

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN
DE DATOS INALÁMBRICO PUNTO A MULTIPUNTO DE CORTO ALCANCE EN LA
BANDA DE 2,4 GHZ**



ANEXOS

**Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título
de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

William Fernando Gualteros García

Edgar Alexander Calvache Ramírez

Director: Víctor Manuel Quintero Flórez

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Departamento de Telecomunicaciones

Grupo de Radio e InALámbricas – GRIAL

GNTT – Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones

Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio

Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de Telecomunicaciones

Popayán, Agosto 2012

TABLA DE CONTENIDO

ANEXO A.....	1
A.1. DISPOSICIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR MSP430F2274	1
A.2. INFORMACIÓN ADICIONAL DEL TRANSCEPTOR CC2500.....	1
A.2.1. Registros de Configuración del CC2500.....	1
A.2.2. <i>Command Strobes</i> del CC2500.	3
A.2.3. Registros de Estado del Transceptor CC2500.....	3
A.2.4. Estado General del Transceptor CC2500.....	4
A.2.5. Configuración de Potencia en el Transceptor CC2500.....	4
A.2.6. Temporización de la Interfaz SPI del Transceptor CC2500	5
A.2.7. Programación de la Velocidad de transmisión de Datos.....	6
A.2.8. Programación del Esquema de Modulación	7
A.2.9. Programación de Frecuencia.....	7
A.2.10. Configuración de los Parámetros del Paquetes.....	8
A.2.10.1. Número de Bits de Preámbulo	8
A.2.10.2. Palabra de Sincronización	8
A.2.10.3. Blanqueamiento de Datos	9
A.2.11. Ancho de Banda del Filtro de Recepción	9
A.3. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DEL PROTOCOLO SIMPLICITI®.....	10
A.3.1. La API MRFI	10
A.3.1.1. <code>oid mrfiSpilnit(void)</code>	10
A.3.2. La API del Nivel de Aplicación de SimplicITI®	10
A.3.2.1. <code>smpIStatus_t SMPL_Init(uint8_t (*callback)(linkID_t))</code>	11
A.3.2.2. <code>smpIStatus_t SMPL_Link(linkID_t *linkID)</code>	11
A.3.2.3. <code>smpIStatus_t SMPL_Unlink(linkID_t linkID)</code>	11
A.3.2.4. <code>smpIStatus_t SMPL_LinkListen(linkID_t *linkID)</code>	11
A.3.2.5. <code>smpIStatus_t SMPL_SendOPT(linkID_t lid, uint8 *msg, uint8 len, uint8 opt)</code> .11	
A.3.2.6. <code>smpIStatus_t SMPL_Send(linkID_t lid, uint8 *msg, uint8 len)</code>	11
A.3.2.7. <code>smpIStatus_t SMPL_Receive(linkID_t lid, uint8 *msg, uint8 *len)</code>	11
A.3.2.8. <code>smpIStatus_t SMPL_Ping(linkID_t lid)</code>	12

