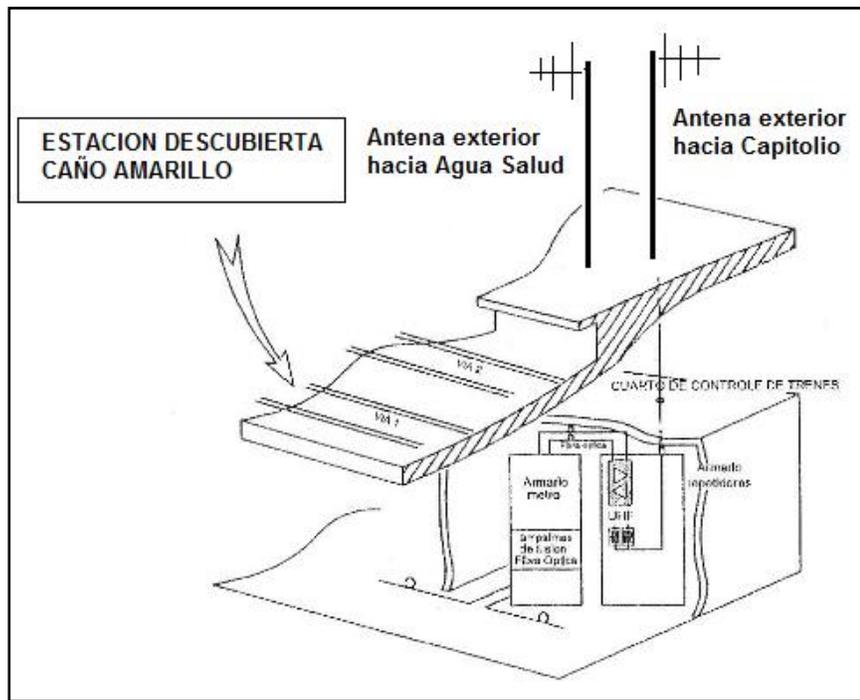


Figura 68. Diagrama de distribución de armarios de acceso en Línea 1.  
Fuente: Elaborado por el autor.

Se tienen un total de 11 armarios dispuestos a lo largo de la Línea 1 del Metro de Caracas, estando ubicados de manera que se garantice un nivel de señal recibida que permita la comunicación en los tramos entre estaciones.

Por último, se muestra la distribución de equipos en la estación Caño Amarillo, que brinda cobertura en el tramo abierto.



*Figura 69. Diagrama de distribución de equipos en estación descubierta Caño Amarillo.*

*Fuente: Elaborado por el autor.*

### **V.1.3. Centro de Control de Operaciones**

En el Centro de Control de Operaciones se recibe toda la información proveniente de los armarios de acople con el sistema radiante ubicados en las cuartos de control de trenes en las distintas estaciones a lo largo de la Línea 1. El flujo de datos es recibido en esta sala proveniente de la fibra óptica que intercomunica todas las estaciones e instalaciones del Metro de Caracas con el Centro de Control de Operaciones.

En la sala del Centro de Control se encuentra un rack destinado únicamente a albergar los equipos del sistema de video vigilancia a bordo de trenes, en este armario encontramos los equipos mencionados en el capítulo anterior.

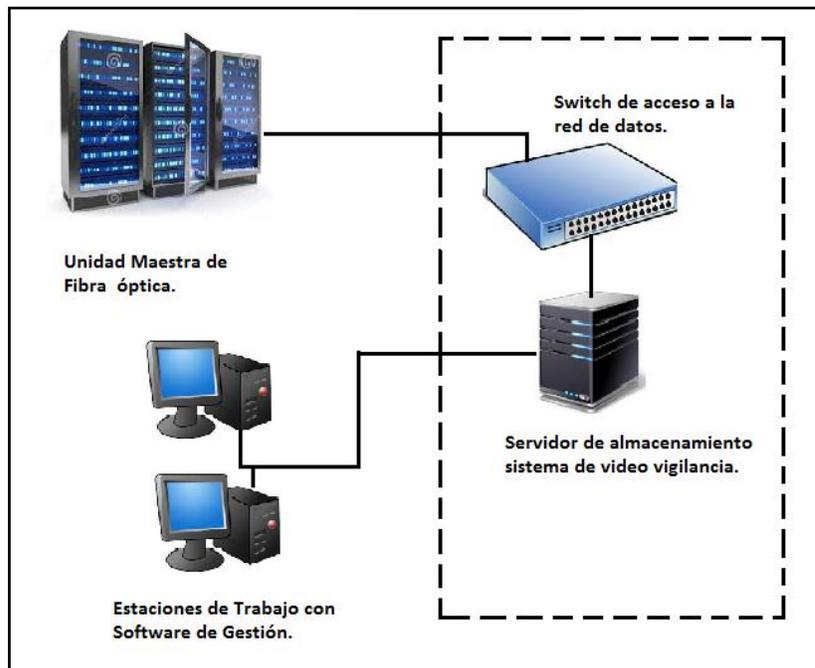
## Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

---

El servidor de almacenamiento ubicado en el Centro de Control de Operaciones posee una capacidad de hasta 24 TB destinados a grabar toda la información enviada periódicamente por los vagones, así como la información demandada por los operadores del sistema de video vigilancia en un momento dado.

Para la supervisión e interacción con el sistema de video en tiempo real, serán conectadas con el servidor de almacenamiento a través de un conmutador o switch, dos estaciones de trabajos. Se utilizara el software de gestión IPronet e netcamCLIENT para la visualización y gestión del video y las cámaras. La elección de esta plataforma se debe a que es configurable y adaptable con cualquier sistema de video vigilancia basado en el protocolo TCP/IP y permite un número ilimitado de cámaras para gestionar.

En la figura 70 se puede observar un esquema general de los equipos ubicados en el Centro de Control de Operaciones.



*Figura 70. Diagrama Centro de Control de Operaciones.  
Fuente: Elaborado por el autor.*

## Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

El sinóptico general del sistema de video vigilancia se puede apreciar en la siguiente figura.

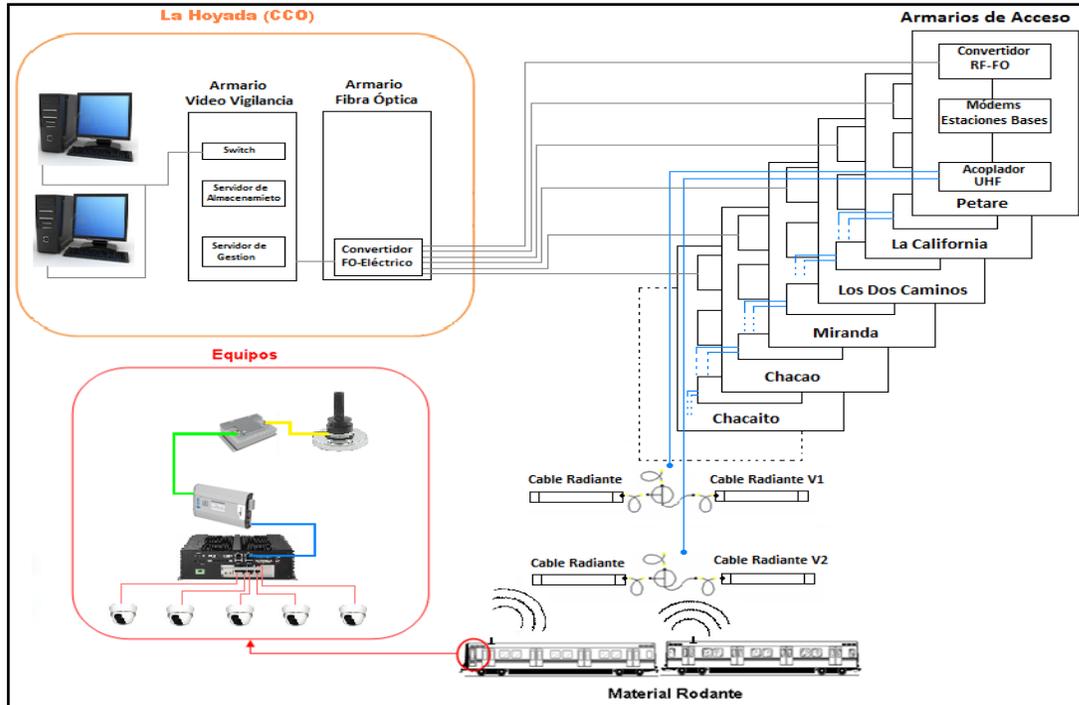
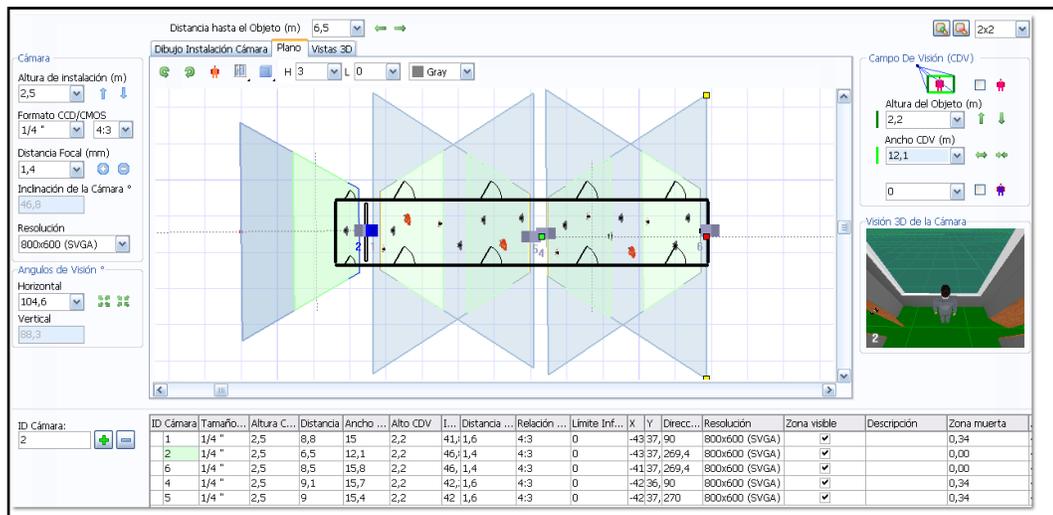


Figura 71. Sinóptico general de Propuesta.  
Fuente: Elaborado por el autor.

