

# CÁLCULO DE LA COBERTURA DE UN CANAL DE TELEVISIÓN DIGITAL EN LOS MUNICIPIOS DE CHOACHÍ, UBAQUE Y FÓMEQUE CUNDINAMARCA

Diego Fernando Puentes Rojas

**Resumen** -- Los sistemas inalámbricos son muy utilizados en la actualidad a los ya conocidos sistemas de telefonía móvil, se unen las redes de datos inalámbricas, la televisión digital terrestre o los radioenlaces punto a punto. Para el correcto funcionamiento de estos sistemas resulta importante un diseño adecuado del radioenlace.

El diseño de radioenlaces involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o atenuaciones que las ondas sufren al momento de la propagación radioeléctrica, entre otras. En este proyecto de grado se recoge todo el material técnico que se necesita para el diseño práctico de radioenlaces, en este caso en particular se tendrán en cuenta las recomendaciones que hace la entidad reguladora de televisión de Colombia, la comisión nacional de televisión CNTV.

**Palabras claves**— COFDM, DVB-T, Fourier, Fresnel, ITM, Longley-Rice, PIRE, SRTM-DTED.

## I. INTRODUCCION

Para nadie es indiferente el hecho de que el terreno colombiano tiene condiciones orográficas que dificultan el establecimiento de sistemas de comunicación de alta confiabilidad, por esto surge un problema, poder predecir el comportamiento de estos sistemas ya en funcionamiento, escoger y limitar coberturas aplicando modelos de predicción de la propagación que requieren de información topográfica y exigen cálculos manuales.

Para brindar una visión extensa y precisa de las condiciones geográficas de la zona en estudio, reducir tiempos de diseño en radioenlaces y evaluar parámetros para la ruta mas optima, todos los problemas se reducen a la propagación de ondas electromagnéticas y la influencia que tiene el medio sobre el comportamiento de las ondas en el espacio, para ello se utilizan cálculos que son imperativos pero no necesarios al optar por una topografía digital, se cuentan con programas como Radio Mobile que utilizan topografía digital y de esta manera se eliminan ciertas dificultades de planificación.

La aceptación de la creciente importancia de la televisión local en el proceso de evolución tecnológica y de apertura que vive

nuestro país genera la necesidad de una televisión local en las diferentes regiones. Estos sistemas son plataformas abiertas para toda la sociedad sin discriminación sexual, política o religiosa, resultan indispensables para promover el diálogo social, la cultura de paz, y el desarrollo socioeconómico.

Una de las etapas que forma parte en la implementación de un canal de televisión es la de transmisión, el objetivo principal de dicha etapa es predecir la cobertura de terreno, es un asunto complejo que involucra factores como potencia, altura de antena, condiciones del terreno, ruidos atmosféricos etc. Este trabajo describe el diseño de la cobertura de un canal de televisión regional en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca.

## II. OBJETIVOS

Calcular y simular la cobertura de un canal de televisión digital en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca.

### A. *Objetivos específicos*

- Recopilar información acerca de la tecnología de televisión digital.
- Realizar un estudio de la zona de trabajo en la cual se va a realizar la simulación de la cobertura del canal de televisión digital.
- Seleccionar los equipos apropiados a utilizar en la zona previamente seleccionada para garantizar la cobertura y calidad de servicio.
- Realizar los cálculos para determinar la potencia de transmisión y que ganancia de antena se debe utilizar.
- Realizar la simulación de la cobertura de un canal de televisión digital en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca, utilizando el software de libre distribución de simulación de radio enlaces Radio Mobile.

## III. CONTENIDO

### A. *Marco Teórico*

Colombia adopto el estándar de televisión ETS 300 744, transmisión de video digital terrestre DVB-T (Digital Video

Broadcast – Terrestrial por sus siglas en ingles), este estándar es muy similar al estadounidense aunque las diferencias son significativas e importantes, este estándar fue originalmente diseñado para canales de 8MHz (aplicable también a 6 y 7 MHz), este sistema fue designado para entregar información digital en los rangos desde 4.98 a 31.67 Mb/s. en donde se utiliza la modulación tipo multiportadora la cual puede ser modulada por QPSK o diferentes niveles de QAM.