A.3.2.9. smpIStatus_t SMPL_Commission(addr_t *addr, uint_8 lPort, uint8_t rPort, linkID *lid).....	12
A.3.2.10. smpIStatus_t SMPL_ioctl(ioctlObject_t object, ioctlAction_t action, void *val)	12
ANEXO B ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA	13
B.1. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA PUNTO A PUNTO	13
B.1.1. El Conjunto Extendido de Registros de la tarjeta eZ430-RF2500.....	13
ANEXO C. GRAFICAS Y TABULACIONES DE LOS RESULTADOS EN EL ENLACE P2P.	14
C.1. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE WIRELESS INSITE®	14
C.2. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LAS MEDICIONES PRÁCTICAS REALIZADAS.....	16
C.2.1. RSSI y LQI en Interiores transmitiendo a -10dBm	16
C.2.2. RSSI y LQI en Exteriores transmitiendo a -10dBm	23
C.3. RESULTADOS DE BER OBTENIDOS MEDIANTE LAS MEDICIONES PRÁCTICAS REALIZADAS	30
C.3.2. BER en Interiores Transmitiendo a -10dBm.....	30
C.3.2. BER en Exteriores Transmitiendo a -10dBm	32
BIBLIOGRAFIA.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura A. 1 Configuración de Pines del Micro controlador MSP430F2274.....	1
Figura A.2 FRENDO.PA_POWER y PATABLE.....	5
Figura A.3. Requerimientos de Tiempo Para las Operaciones de Lectura y Escritura en el CC2500.....	6
Figura C. 1 Potencia contra Distancia en Exteriores usando Wireless InSite®.....	14
Figura C. 2 Potencia contra Distancia en Interiores usando Wireless InSite®.....	15
Figura C. 3 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para FSK a 2,4 Kbps..	17
Figura C. 4 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para FSK a 10 Kbps...	18
Figura C. 5 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para GFSK a 2,4 Kbps	19
Figura C. 6 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para GFSK a 10 Kbps	20
Figura C. 7 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para MSK a 250 Kbps	21
Figura C. 8 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para MSK a 500 Kbps	22
Figura C. 9 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para FSK a 2,4 Kbps.	24
Figura C. 10 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para FSK a 10 Kbps	25
Figura C. 11 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para GFSK a 2,4 Kbps	26
Figura C. 12 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para GFSK a 10 Kbps	27
Figura C. 13 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para MSK a 250 Kbps	29
Figura C. 14 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para MSK a 500 Kbps	30
Figura C. 15 BER para FSK a 2,4 Kbps en Interiores	31
Figura C. 16 BER para FSK a 10 Kbps en Interiores	31
Figura C. 17 BER para GFSK a 2,4 Kbps en Interiores	31
Figura C. 18 BER para GFSK a 10 Kbps en Interiores	31
Figura C. 19 BER para MSK a 250 Kbps en Interiores	32
Figura C. 20 BER para MSK a 500 Kbps en Interiores	32
Figura C. 21 BER para FSK a 2,4 Kbps en Exteriores.....	33
Figura C. 22 BER para FSK a 10 Kbps en Exteriores.....	33
Figura C. 23 BER para GFSK a 2,4Kbps en Exteriores.....	33
Figura C. 24 BER para GFSK a 10 Kbps en Exteriores.....	33
Figura C. 25 BER para MSK a 250 Kbps en Exteriores.....	34
Figura C. 26 BER para MSK a 500 Kbps en Exteriores.....	34