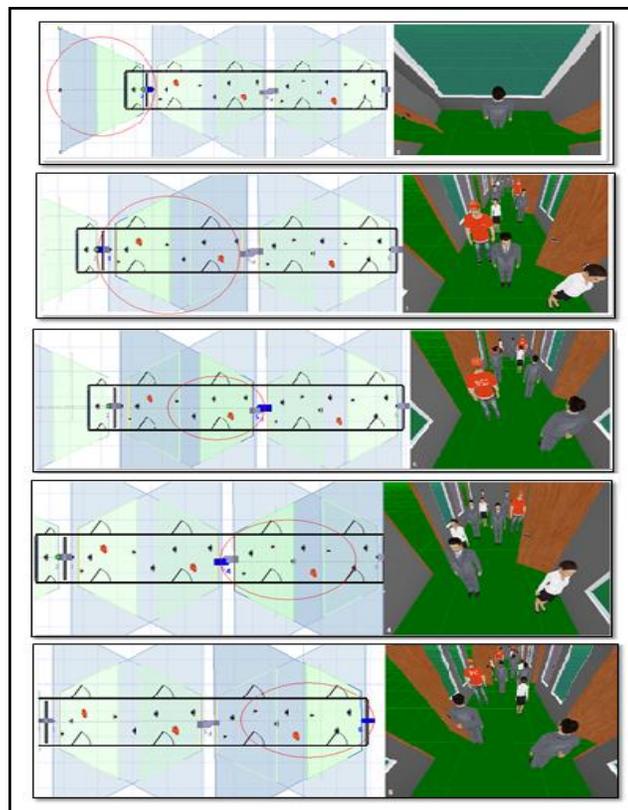
### V.2. Simulaciones

Mediante el software de simulación de sistemas modernos de video vigilancia *IP Video System Design Tool* se pudo recrear tomando las dimensiones exactas los espacios físicos de los vagones y de esta forma aumentar la eficacia del sistema de video vigilancia. Esta herramienta permitió elegir la mejor ubicación, calcular la longitud focal y los ángulos de visión necesarios para las cámaras, así como comprobar los campos de visión de las cámaras, para de esta forma descartar zonas muertas en los vagones. El simulador nos permite un modelado en 2D y 3D de las instalaciones. En la siguiente serie de figuras se pueden apreciar los resultados arrojados por la herramienta de diseño.

## Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.



*Figura 72. Distribución y campo de visión de cámaras en vagón.  
Fuente: Elaborado por el autor.*



*Figura 73. Vistas 3D de cámaras en vagones.  
Fuente: Elaborado por el autor.*

### V.3. Estimación de Costos

DESCRIPCION	CANTIDAD	COMPONENTE IMPORTADO		COMPONENTE NACIONAL	
		POR UNIDAD (USD)	TOTAL POR UNIDADES (USD)	POR UNIDAD (Bs.F)	TOTAL POR UNIDADES (Bs.F)
<b>Equipos Embarcados en Tren.</b>					
Camara IP Axis M3113-R (SVGA, conector RG-45, H.264, 800*600px, 30fps).	30	430.00	12,900.00	-----	-----
NVR Nexcom NIVS 3542/IP4 (Intel I5 processor, 1TB HDD, 2xGbE LAN ports, 4 PoE ports, WAN, WLAN, GPS).	5	1,177.00	5,885.00	-----	-----
NVR Nexcom NIVS 3542/IP8 (Intel I5 processor, 1TB HDD 2xGbE LAN ports, 8 PoE ports, WAN, WLAN, GPS).	2	1,187.00	2,374.00	-----	-----
Disco Duro interno Seagate Barracuda 2TB SATA	7	93.29	653.03		
Amplificador bidireccional 900MHz 5W OFDM	7	607.50	4,252.50		
ELPRO 945U-E Wireless High Speed Ethernet Módem 900MHz	7	1,295.00	9,065.00	-----	-----
Cyberpower UPS 600VA/340W.	7	65.23	456.61		
Hyperlink 2.4 Ghz/900MHz Omnidirectional Wireless LAN Antena (3dBi, 50 Ohm, 2.4Ghz y 900 Mhz Wireless video systems).	7	39.95	279.65	-----	-----
Cable STP (Par trenzado apantallado).	400 m.	-----	-----	39.67	15,868.00
Cable Coaxial LMR-400 (poca perdida).	30 m.	-----	-----	63.70	1,911.00
<b>TOTAL</b>			<b>35,865.79</b>		<b>17,779.00</b>
				<b>TOTAL PRESUPUESTO Bs.F</b>	<b>243,733.48</b>

Tabla 12. Estimación de costos de equipos embarcados en tren.

Fuente: Elaborado por el autor

DESCRIPCION	CANTIDAD	COMPONENTE IMPORTADO		COMPONENTE NACIONAL	
		POR UNIDAD (USD)	TOTAL POR UNIDADES (USD)	POR UNIDAD (Bs.F)	TOTAL POR UNIDADES (Bs.F)
<b>Equipos En Cuarto de control de Trenes (CCT).</b>					
Amplificador bidireccional 900MHz 5W OFDM	1	607.50	607.50	-----	-----
ELPRO 945U-E Wireless Ethernet Módem	4	1,295.00	5,180.00	-----	-----
<b>TOTAL</b>			<b>5,787.50</b>		

Tabla 13. Estimación de costos de Armarios de Acceso.

Fuente: Elaborado por el autor.

DESCRIPCION	CANTIDAD	COMPONENTE IMPORTADO		COMPONENTE NACIONAL	
		POR UNIDAD (USD)	TOTAL POR UNIDADES (USD)	POR UNIDAD (Bs.F)	TOTAL POR UNIDADES (Bs.F)
<b>Equipos En CCO.</b>					
Servidor HP Proliant DL380e G8/Quad Core E5-2407/8GB	1	-----	-----	103,000.00	103,000.00
Cable UTP CAT 5e	30 m	-----	-----	8.97	269.10
Monitor LCD 24" Samsung	2	-----	-----	12,000.00	24,000.00
Switch Gigabit Tp-link 24 Ptos Tl-sg1024 Rack 10/100/1000	1	-----	-----	3,600.00	3,600.00
<b>TOTAL</b>					<b>130,869.10</b>

Tabla 14. Estimación de Costos equipos en CCO.

Fuente: Elaborado por el autor.

DESCRIPCION	CANTIDAD	COMPONENTE IMPORTADO		COMPONENTE NACIONAL	
		POR UNIDAD (USD)	TOTAL POR UNIDADES (USD)	POR UNIDAD (Bs.F)	TOTAL POR UNIDADES (Bs.F)
<b>Equipos en Tramo abierto.</b>					
ELPRO 945U-E Wireless Ethernet Módem	4	1,295.00	5,180.00	-----	-----
Amplificador bidireccional 900MHz 5W OFDM	1	607.50	607.50	-----	-----
900Mhz Antena Yagi (50 ohm, 14dBi)	2	46.95	93.90	-----	-----
Cable Coaxial LMR-400 (poca perdida).	100 m.	-----	-----	63.70	6,370.00
<b>TOTAL</b>			<b>5,881.40</b>		<b>6,370.00</b>
			<b>TOTAL PRESUPUESTO Bs.F</b>		<b>43,422.82</b>

Tabla 15. Estimación de Costos equipos en armario de acceso tramo abierto.

Fuente: Elaborado por el autor.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **CONCLUSIONES**

En muchas ciudades a lo largo del mundo, es de suma importancia promocionar el transporte público como una alternativa favorable y atraer a más usuarios al sistema de transporte. Para ello, es esencial presentar un entorno seguro para los pasajeros y el personal del Metro de Caracas. Es por esto que el presente Trabajo Especial de Grado propone un sistema de video vigilancia a bordo de trenes que permite complementar al sistema de seguridad CCTV instalado en las instalaciones del Metro de Caracas.

Para lograr el objetivo planteado en el presente Trabajo especial de Grado se estudiaron las últimas tecnologías referentes a sistemas de seguridad y video vigilancia. Se evaluaron diferentes compañías desarrolladoras de cámaras de video, sistemas de grabación y módems inalámbricos que dentro de sus características presenten movilidad, robustez y compatibilidad con otros fabricantes, a la vez que sean capaces de complementarse con el sistema de cable radiante instalado en el Metro de Caracas.

El desarrollar un sistema de video vigilancia basado en tecnología IP permite una serie de ventajas sobre los sistemas de video analógicos como son: accesibilidad remota, una mejor calidad de imagen, implementación de software de video inteligente, el aprovechamiento de una infraestructura de red ya instalada, y muchas más mencionadas en capítulos anteriores.