En la capa de transporte tiene muchas similitudes con la norma ATSC y codificación de canales, pero en la modulación si hay una diferencia significativa, en DVB-T se usa la codificación ortogonal de división de frecuencia multiplexada (COFDM por sus siglas en ingles)

La compresión de video se realiza en MPEG-2 MP@ML (Main Profile at Main Level), utilizando un muestreo de 4:2:0, con 8 bits de resolución y utilizando los tres tipos de frames I, P, B compatible con los formatos:

- LDTV (Low Definition Television) 288P
- SDTV (Standard Definition Television) 576i
- EDTV (Enhanced Definition Television) 576P
- HDTV (High Definition Television) 720P
- HDTV (High Definition Television) 1080i

La compresión de audio se da en MPEG Layer II (Musicam), en el cual se enmascara un elemento de sonido sobre otro cercano de bajo nivel, así se descartan los sonidos que no serian audibles ni estando presentes, puede manejar audio mono, estéreo o surround.

Maneja ratas de bits desde 32 a 384Mbps y se incorporo últimamente el sonido Dolby AC-3.

### B. Modulación COFDM

Para conseguir la modulación OFDM los datos de entrada se “mapean” en símbolos OFDM, lo que significa que modulan a cada una las subportadoras individuales. Esta modulación puede ser de diferentes tipos, pero en el sistema DVB-T las constelaciones contempladas son 4QAM, 16QAM y 64QAM que se ilustran en la siguiente figura.

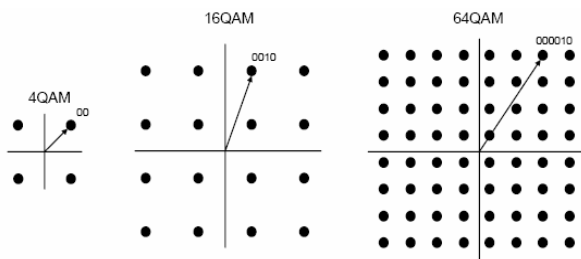


Fig 1. Constelaciones QAM

Dependiendo de la constelación utilizada, cada subportadora transportará 2, 4 u 8 bits de información. Cada punto de la constelación se puede representar por un número complejo. Así, la primera etapa en el proceso de modulación OFDM es el de mapear los grupos de 2, 4 u 8 bits en las componentes real e imaginaria que corresponden al número complejo en la constelación.

Estos números complejos corresponden a una representación en el dominio de la frecuencia y para trasladarlos al dominio del tiempo es necesario aplicar la transformada inversa de Fourier. Estos dos procesos, el mapeo del flujo binario de entrada en símbolos complejos de la constelación y su transformación inversa bajo Fourier, constituyen la primera parte del proceso de modulación OFDM.

El método OFDM emplea  $N$  portadoras, por lo que se requieren, por lo menos,  $N$  muestras complejas en tiempo discreto para representar al símbolo OFDM. Estas muestras en el dominio del tiempo (0, 1, ...,  $N-1$ ) son el resultado de una subportadora  $k$  modulada con un símbolo  $C_k$ , de la información, dentro de un símbolo OFDM y pueden expresarse como:

$$S_{k-OFDM}[n] = \frac{C_k}{N} e^{j \frac{2\pi kn}{N}}$$

Donde:

$N$  = número de subportadoras y muestras en el dominio del tiempo utilizadas.

$n$  = índice de la muestra en el dominio del tiempo.

$k$  = índice de la subportadora.

$C_k$  = amplitud y fase de la información a transmitir.

Tanto  $C_k$  como  $k$  son constantes para una subportadora dada durante el período de un símbolo OFDM. El símbolo completo, en el dominio del tiempo, se construye a partir de las  $N$  subportadoras superponiendo sus ondas:

$$S_{n-OFDM}[n] = \sum_{k=0}^{N-1} S_{k-OFDM}[n]$$

Los coeficientes  $C_k$  son complejos, que representan a la señal en el dominio de frecuencia. Para trasladar dicha señal al dominio del tiempo, es necesario aplicar, en el modulador, la transformada inversa rápida (IFFT). La señal original transmitida se reconstruye comparando cada subportadora con una de referencia, de amplitud y fase conocidas y de igual frecuencia:

$$S_{k-ref}[n] = 1 * e^{j \frac{2\pi kn}{N}}$$

En el receptor de DVB-T se aplica la transformada rápida directa de Fourier (FFT) al símbolo OFDM en el dominio del tiempo. Como consecuencia de la ortogonalidad de las  $N$  subportadoras, el resultado de la comparación es cero en la FFT para cualquier subportadora distinta a la de referencia.