LISTA DE TABLAS

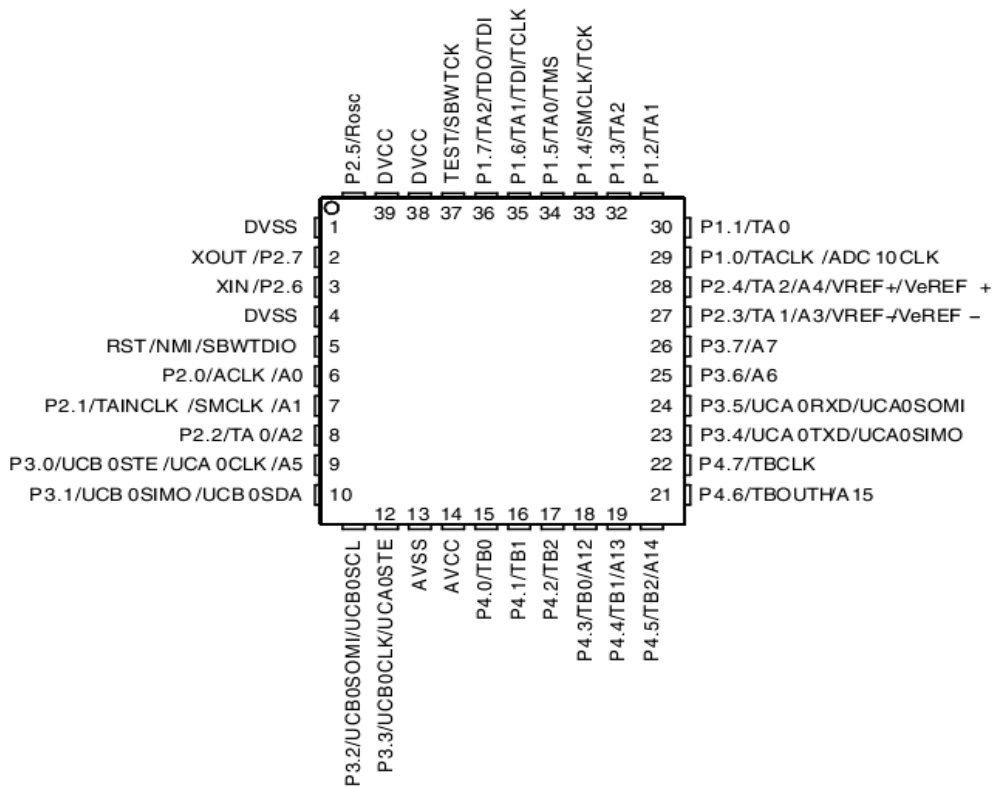
Tabla A.1 Lista de Registros de Configuración del CC2500	2
Tabla A.2 . <i>Command Strokes</i> del CC2500	3
Tabla A.3 . Registros de Estado del CC2500	3
Tabla A.4 . Posibles Estados de la Máquina de Estados del CC2500 Reportados por el CC2500 Mediante el Byte <i>STATUS</i>	4
Tabla A.5 Valores Óptimos de <i>PATABLE</i> para Diferentes Niveles de Potencia de Transmisión.....	5
Tabla A.6 . Requerimientos de Tiempo en la Interfaz SPI para el CC2500	6
Tabla A.7 Configuración del Registro <i>MDMCFG.MOD_FORMAT</i> Para las distintas modulaciones.....	7
Tabla A.8 Configuraciones del Registro <i>MDMCFG1.NUM_PREAMBLE</i>	8
Tabla A.9 Configuraciones de la Palabra de Sincronización.....	8
Tabla A.10 Posibles Anchos de Banda para el Filtro de Recepción con un oscilador de 26MHz.....	9
Tabla A.11 Objetos de la Capa <i>NWK</i> Configurables Desde la Capa de Aplicación en Tiempo de Ejecución	12
Tabla B. 1 Registros Implementados como Extensión del Conjunto de Registros del Transceptor CC2500.....	13
Tabla C. 1 Valores de <i>RSSI</i> en Exteriores Según la Distancia entre Tx y Rx Usando <i>Wireless InSite®</i>	14
Tabla C. 2 Valores de <i>RSSI</i> en Interiores Según la Distancia entre Tx y Rx Usando <i>Wireless InSite®</i>	16
Tabla C. 3 Mediciones Realizadas para en Interiores <i>FSK</i> a 2,4 Kbps	17
Tabla C. 4 Mediciones Realizadas en Interiores para <i>FSK</i> a 10 Kbps	18
Tabla C. 5 Mediciones Realizadas en Interiores para <i>GFSK</i> a 2,4 Kbps	19
Tabla C. 6 Mediciones Realizadas en Interiores para <i>GFSK</i> a 10 Kbps	20
Tabla C. 7 Mediciones Realizadas en Interiores para <i>MSK</i> a 250 Kbps	21
Tabla C. 8 Mediciones Realizadas en Interiores para <i>MSK</i> a 500 Kbps	22
Tabla C. 9 Mediciones Realizadas en Exteriores para <i>FSK</i> a 2,4Kbps.....	23
Tabla C. 10 Mediciones Realizadas en Exteriores para <i>FSK</i> a 10Kbps.....	24
Tabla C. 11 Mediciones Realizadas en Exteriores para <i>GFSK</i> a 2,4Kbps.....	26
Tabla C. 12 Mediciones Realizadas en Exteriores para <i>GFSK</i> a 10 Kbps.....	28
Tabla C. 13 Mediciones Realizadas en Exteriores para <i>MSK</i> a 250 Kbps.....	28
Tabla C. 14 Mediciones Realizadas en Exteriores para <i>MSK</i> a 500 Kbps.....	29

ANEXO A

A.1. DISPOSICIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR MSP430F2274

La Figura A1 presenta la distribución de pines del microcontrolador MSP430F2274 el cual se encuentra integrado en el kit de desarrollo eZ430-RF2500 de Texas Instruments® [1].

Figura A. 1 Configuración de Pines del Micro controlador MSP430F2274.



A.2. INFORMACIÓN ADICIONAL DEL TRANSEPTOR CC2500

A.2.1. Registros de Configuración del CC2500.

La Tabla A.1 presenta los registros de configuración del transceptor cc2500 el cual se encuentra integrado en el kit de desarrollo eZ430-RF2500 de Texas Instruments® [2].