Al trabajar en un ambiente cerrado como lo es el entorno ferroviario, es muy difícil la propagación de las ondas, es por ello que la tecnología de cable radiante ha

sido de gran ayuda para solucionar el inconveniente de enviar la información a lo largo de los túneles del Metro de Caracas.

Un factor importante en el diseño fue una elección correcta de la frecuencia de trabajo, el cable radiante instalado en las instalaciones del Metro de Caracas presenta un rango de frecuencia desde los 30MHz hasta los 2.4GHz. Se buscó trabajar en una banda de frecuencia que fuese soportada por equipos comerciales, lo cual conllevó al estudio de la banda de frecuencia ISM de 900MHz y la banda de 2.4GHz. Al estudiar las pérdidas longitudinales presentes en el cable radiante se encontró que para la banda de 2.4GHz el valor de la atenuación longitudinal era considerablemente alto con respecto a la banda de 900 MHz, obligando a reinyectar la señal cada poca distancia. Teniendo esto en cuenta, se optó por trabajar con tecnología WLAN en la banda de frecuencia de 900MHz.

Mediante una adecuada planificación del espectro de frecuencia del cable radiante se pueden introducir diferentes servicios como lo son: telefonía móvil celular, radiotelefonía digital y en el caso de este proyecto el envío de datos en la banda de 900 MHz.

Otro factor determinante en el diseño fue la elección correcta de los equipos, la necesidad de que existiera compatibilidad entre los diferentes fabricantes y su adecuación a entornos móviles fueron factores importantes para su elección. El diseño de la red en los vagones consistió fundamentalmente en tres equipos: cámaras red, NVR y módems. Las cámaras de red son la base del diseño presentado, las mismas permiten una mejor calidad de video, acceso remoto a video en cualquier vagón, alarmas anti manipulación, entre otros. Los grabadores de videos en red se encargan de la interconexión de las cámaras y su grabación local en los vagones, y por último, los módems que son los encargados de la creación de la red Ethernet con los armarios de acceso.

Si bien el diseño propuesto se basa en video vigilancia en tiempo real, es importante destacar que en el Centro de Control de Operaciones no se monitorearan

simultáneamente todas las cámaras instaladas en los trenes ya que esto implica la necesidad de un ancho de banda muy elevado. El monitoreo de los vagones se realizara por programación de intervalos de tiempo desde el software de gestión instalado en las estaciones de trabajo del CCO, si se desea acceder a un vagón en un momento determinado se podrá visualizar el mismo mediante el mismo programa de gestión.

La implementación del diseño planteado supone una inversión que aporta una mejora considerable en los servicios que ofrece el Metro de Caracas a sus usuarios.

## **RECOMENDACIONES**

- Es importante evitar la existencia de equipos activos en el interior de los túneles.
- Si se desea expandir este diseño a un mayor número de trenes, es importante evitar configuración de módems continuos trabajando en el mismo canal, ya que esto puede ocasionar interferencias.
- Aprovechando el servicio brindado a través del cable radiante del Metro de Caracas por las compañías de telefonía celular, es posible realizar una modificación al diseño propuesto adaptando un modulo mini PCIe para tarjetas SIM a los NVRs, para de esta forma transmitir el video de los vagones a través de las redes 3G / 3.5G / 4G. Para conocer la factibilidad de este proyecto se deberían estudiar las velocidades de subida y el nivel de cobertura de las operadoras móviles para determinar si es posible una transmisión de video en tiempo real.
- En el caso de que coincidan dos trenes en la misma estación y en ambos se este transmitiendo video de vagones configurados en un mismo canal, el módem configurado como punto de acceso no tendrá la capacidad para

procesar las dos señales. Para solucionar este problema se han pensado dos soluciones: la primera sería bajar la calidad del video en los vagones de manera que el módem configurado como punto de acceso pueda procesar las dos señales de video. La segunda recomendación sería duplicar el número de módems como puntos de acceso para de esta manera garantizar la transmisión y procesamiento del video de los vagones que coincidan en una misma estación.

- En el caso del tramo abierto puede que existan interferencias proveniente de la operadora Digitel que trabaja en la banda de frecuencia de 900 Mhz, para este problema el módem utilizado ofrece la opción de configurar un piso de ruido que permite descartar las señales que posean una potencia menor a la configurada, logrando así descartar señales que puedan interferir con la transmisión del video.
- Es importante evitar todas las interferencias eléctricas que puedan afectar las señales de video en los vagones, por esta razón se recomienda realizar todas las interconexiones entre cámaras y equipos utilizando el cable de par trenzado blindado STP, el cual brinda una mayor protección en ambientes de alto ruido e interferencias electromagnéticas.
- Si en el futuro se desea implementar un servicio Wi Fi tanto en las estaciones como en los vagones del Metro de Caracas, el trabajo presentado sirve de base o apoyo, ya que la red diseñada es similar a una red Wi Fi. Asimismo, de implementarse el diseño presentado, no existiría ningún tipo de interferencias entre el sistema de video vigilancia y una red Wi Fi debido a su separación entre sus frecuencias de trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Española de Protección de Datos. (s.f.). *Guia de Videovigilancia*. Recuperado el 10 de septiembre de 2013, de Agencia Española de Protección de Datos:  
[http://www.agpd.es/portalwebAGPD/canaldocumentacion/publicaciones/common/pdfs/guia\\_videovigilancia.pdf](http://www.agpd.es/portalwebAGPD/canaldocumentacion/publicaciones/common/pdfs/guia_videovigilancia.pdf)
- Aguilar López, P., & Morante Fernández, M. (2010). *Tratamiento Informático de la Información*. Editex.
- Alcubilla, J. J. (2009). *Video Compresión*.
- Amador, M. G. (02 de Agosto de 2013). *Metología de la investigación*. Recuperado el 12 de Agosto de 2013, de [http://manuelgalan.blogspot.com/2012\\_08\\_26\\_archive.html](http://manuelgalan.blogspot.com/2012_08_26_archive.html)
- Axis, C. (2006). *Guia técnica del video IP*. Recuperado el 10 de Agosto de 2013, de Axis Communications:  
[http://www.axis.com/files/brochure/bc\\_techguide\\_47850\\_es\\_1305\\_lo.pdf](http://www.axis.com/files/brochure/bc_techguide_47850_es_1305_lo.pdf)
- Blake, R. (2004). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. Cengage Learning.
- Blanco Solsona, A., Huidobro Moya, J., & Jordán Calero, J. (2006). *Redes de área local: administración de sistemas informáticos*. Paraninfo.
- Bussmann, C. (2012). *945U-E Wireless Ethernet Modem User Manual*.
- Castillo, P. Á. (1999). *Codificación y transmisión robusta de señales de video MPEG-2 de caudal variable sobre redes de transmisión asíncrona ATM*. Madrid: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Figueiras, A. R. (2002). *Una panorámica de las telecomunicaciones*. Madrid: Prentice Hall.
- García M, F. J. (2010). *Videovigilancia: CCTV usando videos IP*. España: Vértice.
- Gormaz González, I. (2010). *Técnicas y Procesos en las Instalaciones Singulares en los Edificios*. Madrid: Parainfo.
- Hesselbach Serra, X., & Altés Bosch, J. (2002). *Análisis de redes y sistemas de comunicaciones*. Barcelona: Edicions UPC.
- Jardon, H., & Linares Miranda, R. (1995). *Sistemas de comunicaciones por fibra óptica*. México: Alfaomega.

- Lasluisa N, H. G., & Cachiguongo A, E. G. (2008). *Diseño de un sistema de video vigilancia IP inalámbrico con integración a la red existente en el campus de la escuela politécnica del ejército sede latacunga espe-l*. Latacunga-Ecuador.
- Luque Rodriguez, J., & Clavijo Suero, S. (1995). *Modulación de Señales Digitales*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Departamento de Electronica.
- Metro de Caracas C.A. (2010). *Propuesta para el uso de un sistema de cable radiante perteneciente a la C.A. Metro de Caracas, para la inserción de un hilo musical en los vagones de los trenes de su sistema de transporte*. Caracas.
- Mouteira, R. I. (2004). *Instalación de Equipos y Sistemas de Comunicación Radioeléctricos*. Ideas Propias.
- Paspual Narvaez, N. O. (2010). *Estudio Técnico para la implementación de cable radiante en espacios cerrados y como aplicación en el túnel Oswaldo Guayasamín para el uso del cuerpo de bomberos*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Pérez, E. H. (2003). *Tecnologías y redes de transmisión de datos*. Limusa.
- Prasad, R. (2004). *OFDM for Wireless Communication Systems*. Artech House.
- Prat Ayala, J. M. (Julio de 2010). Principios de Implementación de Proyectos WiFi con Cable Radiante. Ñuñoa, Sucre, Chile.
- Rodríguez Bravo, C. (2008). *Diseño de un sistema integrado de vigilancia y apoyo para trenes basado en tecnología IP*. Caracas: UCAB
- Vega, C. P. (2003). *Fundamentos de Television analogica y digital*. Universidad de Cantabria.
- Zannuy, M. F. (2000). *Tratamiento digital de voz e imagen y aplicación a la multimedia*. Marcombo.
- Zenitel. (2006). *Características del cable radiante y del cable poca perdida*. Caracas: Contrato MC 3613.
- Zenitel. (2006). *Instalación de los equipos del cable radiante*. Caracas: Contrato MC 3613.

• ANEXO A: CAMARA IP



HOJA DE DATOS

Serie de cámaras de red AXIS M31-R

Cámaras de red compactas y robustas para la videovigilancia móvil.