$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{S_{l-OFDM}[n]}{S_{k-ref}[n]} = C'_k, \text{ Si } l = k;$$

$$= 0, \text{ Si } l \neq K$$

En que  $C'_k$  representa la amplitud y fase de la señal de información recibida.

La modulación OFDM evita el empleo de filtros, a causa de la ortogonalidad de las señales y, en la práctica se trabaja con la señal recibida en forma muestreada, lógicamente por encima de la frecuencia de Nyquist. En estas condiciones, el proceso de integración se convierte en uno de suma y todo el proceso de demodulación es idéntico a una transformada directa de Fourier.

Las subportadoras están moduladas por señales representadas por números complejos, que cambian de un símbolo a otro, si

el período de integración en el receptor se extiende a una duración de dos símbolos, la duración del símbolo se aumenta de modo que exceda el período de integración del receptor, de modo que también es la señal modulada completa, para evitar que la destrucción de la información se agrega un intervalo de guarda.

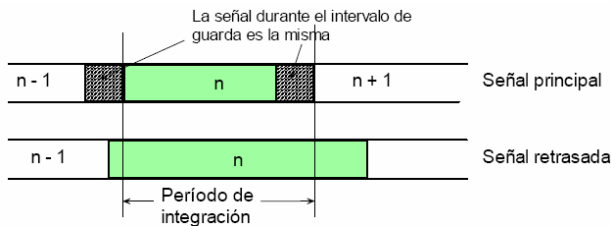


Fig 2. Intervalo de guarda OFDM

El segmento que se añade al inicio del símbolo para formar el intervalo de guarda, es idéntico al segmento de la misma longitud al final del símbolo. En tanto que el retardo sufrido por la señal a lo largo de cualquier trayecto, con respecto al trayecto más corto sea menor que el intervalo de guarda, todas las componentes de la señal durante el período de integración proceden del mismo símbolo y se satisface así la condición de ortogonalidad. La interferencia entre símbolos o entre portadoras ocurrirá solamente cuando el retardo relativo exceda la duración del intervalo de guarda.

C. Modulador y demodulador OFDM

La señal de entrada al modulador OFDM es un flujo binario continuo, este flujo se segmenta en símbolos, de acuerdo a la constelación a utilizar y se obtiene un mapa de los símbolos, representados ahora por números complejos, que corresponden a la representación de la señal en el dominio de frecuencia. Si se van a modular  $N$  subportadoras simultáneamente, la primera operación debe ser la conversión del flujo binario de entrada, en serie, en un flujo de coeficientes complejos en paralelo. El siguiente paso es realizar la transformada inversa de Fourier sobre esos  $N$  coeficientes para obtener una señal en el dominio del tiempo y, como la señal de entrada al transmisor debe ser un flujo binario en serie, es necesario convertir nuevamente la señal, ahora transformada y en paralelo, a una señal en serie, y esta es la señal a transmitir.

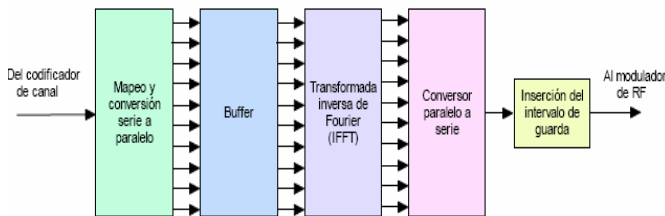


Fig 3. Modulador OFDM

Puesto que la señal de entrada procede del codificador de canal, el conjunto constituye un modulador COFDM (recuérdese que la “C” indica precisamente la codificación de canal), antes del convertor paralelo a serie, se inserta el intervalo de guarda, designado también como prefijo cíclico, en que se copian los datos del final del bloque y se pegan al principio, lo que hace que las señales retrasadas a causa de los

efectos de la multitrayectoria caigan en el intervalo de guarda y sean ignoradas por el receptor, en el demodulador se realiza el proceso inverso, se remueve el intervalo guarda, se aplica transformada rápida de Fourier, se ecualizan los símbolos, se demodulan de acuerdo a la constelación QAM utilizada.