Tabla A.1 Lista de Registros de Configuración del CC2500

Dirección	Registro	Descripción
0x00	IOCFG2	Configuración del pin de salida GDO2
0x01	IOCFG1	Configuración del pin de salida GDO1
0x02	IOCFG0	Configuración del pin de salida GDO0
0x03	FIFOTHR	
0x04	SYNC1	Byte alto de la palabra de sincronización
0x05	SYNC0	Byte bajo de la palabra de sincronización
0x06	PKTLEN	Longitud del paquete
0x07	PKTCTRL1	Control automático de paquete
0x08	PKTCTRL0	Control automático de paquete
0x09	ADDR	Dirección de dispositivo
0x0A	CHANNR	Número de canal
0x0B	FSCTRL1	Control de sintetizador de frecuencia
0x0C	FSCTRL0	Control de sintetizador de frecuencia
0x0D	FREQ2	Palabra de control de frecuencia, byte alto
0x0E	FREQ1	Palabra de control de frecuencia, byte medio
0x0F	FREQ0	Palabra de control de frecuencia, byte bajo
0x10	MDMCFG4	Configuración del modem
0x11	MDMCFG3	Configuración del modem
0x12	MDMCFG2	Configuración del modem
0x13	MDMCFG1	Configuración del modem
0x14	MDMCFG0	Configuración del modem
0x15	DEVIATN	Ajuste de la desviación del modem
0x16	MCSM2	Configuración de la máquina de estados de control principal del radio
0x17	MCSM1	Configuración de la máquina de estados de control principal del radio
0x18	MCSM0	Configuración de la máquina de estados de control principal del radio
0x19	FOCCFG	Configuración de compensación de frecuencia <i>offset</i>
0x1A	BSCFG	Configuración de sincronización de bits
0x1B	AGCTRL2	Control automático de ganancia
0x1C	AGCTRL1	Control automático de ganancia
0x1D	AGCTRL0	Control automático de ganancia
0x1E	WOREVT1	Tiempo de espera evento 0, byte alto
0x1F	WOREVT0	Tiempo de espera evento 0, byte bajo
0x20	WORCTRL	Control <i>wake on radio</i> ¹
0x21	FREND1	Configuración de recepción de radio frecuencia
0x22	FREND0	Configuración de transmisión de radiofrecuencia
0x23	FSCAL3	Calibración del Sintetizador de Frecuencia
0x24	FSCAL2	Calibración del Sintetizador de Frecuencia
0x25	FSCAL1	Calibración del Sintetizador de Frecuencia
0x26	FSCAL0	Calibración del Sintetizador de Frecuencia
0x27	RCCTRL1	Configuración del oscilador RC
0x28	RCCTRL0	Configuración del oscilador RC
0x29	FSTEST	Control de calibración del sintetizador de frecuencia
0x2A	PTEST	Prueba de producción

¹ Wake on radio es una funcionalidad cuyo propósito es reducir el consumo de energía por parte del transceptor manteniéndolo en modo de bajo consumo, la mayor parte del tiempo. El transceptor sale periódicamente de este modo y verifica si se están transmitiendo paquetes, sin la necesidad de interactuar con el microcontrolador.

0x2B	AGCTEST	Prueba del control automático de ganancia
0x2C	TEST2	Varios ajustes de prueba
0x2D	TEST1	Varios ajustes de prueba
0x2E	TEST0	Varios ajustes de prueba

A.2.2. Command Strobes del CC2500.

Los *command strobes* representan instrucciones dadas al transceptor y que influyen en el estado del mismo, tales como iniciar transmisión, iniciar recepción, pasar al estado de espera o al modo de bajo consumo. La tabla A.2 especifica la función de cada uno de los *command strobes* [2].

Tabla A.2 . Command Strobes del CC2500

Dirección	Nombre del <i>command strobe</i>	Descripción
0x30	SRES	<i>Reset</i>
0x31	SFSTXON	Habilitar y calibrar el sintetizador de frecuencia.
0x32	SXOFF	Apagar el oscilador a cristal
0x33	SCAL	Calibrar el sintetizador de frecuencia y apagarlo
0x34	SRX	Habilita Recepción.
0x35	STX	En estado IDLE, habilita transmisión. Realiza calibración si MSM0.FS?UTOCAL=1
0x36	SIDLE	Salida de transmisión o recepción. Apaga el sintetizador de frecuencia y sale del modo Wake On Radio si es aplicable.
0x38	SWOR	Inicia secuencia de recepción
0x39	SPWD	Entra al modo de baja potencia cuando el pin CSn pasa el estado alto
0x3A	SFRX	Limpia el buffer de recepción
0x3B	SFTX	Limpia el buffer de transmisión
0x3C	SWORRST	Reinicia el reloj de tiempo real
0x3D	SNOP	No operación

A.2.3. Registros de Estado del Transceptor CC2500

Los accesos en el modo de lectura a las direcciones del rango entre 0x30 y 0x3D permiten el acceso a un conjunto de registros denominados registros de estado, los cuales proporcionan información detallada acerca del estado del transceptor. La tabla A.3 muestra el conjunto de registros de estado del transceptor CC2500.