- > Diseño plano y robusto
- > Barrido progresivo y resolución megapixel HDTV
- > Secuencias H.264 y Motion JPEG múltiples
- > Instalación rápida y fiable
- > Alarma antimanipulación activa

Las cámaras de red AXIS M31-R de alto rendimiento están especialmente diseñadas para la videovigilancia en autobuses, trenes, vagones de metro y vehículos de emergencia.

Las discretas y robustas cámaras AXIS M31-R incluyen protección frente al polvo y el agua y pueden resistir las condiciones más duras, como vibraciones, choques, golpes y fluctuaciones de temperatura. Además, el sistema de alarma antimanipulación activa es capaz de detectar intentos de manipulación de la cámara, como bloqueos o pintura pulverizada.

La serie incluye las cámaras AXIS M3113-R con resolución SVGA y las cámaras AXIS M3114-R, que ofrecen una transmisión de video de 1 megapixel, así como HDTV 720p, a frecuencia de imagen máxima.

Las cámaras están especialmente adaptadas para responder rápidamente ante los cambios en los niveles de luz, lo que garantiza una alta calidad de imagen. El uso del barrido progresivo permite, además, a las cámaras mostrar objetos en movimiento sin distorsión.

Las cámaras AXIS M31-R pueden ofrecer múltiples secuencias H.264 y Motion JPEG de forma simultánea. La compresión H.264 optimiza en gran medida el ancho de banda y el almacenamiento sin comprometer la calidad de imagen.

Las cámaras están diseñadas para que puedan instalarse de forma fácil y fiable. Para alcanzar el campo de visión y el nivel de uniformidad de imagen deseados basta con emplear la herramienta de objetivo suministrada para orientar y rotar la junta esférica sobre la que se están colocados el objetivo y el sensor de imagen. La herramienta también se puede utilizar para intercambiar y enfocar el objetivo en aquellos casos en los que se precise un ángulo de visión diferente. Las cámaras incluyen un contador de píxeles, que permite verificar que la resolución de píxeles de un objeto cumpla los requisitos específicos aplicables. Estas cámaras pueden recibir alimentación a través de Ethernet, lo cual facilita aún más su instalación, ya que un solo cable es suficiente para la transmisión de corriente eléctrica y video.



# Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

www.axis.com

452115101-001

## Especificaciones técnicas – Serie de cámaras de red AXIS M31-R

Cámara		Integración del sistema	
<b>Modelos</b>	AXIS M3112-R: 5/DA, conector RJ-45 ruggedizado, lente 2.9 mm AXIS M3112-R M12: 5/DA, conector M12, lente 2.9 mm AXIS M3114-R: 1 MP, conector RJ-45 ruggedizado, lente 2.9 mm AXIS M3114-R M12: 1 MP, conector M12, lente 2.9 mm AXIS M3114-R M12 2 mcs: 1 MP, conector M12, lente 1.37 mm	<b>Interfaz de programación de aplicaciones</b>	API abierta para integración de software, con VAPI® y con la Plataforma de aplicaciones de cámara AXIS de Axis Communications, las especificaciones están disponibles en <a href="http://www.axis.com">www.axis.com</a> ONVIF, especificaciones en <a href="http://www.onvif.org">www.onvif.org</a> AXIS Video Hosting System (AVHS) en conexión a la cámara en un clic
<b>Sensor de imagen</b>	CMOS RGB de tamaño progresivo de 1/4"	<b>Video inteligente</b>	Detección de movimiento por video, alarma antimanipulación activa, AXIS Camera Application Platform
<b>Objetivo</b>	Montura M12, im. fija, resolución megapixel AXIS M3112-R/M12: 2.9 mm, visión <sup>1</sup> 60°, F2.0 AXIS M3114-R/M12: 2.9 mm, visión <sup>1</sup> 80°, F2.0 AXIS M3114-R M12 2 mcs: 1.37 mm, visión <sup>1</sup> 100°, F2.0 <sup>1</sup> Ángulo de visión horizontal	<b>Activadores de eventos</b>	Video inteligente
<b>Sensibilidad luminica</b>	AXIS M3112-R/M12, AXIS M3114-R/M12: 1-100000 lux, F2.0 AXIS M3114-R M12 2 mcs: 1-100000 lux, F2.0	<b>Acciones de eventos</b>	Carga de ficheros; FTP, http, recursos compartidos de red e e-mail; notificaciones e-mail, http y TCP; salida de activación externa; grabación de video a edge storage; memoria pre y post alarma
<b>Velocidad de obturación</b>	1/24 500 s a 1/6 s	<b>Flujo de datos</b>	Información de eventos
<b>Ajuste del ángulo de la cámara</b>	Horizontal ± 20°, vertical 0-90°, giro ± 180°	<b>Ayudas de instalación integradas</b>	Contador de píxeles
Video		General	
<b>Compresión de video</b>	H.264 (MPEG-4 Parte 10/AVC) Motion JPEG	<b>Carcasa</b>	Clasificación IP66, IP20, y NEMA 4X, carcasa de aluminio y policarbonato con resistencia a impactos IK08; membrana de humidificación; tornillos de sujeción; no diseñada para montar en el exterior de un vehículo
<b>Resoluciones</b>	AXIS M3112-R (todos los modelos): de 800 x 600 a 160 x 90 AXIS M3114-R (todos los modelos): de 1280 x 800 <sup>2</sup> a 160 x 90 <sup>2</sup> Resolución escalada 1440x1080 (1.2MP) vía VAPI®	<b>Memoria</b>	128 MB de RAM, 128 MB de Flash
<b>Velocidad de imagen</b>	30 imágenes por segundo en todas las resoluciones	<b>Alimentación</b>	Alimentación a través de Ethernet IEEE 802.3af, Clase 1, máx. 3.2 W
<b>Transmisión de video</b>	Múltiples secuencias configurables individualmente en H.264 y Motion JPEG Velocidad de imagen y ancho de banda controlables VBR/CBR H.264	<b>Conectores</b>	AXIS M31-R: RJ-45 hembra robusta 10BASE-T/100BASE-TX AXIS M31-R M12: Conector M12 hembra robusta, codificado D, con tuerca de acoplamiento giratoria. Todos los conectores son compatibles con alimentación a través de Ethernet
<b>Movimiento horizontal/vertical/zoom</b>	PTZ digital, posiciones predefinidas, zona de vigilancia	<b>Edge Storage</b>	Soporte de grabación en almacenamiento compartido (Network Attached Storage o servidor de ficheros)
<b>Ajustes de la imagen</b>	Compresión, color, brillo, ruido, contraste, balance de blancos, control y zonas de exposición, compensación de contrastes, rango dinámico amplio, contraste dinámico, configuración más precisa del comportamiento con poca luz, duplicación de imágenes Rotación: 0°, 90°, 180°, 270°, incluyendo Corridor Format Superposición de texto e imágenes, máscara de privacidad	<b>Condiciones de funcionamiento</b>	-25 °C a 50 °C Humedad 15 - 100% RH (condensación)
<b>Red</b>		<b>Homologaciones</b>	EN 55022 Clase B, EN 60950-22, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 55024, IEC60950 Clase B, FCC Parte 15 Subparte B Clase B, VCCI Clase B, ECE R10 rev.02 C-tick AS/NZS CISPR 22, EN 60950-1, EN 50171, IEC 60721-3-4 Clase AK3 (imagen de temperatura de -25 °C a 50 °C) EN 50155 Clase T2 (vibración, choques, golpes, temperatura) ISO 16750-2 (vibración), IEC 62282 Clase IK08 IEC 60529 IP67/IP69, NEMA 250 Type 4X AFNOR NF F16-101, E DIN 5570-2, UNI CEI 11170
<b>Seguridad</b>	Protección por contraseña, filtro de direcciones IP, cifrado HTTPS, control <sup>3</sup> de acceso a red IEEE 802.1X, autenticación Digest, registro de acceso de usuarios	<b>Peso</b>	250 g
<b>Protocolos compatibles</b>	IPv4/v6, HTTP, HTTPS, QoS Layer 2, DHCP, FTP, CFS/SMB, SMTP, Bonjour, UPnP, SNMP, IPv2/v6/MBE-III, DNS, Dynamic DNS, NTP, RTPSP, RTSP, UDP, IGMP, RTP, ICMP, DHCP, ARP, SOCKS	<b>Accesorios incluidos</b>	Herramienta de objetivo, kit de fijación a falso techo, plantilla de taladrado de orificios, adaptadores de montaje, guía de instalación, CD con software de instalación y gestión, decodificador Windows (1 licencia de usuario)

<sup>3</sup>Este producto incluye software desarrollado por OpenSSL Project para su uso en el kit de herramientas OpenSSL. ([www.openssl.org](http://www.openssl.org))

Encontrará más información en [www.axis.com](http://www.axis.com)

### Dimensiones

### Variantes de conector de la cámara

Conector RJ-45 hembra robusta

Conector M12 hembra robusta, codificado D, con tuerca de acoplamiento giratoria

### Accesorios incluidos

(consulte más detalles en la siguiente tabla)

Herramienta de objetivo y kit de fijación a falso techo	Adaptadores de montaje
Para lentes de 2.9 mm u opcionales	Para montaje del cable en superficie
Para 2 mm	Para superficies curvas

### Accesorios opcionales

Grabador de video en red AXIS G8108-R	Objetivos con montura M12 (no aplicable para la AXIS M3114-R M12 2mcs)	Conectores RJ-45/M12 (compatibles con los conectores de la cámara)
Monitor de instalación AXIS TB414	AXIS Camera Companion (incluido), AXIS Camera Station software de gestión de video de los Parques de Desarrollo de Aplicaciones Axis (no incluido). Para más información consultar <a href="http://www.axis.com/products/video/software">www.axis.com/products/video/software</a>	

©2012 Axis Communications AB. AXIS COMMUNICATIONS, AXIS, STAX, ARTPEC y VAPI son marcas comerciales registradas o solicitudes de registro de marca comercial de Axis AB en diferentes jurisdicciones. Todos los demás nombres de empresa, productos y denominaciones locales son marcas comerciales registradas de su respectivo titular. Nos reservamos el derecho de introducir modificaciones sin previo aviso.