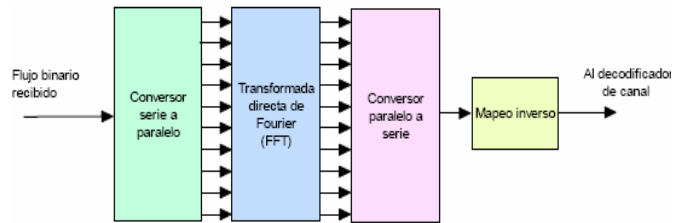


Fig 4. Demodulador OFDM

D. Estudio de la zona

Los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque están localizados sobre un repliegue de la cordillera oriental, en la parte sureste del Departamento de Cundinamarca, ubicados a más de 1800 msnm tienen una temperatura promedio de 18°C y con una humedad del 80% la topografía de la zona es muy variable por estar encajada en una cordillera con cañones, vegas y planadas a grandes alturas, la altura sobre el nivel del mar determina que la zona pertenezca al clima frío. Es un territorio montañoso perfecto para enfrentar los problemas que las zonas montañosas presentan al momento de trabajar con radio enlaces.

CUNDINAMARCA		
POBLACION	MUNICIPIO	DIPONIBILIDAD DE FRECUENCIAS
17.384	FÓMEQUE	51, 55, 57, 63, 69
11.908	CHOACHÍ	51, 55, 57, 63
7.690	UBAQUE	51, 55, 57, 63

Table 1. Frecuencias disponibles de televisión

En la tabla anterior se muestran las frecuencias disponibles en los municipios escogidos, se selecciono la frecuencia 51, debido a que a menor frecuencia se trabaje menor atenuación se tendrá en la transmisión.

E. Equipos

El transmisor se escoge de tal manera que cumpla con las características técnicas exigidas por la CNTV, se escogió el equipo transmisor marca BTSA estándar DVB-T de potencia nominal 1KW operando a 500W que es el recomendado por la CNTV ya que con este equipo se están realizando las pruebas en Colombia, este equipo recibe compresión y multiplexación de video en dos formatos, alta definición y definición estándar.



Fig 5. Transmisor DVB-T

Luego de revisar las antenas comerciales, se escogió la Antena JUHD marca JAMPRO, BROAD BAND UHF PANEL ANTENNA, impedancia 50 Ohm y VSWR 1.1:1(ver anexo B); En polarización horizontal. Esta antena se selecciona por contarse con un canal de distribución directo en Colombia (Istronyc S.A).

Se necesitaran 70 metros de cable, 60 metros debido a que la antena esta a 60 metros de altura y 10 más ya que es la distancia de la subestación en donde estaría el transmisor a la torre, el cable coaxial FLF 29 (1-1/4") marca dielectric cumple con las necesidades del proyecto, tiene una impedancia de 50 ohmios ( $\Omega$ ) y frecuencia máxima de 3.3GHz, y conectores N-Female FLF 29NJ ya que ofrecen bajas pérdidas.

#### F. Cálculos

##### • Zona de Fresnel

La zona de Fresnel es un canal o un medio de comunicación que debe estar libre de obstáculos para que la energía viaje desde un transmisor hasta llegar a un receptor sin tener pérdidas para así no alterar el flujo o dirección de la señal de energía.

$$h_1 = \sqrt{\frac{\lambda * d_1 * d_2}{d_1 + d_2}}$$

$\lambda$  = longitud de onda

$d_1$  = distancia de la antena Tx al obstáculo

$d_2$  = distancia del obstáculo a la antena de Rx

Para garantizar que la transmisión se cumpla todo el tiempo es necesario dejar libre de obstáculos la segunda zona de Fresnel que se calcula con la siguiente formula:

$$h_2 = \sqrt{2} * h_1$$

##### • Pérdidas

Cuando una señal es enviada al espacio libre, esta sufre una atenuación en el medio hasta alcanzar el receptor, las pérdidas que sufre son función de la frecuencia y la distancia, relacionadas con la velocidad de la luz en el vacío, para condiciones ideales se considera que la señal viaja de modo rectilíneo y con condiciones ideales en el medio.