Tabla A.3 . Registros de Estado del CC2500

Dirección	Registro	Descripción
0x30	PARTNUM	Número de parte del chip CC2500
0x31	VERSION	Número de versión actual.
0x32	FREQEST	<i>Offset</i> de frecuencia estimado.

0x33	LQI	Calidad del enlace estimada por el demodulador.
0x34	RSSI	Indicador del nivel de señal recibido.
0x35	MARCSTATE	Control de estado de la máquina de estados.
0x36	WORTIME1	Byte alto del temporizador <i>Wake On Radio</i> (WOR).
0x37	WORTIME0	Byte bajo del temporizador WOR.
0x38	PKTSTATUS	Estado actual de GDOx (x=0,1,2) y estado actual del paquete.
0x39	VCO_VC_ADC	Configuración actual del módulo de calibración del PLL.
0x3A	TXBYTES	Sobreflujo Y número de bytes en la cola de transmisión.
0x3B	RXBYTES	Sobreflujo Y número de bytes en la cola de transmisión.

A.2.4. Estado General del Transceptor CC2500

Cada vez que se envía al transceptor un byte de encabezado o un byte de datos en un acceso de escritura, este envía simultáneamente hacia la Unidad MicroControlada (MCU, *MicroControlled Unity*), un byte de estado (*STATUS*). Los bits 6 al 4 del byte de estado, representan el estado general del transceptor. La tabla A.4. contiene una lista de los estados que pueden ser reportados por medio del byte *STATUS*.

Tabla A.4 . Posibles Estados de la Máquina de Estados del CC2500 Reportados por el CC2500 Mediante el Byte *STATUS*.

Valor	Estado	Descripción
000	IDLE	Modo desocupado
001	RX	Modo recepción
010	TX	Modo transmisión
011	FSTXON	Sintetizador de frecuencia encendido, listo para iniciar una transmisión
100	CALIBRATE	Sintetizador de frecuencia corriendo
101	SETTLNG	PLL
110	RXFIFO_OVERFLOW	Desbordamiento en la FIFO de Recepción
111	TXFIFO_UNDERFLOW	Subdesbordamiento en la FIFO de Transmisión

A.2.5. Configuración de Potencia en el Transceptor CC2500

El nivel de potencia en RF tiene dos niveles de programabilidad. En primer lugar, el registro especial *PATABLE* puede almacenar hasta ocho configuraciones de potencia seleccionadas por el usuario, como se ilustra en la figura A.2. En segundo lugar, el valor de 3 bits *PA_POWER* que es parte del registro *FREND0*, selecciona cual de las 8 entradas de *PATABLE* será usada. Esta funcionalidad de dos niveles permite que, al iniciar la transmisión, la potencia aumente progresivamente desde el primer valor almacenado en *PATABLE* hasta el valor de *PATABLE* apuntado por *FREND0.PA_POWER*. De forma similar, al acercarse el final de la transmisión, la potencia desciende escalonadamente desde el valor de *PATABLE* seleccionado por el registro *FREND0.PA_POWER* hasta el primer valor de *PATABLE*. La tabla A.5, muestra los valores correspondientes de potencia de transmisión para valores típicos de configuración en *PATABLE*. Para programar las entradas de la tabla *PATABLE*, es necesario emplear el modo *BURST* ya que en el modo de acceso a un solo byte, solamente es posible configurar la primer entrada de *PATABLE* [2].

Figura A.2 FRENDO.PA_POWER y PATABLE.