[www.axis.com](http://www.axis.com)

- ANEXO B: NVR

## NViS 3542P4/3542P8 In-Vehicle Mobile NVR Surveillance System with Intel® Core™ i5/i7 Processor, 4/8 PoE ports



### Main Features

- Support Intel® Core™ i7/ i5 Socket Processor
- Mobile Intel® QM57 PCH
- Dual Intel® Gigabit Ethernet Ports
- Dual VGA/ DVI or VGA/ HDMI or DVI/ HDMI Display
- 3 x RS-232 and 1 x RS-232/422/485 with auto flow control
- On-board DC to DC Power Design to Support 9V to 30V DC Power Input
- Support ATX power mode and PXENVOL
- 4 x PoE ports (3542P4) / 8 x PoE ports (3542P8)
- Support 3G/ Wi-Fi/ GPS communications

### Product Overview

Utilizing 32nm Intel® Core™ i7/ i5 processor, NViS 3542P series features Intel® Turbo Boost and Intel® Hyper-Threading technologies (2 cores, 4 threads), as well as on-processor graphics and two DDR3 800/ 1066 memory modules up to 8GB. In addition, NViS 3542P series provide optional 4 or 8 PoE ports which support IEEE802.3af and allows up to 16.8W maximum per port, a wide variety of display I/O configurations and rich I/O interfaces including two Intel® GBE Ethernet ports, 5 x COM ports, 6 x USB, 8 x GPIO, 2 x SATAII, 2 x eSATA, audio interfaces. NViS 3542P is designed for a broad range of applications which demand intense graphics performance; these include medical diagnostic equipment.

### Specifications

#### Main Board

- On-board Mobile Intel® QM57 Platform Controller Hub
- Support Intel® Core™ i7-620M PGA processor (2.66GHz, 4M cache)
- Support Intel® Core™ i5-520M PGA processor (2.4GHz, 3M cache)

#### Main Memory

- 2 x 240-pin memory DIMM, up to 8GB DDR3 800/1066MHz SDRAM, un-buffered and non-ECC

#### I/O Interface-Front

- ATX power on/off switch
- HDD access/ power status LEDs
- Wireless active LEDs
- 2 x antenna holes
- 2 x USB2.0 ports
- 1 x Line-out and 1 x Mic-in
- 1 x HDMI
- 1 x External SIM card holder

#### I/O Interface-Rear

- 2-Pin remote power on/off switch (support power ignition module)
- 9-30V DC input
- 1 x PS/2 for keyboard/ mouse

- 1 x DB15 male connector for GPIO (4 x input and 4 x output)
- 1 x DB44 serial port for 4x RS232 (COM2: RS232/ 422/ 485 with auto flow control)
- 2 x GBE LAN ports
- 4 x USB2.0 ports
- 1 x DB15 VGA port
- 1 x DVI-D port
- 1 x Speaker-out and 1 x Mic-in
- 4-port PoE (IEEE802.3af-16.8W per port) NViS 3542P4
- 8-port PoE (IEEE802.3af-16.8W per port) NViS 3542P8

#### Storage

- 2 x 2.5" HDD driver bay (NViS 3542P4, support 1 x hot-swappable)
- 2 x 2.5" Internal HDD driver bay (NViS 3542P8)

#### Communication

- WAN: through mini-PCIe for optional 3G/ 3.5G/ GSM module
- WLAN: through mini-PCIe for optional Wi-Fi module (either one)
- GPS: through internal COM for GPS module

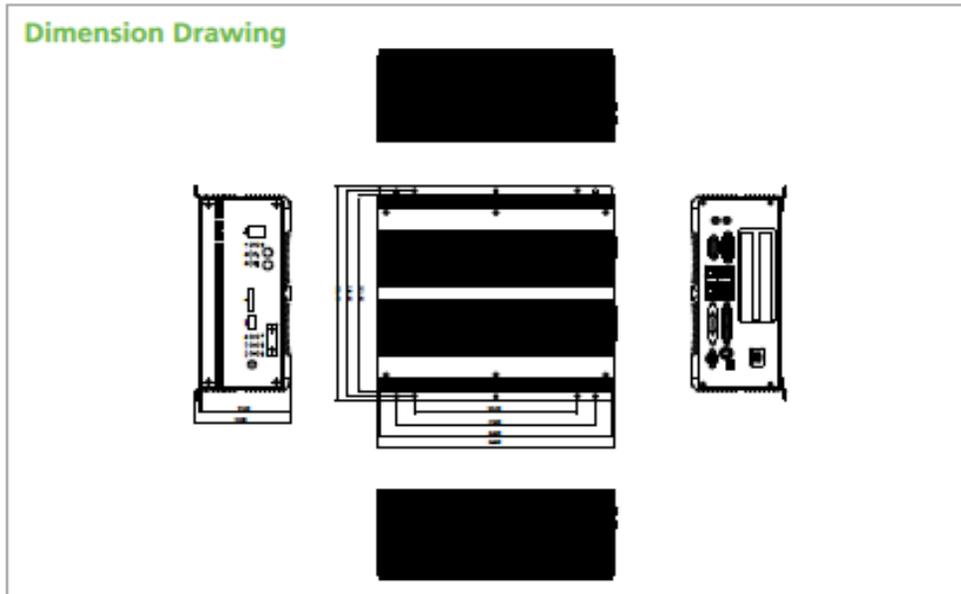
#### Expansion

- 1 x mini-PCIe socket for 3G/Wi-Fi (Depend on SKU# selected)

www.nexcom.com



### Dimension Drawing



#### Dimensions

- 235mm (W) x 268 mm (D) x 101mm (H)

#### Construction

- Aluminum chassis

#### Environment

- Operating temperature:
  - Ambient with air flow: -5°C – 55°C (according to IEC60068-2-1, IEC60068-2-2, IEC60068-2-14)
  - Storage temperature: -20°C – 80°C
- Relative humidity: 10% to 93% (non-condensing)
- Vibration (random): 2g@5–500 Hz with SSD;  
1g@5–500 Hz with HDD (in operation)
- Vibration: STD-810F-514.5 C3- Composite wheeled vehicle (SSD with vibration kit)

#### Certifications

- CE approval
- FCC Class A
- e13 Mark

### Ordering Information

- **NVIS 3542P4 (P/N: 10C00354201X0) RoHS Compliant**  
In-vehicle Mobile NVR surveillance system with Intel® Core™ i7/i5 and 4 PoE ports, WWAN supported
- **NVIS 3542P8 (P/N: 10C00354200X0) RoHS Compliant**  
In-vehicle Mobile NVR surveillance system with Intel® Core™ i7/i5 and 8 PoE ports, WWAN supported
- **NVIS 3542WP4 (P/N: 10C00354204X0) RoHS Compliant**  
In-vehicle Mobile NVR Surveillance System with Intel® Core™ i7/i5 and 4 PoE ports, WLAN supported
- **NVIS 3542WP8 (P/N: 10C00354203X0) RoHS Compliant**  
In-vehicle Mobile NVR Surveillance System with Intel® Core™ i7/i5 and 8 PoE ports, WLAN supported

#### Optional Accessories

- Anti-vibration kit (P/N: 88C00354002X0)
- 9–36V Power ignition module NISKIG120 (P/N: 10JKIG12000X0)

NEXCOM

We reserve the right to change specifications and product descriptions at any time without prior notice.

Video Intelligent Surveillance

Let update: 05/13/2012

[www.nexcom.com](http://www.nexcom.com)

• ANEXO C: MODEM



**945U-E Wireless Ethernet Modem**  
Long Range Wireless Ethernet for High-Speed and Reliable Connectivity



**Description**

The ELPRO 945U-E Wireless Ethernet Modem is a robust, license-free wireless transceiver capable of long range and high bandwidth communications. Operating at 900MHz and up to 1W, the 802.11 standards-based ELPRO 945U-E is optimized for throughputs of up to 54Mbps which provides robust and secure two-way wireless communications in challenging outdoor environments typical of industrial monitoring and control applications.

Capable of operating in Access Point/Client configuration, functioning as a network Bridge/Router, or serving as a Serial Server (RS232/485), the ELPRO 945U-E offers node to node deterministic mesh network repeatability for further range and multiple channel spacing options to increase network scalability. Integrated Modbus server capability allows seamless I/O expansion through the use of ELPRO 115S Expansion modules.