$$L_p = \left( \frac{4\pi * d}{\lambda} \right)^2$$

En condiciones reales, la propagación se produce en un espacio no ideal y mediante una trayectoria no libre de interferencias, aparte de las pérdidas por trayectoria la señal también se produce un efecto llamado desvanecimiento, que depende de las condiciones puntuales, por lo tanto se mide como una atenuación adicional, a esto se le llama margen de desvanecimiento, en el que se incluyen efectos del tipo de suelo, el clima y el entorno que rodea la trayectoria.

$$L_D(dB) = 30\text{Log}D + 10\text{Log}ABf - 70 - 10\text{Log}(1 - R)$$

Donde:

TERMINO	DEFINE	FACTORES
30LogD	Diversidad modal	D = Distancia visual entre antenas en Km
10LogABf	Entorno de propagación	A = Factor de rugosidad B = factor climático f = frecuencia en GHz
10Log(1-R)	Objetivo de confiabilidad	R = Confiabilidad

Table 2. Factores que influyen en pérdidas por desvanecimiento

Factor de rugosidad (A)

- 4= Espejos de agua, ríos muy anchos, etc.
- 3= Sembrados densos, pastizales o arenales
- 2= Bosques
- 1= Terreno normal
- 0.25= Terrenos rocosos, disperejos

Factor climático (B)

- 1= Áreas marinas
- 0.5= Áreas tropicales
- 0,25= Áreas mediterráneas
- 0.125= Áreas montañosas

En el destino el receptor tiene un margen de sensibilidad, establecida como la mínima potencia que puede llegarle al receptor para que la antena pueda recuperar la información enviada, al conjunto de ganancias y pérdidas de las antenas de transmisión y recepción se le llama ganancia del sistema y se calcula como la máxima potencia del sistema.

$L_{cc}$ = Pérdidas por cable y conectores

$L_p$ = Pérdidas de espacio libre

$L_D$ = Pérdidas por desvanecimiento

$G_{Tx}$ = Ganancia de transmisor

$G_{Rx}$ = Ganancia de receptor

Estableciendo el margen de sensibilidad como:

$$Pr(dB) = P_{Tx} - G_s > Sen_{Rx}$$

##### • Contorno protegido

Con respecto a la planificación de canales de TV digital se han establecido los criterios de la FCC (Federal communications commission), y mas precisamente para televisión digital el calculo del contorno protegido, se hace basado en las curvas F(50,90), es decir el 90% del tiempo en el 50% de las locaciones, los requisitos mínimos del nivel de la señal para un canal de televisión se muestran en la siguiente tabla.

Factor	VHF baja	VHF alta	UHF
Intensidad de campo mínima (dB $\mu$ V/m)	33+D	36+D	44+D
Intensidad en el contorno protegido usando F(50,90) (dB $\mu$ V/m)	36+D	39+D	47+D

Table 3. Requisitos de recepción dentro del contorno protegido

Donde D en el caso particular para DVB-T tiene un valor de cuatro (4), por el tipo de modulación que utiliza COFDM.

- *Interferencias*

Gracias a la modulación COFDM, los canales de televisión son más robustos frente a interferencias, debido a que la duración de los Bits es mayor a la de los retardos evitando ecos y permitiendo la reutilización de las mismas frecuencias en antenas vecinas.

### G. Radio Mobile

Radio Mobile es un programa creado en 1998 y mantenido desde entonces por el ingeniero y radioaficionado canadiense Roger Coudé, que utiliza datos digitales de elevación del terreno para generar un perfil del trayecto entre un emisor y un receptor. Estos datos, junto a otros relativos al entorno y a las características técnicas de los transeptores, sirven para alimentar un modelo de propagación de las ondas de radio conocido como modelos de terreno irregular (ITM, Irregular Terrain Model), basado en el algoritmo de Longley-Rice e integrado en el propio programa, que permite determinar el área de cobertura de un sistema de radiocomunicaciones que trabaje en una frecuencia comprendida entre los 20 y los 20.000 MHz.