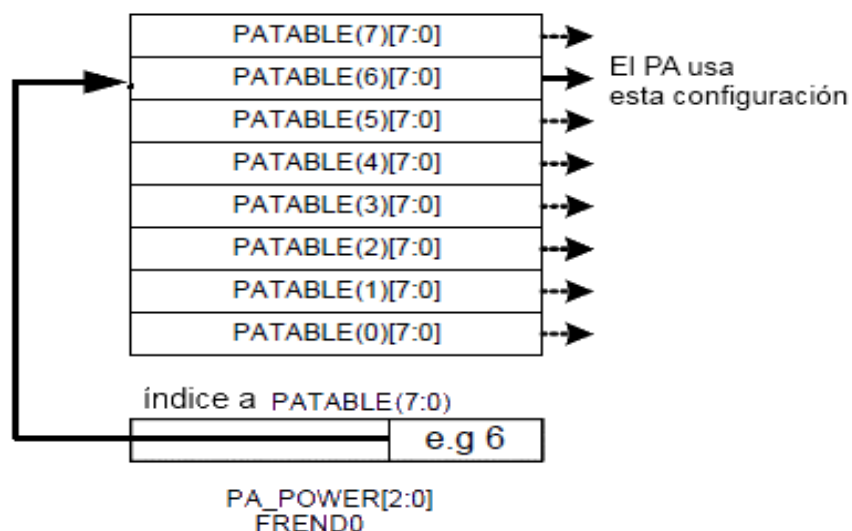


Tabla A.5 Valores Óptimos de PATABLE para Diferentes Niveles de Potencia de Transmisión

Potencia de Salida (dBm)	Valor PATABLE
-55 o menos	0x00
-30	0x50
-28	0x44
-26	0xC0
-24	0x84
-22	0x81
-20	0x46
-18	0x93
-16	0x55
-14	0x8D
-12	0xC6
-10	0x97
-8	0x6E
-6	0x7F
-4	0xA9
-2	0xBB
0	0xFE

A.2.6. Temporización de la Interfaz SPI del Transceptor CC2500

La figura A.3 muestra la temporización correspondiente a una operación de escritura y a una de lectura y los estados en los cuatro pines de la interfaz SPI y los requerimientos de tiempo para cada operación. La tabla A.6. Especifica el significado y el valor de cada uno de los tiempos mostrados en la figura A.3

Figura A.3. Requerimientos de Tiempo Para las Operaciones de Lectura y Escritura en el CC2500

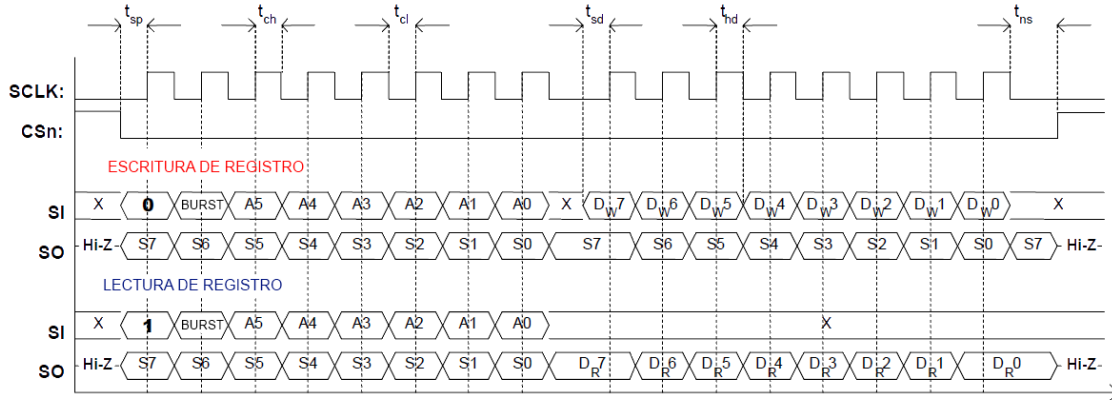


Tabla A.6 . Requerimientos de Tiempo en la Interfaz SPI para el CC2500

Parámetro	Descripción	Min	Max	Unidades
f_{SCLK}	frecuencia de SCLK retardo de 100ns insertado entre el byte de encabezado y el byte de datos o entre cada byte de datos (acceso en ráfaga)		10	MHz
	frecuencia de SCLK, acceso simple No hay retardos entre la encabezado y el byte de datos		9	MHz
	frecuencia de SCLK, acceso en ráfaga No hay retardos entre la encabezado y el byte de datos, o entre bytes de datos		6,5	MHz
$t_{sp,pd}$	Desde que CSn pasa al estado bajo hasta el flanco positivo en SCLK, en modo de baja potencia	200		μs
t_{sp}	Desde que CSn pasa al estado bajo hasta el flanco positivo en SCLK, en modo activo	20		ns
t_{ch}	Tiempo de reloj en alto	50		ns
t_{cl}	Tiempo de reloj en bajo	50		ns
t_{rise}	Tiempo de subida del reloj		5	ns
t_{fall}	Tiempo de bajada del reloj		5	ns
t_{sd}	Colocación de dato hasta flanco positivo en SCLK (tsd aplica entre el byte de encabezado y el byte de dato o entre los bytes de datos)	Acceso simple	65	ns
		Acceso en ráfaga	76	ns
t_{hd}	Espera de datos después de flanco positivo en SCLK	20		ns
t_{ns}	Desde flanco negativo en SCLK hasta CSn alto	20		ns