**Features**

- 902 – 928MHz Frequency and 250 – 630mW (up to 1W for -H) RF Power
- 802.11 DSSS to 54Mbps Data Throughput
- 1.25/2.5/5/10/20MHz Channel Spacing Options
- Transmit and Receive Antenna Diversity
- Access Point/Client and Bridge/Router Configuration
- Serial Client/Server/Multicast Modbus TCP to RTU Gateway
- 10/100baseT IEEE 802.3 Ethernet
- Spanning Tree (Self Healing) Support
- Deterministic AP to AP Mesh Network Repeatability
- AP to AP Fast Roaming for Movable Machinery
- IEEE 802.11i Secure 128bit AES Encryption (WPA2)
- MAC and IP Address Filtering
- Digital I/O Channel Transfer
- Configurable Settings for High Noise Environments
- Over-The-Air Network Diagnostics and Configuration
- VLAN Tagging Supported for Bridging and Routing Modes

**Applications**

- Remote Well Head Monitoring
- Pipeline Leak Detection
- Mining Operations Infrastructure
- Water Treatment Facilities
- Video Surveillance and Security
- Facilities Management
- Automated Vehicle Control
- Tank Farm Monitoring
- Networking Wind Turbines
- Solar Collectors

Specifications	
<b>Transmitter/Receiver</b>	
Frequency	902 – 928MHz <sup>1)</sup> 915 – 928MHz <sup>2)</sup>
Transmit Power	250mW (+24dBm) to 1W (+30dBm)
Transmission	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
Modulation	802.11g Orthogonal Frequency Data Modulation (OFDM)
Receiver Sensitivity	-95dBm @ 0.25Mbps - 71dBm @ 54Mbps (8% FER)
Channel Spacing	9 x 1.25MHz; 9 x 2.5MHz; 4 x 5MHz; 4 x 10MHz; 2 x 20MHz
Data Rate	1 – 54Mbps <sup>3)</sup> 0.25 – 27Mbps <sup>4)</sup> *Auto Mode* Selects Fastest Rate Possible Relative to RSSI
Range (LoS)	30Km (18mi) @ 1W <sup>5)</sup>
Antenna Connector	2 x Female SMA Standard Polarity <sup>6)</sup> Use CSO-SMA-2500 Surge Diverter
<b>Input/Output</b>	
Discrete I/O	Input Voltage-Free Contact <sup>6)</sup> Output FET 30Vdc/500mA <sup>6)</sup>
<b>Ethernet Port</b>	
Ethernet Port	10/100baseT; RJ45 Connector – IEEE 802.3
Link Activity	Link, 100baseT via LED
<b>Serial Port</b>	
RS232	DB9 Female DCE; RTS/CTS/DTR/DSD
RS485	2-Pin Terminal Block – Non-Isolated <sup>6)</sup>
Data Rate (Bps)	1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 76800, 115200, 230400
Serial Settings	7.5 Data Bits; Stop/Start/Parity (Configurable)
<p><b>Note:</b> Specifications subject to change.</p> <p>1) Configured for US 2) Configured for Australia, Brazil 3) Typical Maximum Line of Sight Range 4) Supports Signal Diversity or High Gain Antenna 5) Can be used to Transfer I/O Status or Communications Failure Output 6) Maximum Distance 1200m (8037')</p>	
Continued on back.	

©2012 Cooper Bussmann  
www.cooperbussmann.com/wireless

## 945U-E Wireless Ethernet Modem

### Long Range Wireless Ethernet for High-Speed and Reliable Connectivity

Specifications	
<b>Protocols and Configuration</b>	
System Address	ESSID; 1 – 31 Character Text String
Protocols supported	TCP/IP, UDP, ARP, SNMP, RADIUS/802.1x, DHCP, DNS, PPP, ICMP, HTTP, FTP, TFTP, TELNET, MODBUS and MODBUS-TCP
User Configuration	User Configurable Parameters via HTTPS Embedded Web Server
Configurable Parameters	Access Point/Client/Bridge/Rotator/VLAN Point-to-Point, Point-to-Multi-point Wireless Distribution System (AP - AP Repeater) Modbus TCP/RTU Gateway Serial Client/Server/Multicast Simultaneous RS232/485 Connection Embedded Modbus Master/Slave for I/O Transfer
Security	Data Encryption – 802.11i with CCMP 128-bit AES Support for 802.1x Radius Server Secure HTTP Protocol
Bandwidth Protection	MAC Address – Whitelist/Blacklist IP Filtering – Whitelist/Blacklist ARP/GARP Filtering – Whitelist/Blacklist
<b>LED Indication</b>	
LED Indication	Power/OK; RX; TX/Link; Link/100bit; RS232; LAN; RS485; Digital I/O Status
Reported Diagnostics	RSSI Measurements (dBm) Connectivity Information/Statistics System Log File
Network Management	Optional Network Management System
<b>Compliance</b>	
EMC	FCC Part 15; EN 301 489 – 17; AS/NZS CISPR22
RF (Radio)	EN 300 328; FCC Part 15; RSS 210
Hazardous Area <sup>1)</sup>	CSA Class I, Division 2; ATEX; IECEx NA IIC
Safety	IEC 60950 (RoHS Compliant)
UL	UL Listed
<b>General</b>	
Size	114 x 168 x 30mm (4.5" x 6.7" x 1.2")
Housing	Powder-Coated Aluminum
Mounting	DIN Rail
Terminal Blocks	Removable; Max Conductor 12AWG (2.5 mm <sup>2</sup> )
Temperature Rating	-40 to +60°C; -40 to +140°F
Humidity Rating	0 – 99% RH Non-condensing
Weight	0.5kg (1.1lb)
<b>Power Supply</b>	
Nominal Supply	9 to 30Vdc; Under/Over Voltage Protection
Average Current Draw	300mA @ 12V (idle); 160mA @ 24V (idle)
Transmit Current Draw	500mA @ 12V (+30dBm); 250mA @ 24V (+30dBm)
<b>Note:</b> Specifications subject to change. 1) Certifications pending for 945U-E-H (YW).	

#### Ordering

To order, select product code from the table and specify country of application.

Product Code	Description	Frequency	RF Power
945U-E	Ethernet 802.11g, 900MHz High Speed	902 – 928MHz DSSS	630mW
945U-E-H	Ethernet 802.11g, 900MHz High Speed	902 – 928MHz DSSS	1W

**Note:** Available RF power and frequency may vary depending on country of application.

#### Accessories

The following accessories can assist with compatibility when commissioning.

Product Code	Description	Data Sheet #
<b>Antennas - 900MHz</b>		
D6900	Whip Antenna - SMA Male, Angle Bracket, -2dBi gain, 1m (3') or 5m (16.4') Coaxial Cable	79372
WH900	Whip Antenna - SMA Male, -2dBi gain	79374
CPD690EL	Dipole Antenna - SMA Male, Mounting Bracket, 2dBi gain, 5m (16') Coaxial Cable	79373
SG900EL	Collinear Antenna - N-type Female, 5dBi gain	79380
SG900-6	Collinear Antenna - N-type Female, 8dBi gain	79379
YU6-900	Yagi Antenna - N-type Female, 9dBi gain	79376
YU16-900	Yagi Antenna - N-type Female, 15dBi gain	79378
<b>Cables</b>		
CC310/20-SMA	Coaxial Cable Kit - 3m (9.8')/10m (32')/20m (65'), N-type to SMA Male	79332 79347 79348
CC1M-SMA-F/M	Coaxial Cable Tail - 600mm (24"), SMA to N-type Female or Male	79351
ETH-CSX	Ethernet Cable - 1.8m (6'), Crossover, RJ45 to RJ45	79353
ETH-CSA	Ethernet Cable - 1.8m (6'), Direct, RJ45 to RJ45	79352
SER-DB9	Serial RS232 Cable - DB9 Male to DB9 Female Straight Through	79355
SER-RJ45	Configuration Cable - RS232 Serial, DB9 Female to RJ45	79356
<b>Surge Diverters</b>		
CSD-SMA-2500	SMA Surge Divertor for use with CC10/CC20-SMA	79359
CSD-N-6000	Coaxial Surge Divertor - Bulkhead N Female to N Female	79360
MA15/0P1/SI	Power Supply Surge Divertor - 110Vac/15A	79336
IDP320	Signal Surge Divertor, 2 x 2-wire/1 x 4-wire	79361
<b>Power Supplies</b>		
PS-DIN-C-DC-OK	DIN Rail Power Supply - 100 - 250Vac, 12Vdc/2.5A	79335
PS-DIN-C-24DC-OK	DIN Rail Power Supply - 100 - 250Vac, 24Vdc/2A	79358
PSG60E	DIN Rail Power Supply - 65 - 264Vac, 24Vdc/2.5A	10140
<b>Mounting Brackets</b>		
BR-COL-KIT	Mounting Bracket Kit for Collinear Antenna	79333
BR-YAGI-KIT	Mounting Bracket Kit for Yagi Antenna	79357

The only controlled copy of this Data Sheet is the electronic, read-only version located on the Cooper Bussmann Network Drive. All other copies of this document are by definition uncontrolled. This bulletin is intended to clearly present comprehensive product data and provide technical information that will help the end user with design applications. Cooper Bussmann reserves the right, without notice, to change design or construction of any products and to discontinue or limit distribution of any products. Cooper Bussmann also reserves the right to change or update, without notice, any technical information contained in this bulletin. Once a product has been selected, it should be tested by the user in all possible applications.

© 2012 Cooper Bussmann  
www.cooperbussmann.com/wireless

• ANEXO D: AMPLIFICADOR



HyperLink Wireless brand 900 MHz 5 Watt Bi-Directional OFDM Indoor RF Amplifier with Active Power Control Model: HA905I-DM

**Features**

---

- Compatible with High Data Rate OFDM Radios
- Active Power Control
- Transmit and Receive LEDs
- Machined Aluminum Construction
- 12VDC Power Supply Included



**Description**

---

**HyperAmp® HA905I-DM** series RF amplifiers are compatible with 900 MHz wireless LANs. The HA905I-DM series amplifiers are designed to be compatible with high data rate radios utilizing Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) modulation in the 900 MHz band. Hyperlink's Active Power Control circuit automatically adjusts the amplifier's gain to provide a constant output power regardless of cable length, radio transmit power, temperature shifts or equipment aging.