Radio Mobile permite la utilización de dos modelos digitales del terreno para la realización de los cálculos de cobertura: GTOPO30/SRTM30 y SRTM-DTED. Ambos modelos han sido elaborados por la NASA y el USGS y tanto su distribución como su utilización son completamente libres.

El modelo GTOPO30/SRTM30 tiene una resolución de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km), mientras que el modelo SRTM-DTED tiene una precisión de 3 segundos de arco (aproximadamente 100 m), por lo que se seleccionará un modelo u otro en función de las necesidades y de la capacidad de computación disponible.

El método Longley-Rice se basa en la teoría electromagnética y en análisis estadísticos de las características del terreno, y predice la atenuación media de la señal de radio como una función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y el espacio.

Este método requiere, para realizar la predicción, los siguientes parámetros; potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE) y altura del centro eléctrico de radiación de la antena con relación al nivel medio del terreno. También deben especificarse, el porcentaje de tiempo y de lugares en donde los campos operaran o se excederán, así como también un porcentaje que especifique el grado de confianza deseado en los resultados.

- *Resultados obtenidos*

En el programa de simulación de radioenlaces se logro graficar satisfactoriamente el contorno de servicio llevando la señal del canal de televisión a los municipios propuestos cubriendo la zona en su totalidad.

## IV. CONCLUSIONES

- La simulación en Radio Mobile de la propagación de una señal sobre un área específica permite visualizar en forma muy rápida los sitios estratégicos para la localización de transmisores.
- Radio Mobile entrega datos confiables, debido a que logra simular con buena fidelidad el entorno en que se ubica el sistema irradiante, tomando en cuenta todas las variables que pueden afectar el radioenlace.
- La ubicación geográfica del sistema irradiante y el área de cobertura deseada, son idóneas para cumplir los requerimientos del diseño, ya que existe una barrera física (cordillera oriental) que bloquea las señales emitidas desde el interior del país, las cuales pudieran ser frecuencias interferentes, además al ubicar el sistema irradiante en la ladera de la cordillera apuntando hacia los municipios se logró satisfactoriamente un buen nivel de señal en las zonas requeridas.
- La aplicación de los modelos de predicción requieren de información topográfica, al contar con mapas digitales de una resolución alta, permite tener una visión detallada de la zona en la que se piensa trabajar.
- Las condiciones climáticas, de terreno y de superficie, son promedios que estiman las condiciones para zonas específicas.
- Gracias a la modulación COFDM, los canales de televisión son más robustos frente a interferencias, permitiendo la reutilización de las mismas frecuencias en antenas vecinas.

## REFERENCES

- [1] Arnold, J., Frater, M., & Pickering, M. (2007). *Digital Television Technology and Standards*. USA: Wiley & Sons Inc.
- [2] Blaunstein, N., & Christos, C. (2007). *Radio Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communication Links*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- [3] Collins, G. W. (2001). *Fundamentals of Digital Television transmission*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- [4] Comision, N. d. (2009). *Plan de utilizacion de frecuencias de television canales locales y disponibilidad de frecuencias*. Recuperado el 2009, de [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/servicio\\_cober/espectro/potenciales.pdf](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/servicio_cober/espectro/potenciales.pdf)
- [5] Garcia, G. P. (2006). *Manual de uso de Radio Mobile*. Recuperado el Febrero de 2009, de [download.ehas.org/docs/manual\\_radiomobile.doc](http://download.ehas.org/docs/manual_radiomobile.doc)
- [6] Gómez, J. C. (2009). *Sistemas de telecomunicación Planeación y cálculos de enlaces*. Bogotá.
- [7] Haykin, S., & Moher, M. (2005). *Modern Wireless Communications*. USA: Pearson education, Inc.
- [8] Lundström, L.-I. (2006). *Understanding Digital Television*. USA: Elsevier Inc.
- [9] Tomassi, W. (1996). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas segunda edición*. Mexico: Prentice Hall.

## V. BIOGRAFÍA

**Diego Fernando Puentes Rojas:** Nació en Pitalito Huila un 20 de Agosto de 1985, su bachillerato lo realizo en el colegio Fundación Manuel Aya de la ciudad de Fusagasugá, sus estudios profesionales los llevo a cabo en la Fundación Universitaria San Martin, estudiando ingeniería electrónica y telecomunicaciones.