A.2.7. Programación de la Velocidad de transmisión de Datos.

La Velocidad usada para transmitir o esperada al recibir es programada mediante los registros MDMCFG3.DRATE_M y MDMCFG4.DRATE_E (ver hoja de especificaciones). La tasa de bits se calcula mediante la fórmula mostrada en la ecuación A.1.

$$R_{DATA} = \frac{(256 + DRATE_M) * 2^{DRATE_E}}{2^{28}} * f_{xosc} \quad (A.1)$$

Donde f_{xosc} es la frecuencia del oscilador a cristal, en este caso 26 MHz que es la frecuencia de oscilación del cristal incluido en la tarjeta eZ430-RF2500T.

Dado que DRATE_M es un registro de 7 bits (varía de 0 a 255), DRATE_E un registro de 4 bits (varía de 0 a 15), la velocidad de transmisión de datos puede ser establecida en valores entre los 1,2K bps y los 500Kbps, dependiendo de la modulación

A.2.8. Programación del Esquema de Modulación

El transceptor CC2500 soporta modulación OOK, FSK, GFSK y MSK, El formato de modulación se elige por medio del registro MDMCFG2.MOD_FORMAT (ver hoja de referencia). La tabla A.7 [2] muestra los valores del registro MOD_FORMAT para los distintos formatos de modulación.

Tabla A.7 Configuración del Registro MDMCFG.MOD_FORMAT Para las distintas modulaciones.

Valor	Formato demodulación
000	FSK
001	GFSK
011	OOK
111	MSK

A.2.9. Programación de Frecuencia

La programación de frecuencia se realiza a nivel de frecuencia de portadora del canal cero, mediante los registros FREQ2, FREQ1 y FREQ0, los cuales forman un solo registro de 24 bits llamado FREQ, a la separación entre canales se realiza mediante los registros MDMCFG0.CHANSPC_M y MDMCFG1.CHANSPC_E y a nivel de canal mediante el registro CHANNR. La ecuación A.2 muestra el valor de la frecuencia portadora.

$$f_{carrier} = \frac{f_{xosc}}{2^{16}} * (FREQ + CHAN * (256 + CHANSPC_M) * 2^{CHANSPC_E-2}) \quad (A.2)$$

Donde f_{xosc} es la frecuencia del cristal, en este caso 26MHz. Con este valor de frecuencia, el máximo espaciado entre canales es de 405 KHz.

La frecuencia intermedia (IF, *Intermediate frequency*) preferida es programada con el registro FSCTRL1.FREQ_IF tal como lo muestra la ecuación A.3

$$f_{IF} = \frac{f_{xosc}}{2^{10}} * FREQ_IF \quad (A.3)$$

El valor de FREQ_IF debe ser calculado dependiendo del ancho de banda del filtro de canal de recepción y de la separación de canales. La herramienta software Smart RF

Studio® de Texas Instruments® proporciona el valor óptimo de este registro para ciertas configuraciones predeterminadas.

A.2.10. Configuración de los Parámetros del Paquetes

A continuación se procede a mostrar la manera de configurar algunos de los parámetros del paquete.

A.2.10.1. Número de Bits de Preámbulo

Este parámetro se configura por medio del registro MDMCFG1.NUM_PREAMBLE. La tabla A.8 [2] muestra las posibles configuraciones de NUM_PREAMBLE

Tabla A.8 Configuraciones del Registro MDMCFG1.NUM_PREAMBLE

Valor	Número de bytes de preámbulo
000	2
001	3
010	4
011	6
100	8
101	12
110	16
111	24

A.2.10.2. Palabra de Sincronización

La palabra de sincronización puede ser configurada mediante los registros SYNC1 y SYNC0. La longitud de la palabra de configuración se configura por medio del registro MDMCFG2.SYNC_MODE. La tabla A.9 [2] muestra las posibles configuraciones de este registro.