The HyperAmp® HA905I-DM series improves range by delivering full transmit power and receive gain directly at the antenna where it is most effective. This gain compensates for cable losses and actually increases the receive sensitivity of most wireless LAN radios. The unit can be configured to deliver the full transmit power with as little as 5 mW of input power, permitting cable runs of several hundred feet with no degradation in operating range.

Designed to be installed indoors or in a weather-resistant enclosure such as the HyperLink NEMA enclosure, the HA905I-DM series feature rugged machined aluminum housings. The indoor series amplifiers include a Power Supply.

**Product Availability**

Amplifier products are available for export, military, licensed amateur radio (ham radio) and OEM component sales only and as part of complete FCC Certified Systems. Individual RF amplifier products are not offered for sale in the USA.

**Note:**

This Hyperlink bi-directional amplifier is designed for burst half-duplex operation. It is not intended for constant transmit, CW or high duty cycle operation. Operation of the amplifier in CW or high duty cycle modes will damage the amplifier and void the warranty.

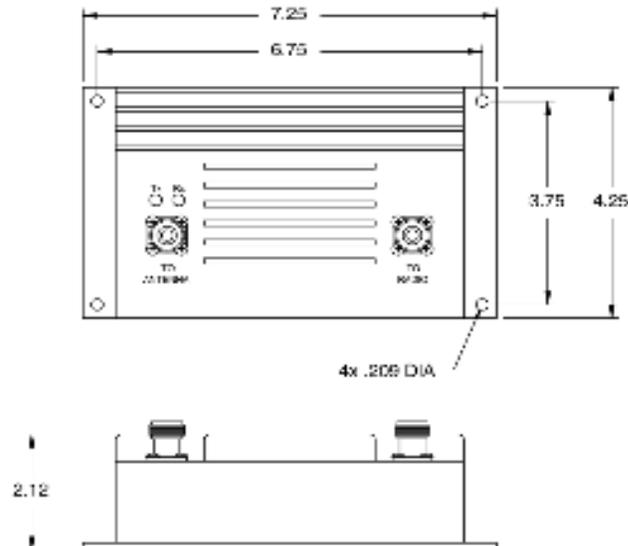
# Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.



www.L-com.com

## Specifications

<b>Transmit Power</b>	5 Watt (37 dBm)
<b>Frequency</b>	902 - 928 MHz
<b>Receive Gain</b>	15 dB
<b>Max. Input Power</b>	100 mW (20 dBm) (Call for higher input levels)
<b>Operating Mode</b>	Bi-directional, half-duplex Time Division Duplex. Senses RF carrier from transmitter and automatically switches from receive to transmit mode
<b>Water Resistant Rating (Outdoor Models)</b>	IEC 60529 IPX7
<b>Current Draw</b>	4.5A Peak Tx and 0.12A Peak Rx
<b>Supply Voltage</b>	12VDC -1.5V / +1V
<b>Operating Temperature</b>	-40°C to 50°C (-40°F to 122°F)
<b>Dimensions</b>	7.25" x 4.25" x 2.12" (184 x 108 x 54 mm)
<b>Weight</b>	1.7 lbs. (.77 kg)
Note: When contacting HyperLink about purchasing a 900 MHz series amplifier, please be sure to have the radio manufacturer and model number that will be use with the amplifier.	



### FCC Certification Support for OEMs

HyperLink offers full certification assistance services and engineering support for qualifying OEM's interested in certifying complete amplified WLAN systems. Please contact us for details.

### Guaranteed Quality

HyperAmp® is designed and manufactured in the U.S.A. and is backed by L-com's Limited Warranty.

L-COM, INC. 45 BEECHWOOD DRIVE NORTH ANDOVER, MA 01845  
 WWW.L-COM.COM E-MAIL: SALES@L-COM.COM PHONE: 1-800-343-1488 FAX: 1-978-688-0484  
 © L-com, Inc. All Rights Reserved. L-com Global Connectivity and the L-com logo are registered marks.

<http://www.l-com.com/>

- ANEXO E: ANTENA VAGON



www.L-com.com

### HyperLink 2.4 GHz / 900 MHz Dual Band 3 dBi Magnetic Vehicle Mount Omnidirectional Wireless LAN Antenna - Model: HG2403MGU

#### Applications and Features

---

- Applications:**
- 802.11b, 802.11g and Bluetooth® compatible (2.4 GHz Band)
  - ISM, GSM, RFID, 900 MHz Cellular compatible (900 MHz Band)
  - 2.4 GHz and 900 MHz Wireless Video Systems
  - Multipoint and Mobile Applications

- Features:**
- Superior performance
  - Compact size
  - Can be used with 2.4 GHz and 900 MHz systems
  - Magnetic base with 10 ft. high performance low-loss 195-series cable
  - Weather-Proof
  - Fixed mounts available
  - RoHS Compliant



#### Description

---

##### Antenna Kit Application

This very compact yet high performance Dual Band mobile WiFi antenna is ideally suited for multipoint mobile applications including service vehicles, public transportation, law enforcement, mining and construction vehicles, as well as numerous other commercial and industrial applications where mobility and wide coverage is desired. The Dual-Band design of this antenna eliminates the need to purchase different antennas for each frequency. In the 2.4 GHz ISM band, it is ideally suited for ISM, IEEE 802.11b and 802.11g wireless LANs, Bluetooth® and other WLAN applications where omni-directional coverage and low visibility are desired. In the 900 MHz band, this antenna is ideally suited for ISM, GSM and RFID applications as well as 900MHz wireless LAN and Cellular systems.

##### Rugged and Weatherproof

This compact antenna features a standard TAD/NMO Motorola-type mobile base coupled with a magnetic mounting system and 10 feet of high performance low-loss 195-Series cable terminated with an N-Female or N-Male connector. A fixed mount is also available for permanent installation through the roof or other vehicle surface.

**Specifications**

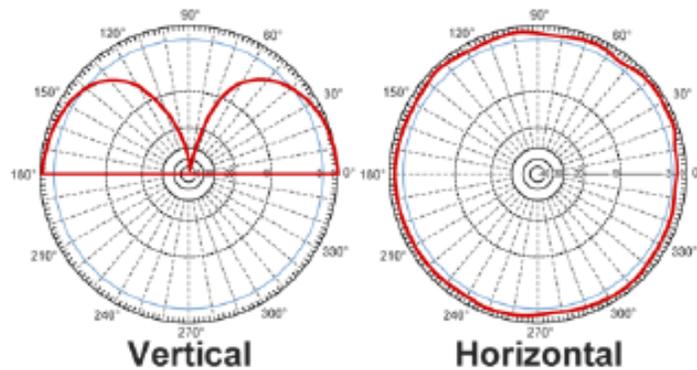
**Antenna Electrical Specifications**

Frequency Ranges	2400-2500 MHz 900-960 MHz
Gain	3 dBi
Impedance	50 Ohm
VSWR	1:1.5 max
Maximum Input Power	50 W

**Antenna Mechanical Specifications**

Weight	< 0.5 lbs. (.23 kg) with base
Length	3" (76.2 mm) including base
Base Diameter	3 in. (76.2 mm)
Finish	Black UV Powdercoat
Mounting	Magnetic (or fixed option)
Polarization	Vertical
Operating Temperature	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)
RoHS Compliant	Yes
Wind Survival	> 200 MPH

**Antenna Gain Pattern**



**Guaranteed Quality**

This product is backed by L-Com's Limited Warranty

L-COM, INC. 45 BEECHWOOD DRIVE NORTH ANDOVER, MA 01845  
 WWW.L-COM.COM E-MAIL: SALES@L-COM.COM PHONE: 1-800-363-1455 FAX: 1-978-889-0484  
 © L-com, Inc. All Rights Reserved. L-com Global Connectivity and the L-com logo are registered marks.

[www.L-COM.com](http://www.L-COM.com)

• ANEXO F: SOFTWARE DE GESTION



**e-netcamCLIENT 7**

Concebido para instalaciones que requieren de un sistema muy avanzado tecnológicamente, ha sido desarrollado con funcionalidades innovadoras para aquellos entornos en los que se necesita una gestión minuciosa de los sistemas de seguridad y video vigilancia.

**Funcionalidades**

- Visualización en directo de cámaras
- Grabación
- Reproducción de grabaciones
- Planificación de tareas
- Monitorización constante del sistema
- Grabación en dispositivos removibles
- Recepción de alarmas y activación de cámaras, codificadores de vídeo y dispositivos Net-IMDC

**Solución profesional de gestión de vídeo IP**



**Nuevas Funcionalidades Versión 7:**

- Timeline de grabaciones
- Servidor de streaming de vídeo (stream dispatcher)
- Detección de movimiento multiperfil
- Ampliación de eventos y actuaciones (mensajes TCP, scripting, batch processing, etc.)
- Nueva cámara virtual; transcoded camera y función de persecución
- Privilegios de usuario por objeto

**Escalabilidad e integración con arquitectura de IProNet**

El sistema puede ir creciendo según las demandas de la instalación añadiendo nuevas cámaras, encoders, módulos y aplicaciones.

**Compatible con:**

- e-netcam VIBWER 7 y corporateVIBWER 7
- Net2Monitor y Net2Wall
- e-netcam SDK 's
- Gama de "Aplicaciones y Complementos" de IProNet



LIDERANDO EL VÍDEO IP



## Solución profesional de gestión de vídeo IP



### Compatibilidad:

Acti, Arecont, Axis, Bosch, Canon, Cisco, D-Link, Honeywell, Mobotix, Panasonic, Pelco, Planet, Samsung, Sony, Vivotek, etc.

### Visualización y grabaciones:

- Soporte MJPEG, MPEG-4 y H.264
- Audio bidireccional
- Video rondas y salvos de geometría configurable
- Representación en mapas y planos
- Perfiles de conexión
- Control de cámaras PTZ y soporte para joysticks profesionales
- Zoom digital hasta 12x en vídeo en vivo o grabado
- Grabaciones bajo demanda o por calendarios/horarios
- Grabación continua y/o por detección de movimiento
- Alarmas: Pre y Post alarmas configurables
- Grabaciones controladas por eventos
- Almacenamiento estándar (disco duro, NAS, memorias flash, etc.)
- Función de persecución entre cámaras
- Marca de agua
- Acceso a través del móvil
- Acceso web

### Gestión de grabaciones:

- Interfaz de visualización gráfica según tipo de grabaciones (time line de grabaciones)
- Múltiples criterios de búsqueda (fecha/hora, cámara, tipo, marcas de texto)
- Reproducción sincronizada de grabaciones
- Fragmentación de grabaciones para acotar incidencias
- Búsqueda de movimiento en vídeo grabado (umbral de sensibilidad configurable)
- Exportación de fotogramas JPEG o secuencia de grabaciones en formato propietario o estándar (.avi)
- Proceso de borrado cíclico o por períodos de caducidad
- Archiving de grabaciones caducadas
- Player autónomo para la reproducción sin licencia de grabaciones

### Flexibilidad y escalabilidad sin límites

- Desde 1 hasta "n" cámaras
- Gestión de usuarios y privilegios configurables por cámara, grupo o grabación

### Manipulación de vídeo/gestión de flujos de vídeo/tratamiento del vídeo

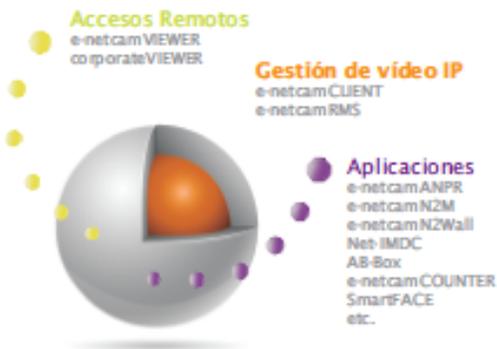
- Ecuilibración de imágenes para condiciones meteorológicas adversas (licencia adicional)
- Fusión de vídeo en matrices virtuales
- Overlays dinámicos
- Cámaras sintéticas
- Transmisión de cámaras recodificadas (transcoded camera)
- Gestión de streaming de vídeo (stream dispatcher) para servir múltiples usos/destinos con una única conexión a la cámara

### Protocolo de actuación

- Aviso sonoro y visual de alarmas (pop-ups de vídeo o texto)
- Envío de SMS y llamadas telefónicas
- Control, detección y activación de E/S digitales de cámaras, encoders y/o Net-IMDC (barraeras, sensores, magnéticos, luces, etc.)
- Protocolo Contact ID para Centrales Receptoras de Alarma
- Interpretación de mensajes TCP de cámaras y encoders
- Ejecución de scripts, lotes de procesos y ejecutables
- Múltiples perfiles de detección de movimiento por cámara
- Log de eventos
- Supervisión del estado de la instalación

### Idiomas

- Español, inglés, italiano, portugués y francés



e-netcamCLIENT7 PART NUMBER: 09020107

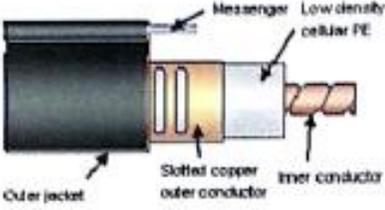
Soluciones paquetizadas disponibles,  
más información: [www.ipronet.es](http://www.ipronet.es)

IPronet Sistemas, S.A.  
TLF. +34 902 889 942 - [info@ipronet.es](mailto:info@ipronet.es)

<http://ipronet.es/>

• ANEXO G: CARACTERISTICAS CABLE RADIANTE

**Reference suffix <sup>(1)</sup> : -HLFR**

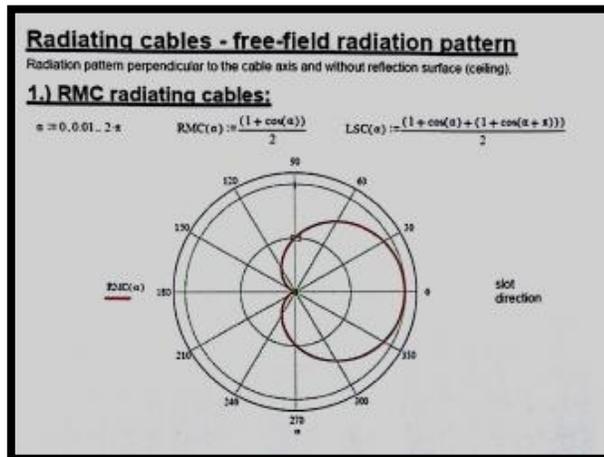


**Fire behaviour**

Halogen free and flame retardant outer sheath  
 Low corrosive gas emission acc. to IEC 60754-2  
 Flame retardant acc. to IEC 60332-1 and IEC 60332-3 cat. C  
 Low smoke emission acc. to IEC 61034<sup>(2)</sup>

**TECHNICAL FEATURES**

• Size		1.5/8"
• Previous Model Number		F 5438C8RM-HLFR / F 5438RC8RM-HLFR (with Mica)
• Frequency Range	MHz	30 - 2500
• Recommended for Frequency	MHz	1800 and 2200
• Cable Type		RMC (Radiated Mode Cable)
• Jacket		HLFR (Halogen free Low Smoke Flame Retardant)
• Slot Design		Groups of Slots at short Intervals
• Impedance	Ω	50 +/- 2
• Velocity Ratio	%	88
• Capacitance	pF/m	76
• Inner Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	1.40 (0.43)
• Outer Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	0.85 (0.26)
• Inner Conductor Material		Corrugated copper tube
• Dielectric Material		Cellular polyethylene
• Outer Conductor Material		Overlapping copper foil, with slot groups, bonded to the jacket



Diseño de un Sistema de Video Vigilancia entre Vagones y Centro de Control de Operaciones del Metro de Caracas.

FRAMECA - Contrato MC 3613 Documento N° SRT-EDF-002305

• Diameter Inner Conductor	mm (in)	17.3 (0.68)		
• Diameter Dielectric	mm (in)	43.0 (1.69)		
• Diameter over Jacket	mm (in)	48.0 (1.89)		
• Minimum Bending Radius, Single Bend	mm (in)	500 (19.7)		
• Cable Weight	kg/m (lb/ft)	1.510 (1.01) HLFR / 1.550 (1.04) HLFR/M		
• Tensile Strength	daN (lb)	200 (441)		
• Indication of Slot Alignment		Opposite of messenger		
• Storage Temperature	°C (°F)	-70 to +85 (-94 to +185)		
• Installation Temperature	°C (°F)	-25 to +60 (-13 to +140)		
• Operation Temperature	°C (°F)	-40 to +85 (-40 to +185)		
• Material of Messenger		Galvanized steel		
• Construction of Messenger	mm (in)	7 x 2.6 (7 x 0.1)		
• Diameter over Messenger Jacket	mm (in)	14 (0.55)		
• Maximum Pole Spacing	m (ft)	20 (66)		
• Breaking Strength of Messenger	daN (lb)	4800 (10582)		
• Longitudinal Loss and Coupling Loss <sup>1</sup>				
	Frequency	Longitudinal Loss	Coupling Loss	
		dB/100 m (dB/100 ft)	C50%	C95%
	75 MHz	0.65 (0.20)	64	76
	150 MHz	0.87 (0.27)	72	83
	225 MHz	1.04 (0.32)	63	66
	450 MHz	1.48 (0.45)	66	70
	900 MHz	2.33 (0.71)	64	69
	1800 MHz	4.77 (1.45)	58	65
	1900 MHz	5.24 (1.60)	58	65
	2200 MHz	7.13 (2.17)	56	64
	2400 MHz	8.95 (2.73)	56	64
• Resonant Frequencies	MHz	184, 552, 920 ±5, 1288, 1656, 2024, 2392		
• Clamp Spacing Recommended / Maximum	m (ft)	N.A.		
• Distance to Wall Recommended / Minimum	mm (in)	80 - 180 (3.15 - 7.00) / 50 (1.96)		

<sup>1</sup> Must be specified in case of order - shielded PE jacket available on request.  
<sup>2</sup> The snake density test is performed based on the IEC 61034. Considering the usual application of radiating cables, the test is done with one sample (>7.6').  
<sup>3</sup> Measured in tunnel according to IEC 61196-4 - Ground Level Method.  
 Distance = 2m. C50 & (C95) are the average coupling losses with 50% (95%) probability calculated in accordance with the standard.

The above stated values are nominal values and subject to manufacturing tolerance.

As with any radiating cable, the performance in building or tunnel may deviate from figures measured according to the IEC 61196-4 standard.

Coupling loss measurements taken in accordance with IEC 61196-4 - Free Space Method are available on request

Metro de Caracas C.A