Tabla A.9 Configuraciones de la Palabra de Sincronización

Valor	Modo
000	Sin preámbulo/sincronización
001	Detectar 15/16 bits de la palabra de sincronización
010	Detectar 16/16 bits de la palabra de sincronización
011	Detectar 30/32 bits de la palabra de sincronización
100	Detectar 32/32 bits de la palabra de sincronización
101	Detectar 15/16 bits de la palabra

	de sincronización con detección de portadora por encima del umbral
110	Detectar 16/16 bits de la palabra de sincronización con detección de portadora por encima del umbral
111	Detectar 32/32 bits de la palabra de sincronización con detección de portadora por encima del umbral

A.2.10.3. Blanqueamiento de Datos

El blanqueamiento es una técnica para evitar la pérdida de sincronización causada por largas cadenas de unos y ceros. La técnica consiste en combinar el flujo de bits con una secuencia pseudo aleatoria que aleatoriza los bits. El hardware del transceptor CC2500 tiene la capacidad de hacer blanqueamiento a los paquetes enviados y hacer el proceso inverso en la recepción. Esta característica puede ser activada por medio del bit PKTCTRL0.WHITE DATA. Si el valor de ese bit es fijado en 1 se activará el blanqueamiento, en caso contrario el blanqueamiento será desactivado [2].

A.2.11. Ancho de Banda del Filtro de Recepción

El ancho de banda del filtro de recepción puede configurarse por medio de los registros MDMCFG4.CHANBW_E y MDMCFG4.CHANBW_M, cada uno de dos bits. La ecuación A.4 muestra la expresión para calcular el ancho de banda del filtro de canal de recepción. La tabla A.10 Muestra los posibles anchos de banda del filtro de canal de recepción para un oscilador de 26MHz [2]

$$BW_{channel} = \frac{f_{xosc}}{8 * (4 + CHANBW_M) * 2^{CHANBW_E}} \quad (A.4)$$

Tabla A.10 Posibles Anchos de Banda para el Filtro de Recepción con un oscilador de 26MHz

MDMCFG4.CHANBW_M	MDMCFG4.CHANBW_E			
	00	01	10	11
00	812 KHZ	406 KHZ	203 KHZ	102 KHZ
01	620 KHZ	325 KHZ	162 KHZ	81 KHZ
10	541 KHZ	270 KHZ	135 KHZ	68 KHZ
11	464 KHZ	232 KHZ	116 KHZ	58 KHZ

Para mejor desempeño, el ancho de banda del canal debe elegirse de tal manera que el ancho de la señal recibida ocupe solamente un 80 por ciento del ancho de banda del filtro

Además debe considerarse la tolerancia en la frecuencia central, la cual debe restarse al ancho de banda del filtro [2].

A.3. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DEL PROTOCOLO SIMPLICITI®

A.3.1. La API MRFI

A continuación se presenta una lista de las principales funciones de esta API.

A.3.1.1. oid mrfiSpiInnit(void)

Inicializa el transceptor de RF

A.3.1.2. uint8_t mrfiSpiCmdStrobe(uint8_t addr)

Envía un Command Strobe al transceptor RF (ver sección 2.1.2.2)

A.3.1.3. uint8_t mrfiSpiReadReg(uint8_t addr)

Realiza la lectura de un registro del transceptor RF (ver sección 2.1.2.2)

A.3.1.4. void mrfiSpiWriteReg(uint8_t addr, uint8_t value)

Realiza la escritura de un registro del transceptor RF (ver sección 2.1.2.2)

A.3.1.5. void mrfiSpiWriteTxFifo(uint8_t * pWriteData, uint8_t len)

Permite escribir en la cola de transmisión del transceptor RF (ver sección 2.1.2.2)

A.3.1.6. void mrfiSpiReadRxFifo(uint8_t * pReadData, uint8_t len)

Permite leer de la cola de transmisión del transceptor RF (ver sección 2.1.2.2)

A.3.1.7. uint8_t spiRegAccess(uint8_t addrByte, uint8_t writeValue)

Permite el acceso tanto en modo de lectura o de escritura, modo de acceso simple o acceso en ráfaga, command strobe, acceso a PATABLE FIFO o ACCESO a registros de configuración (ver sección 2.1.2.2)

A.3.2. La API del Nivel de Aplicación de SimpliciTI®

A continuación se considerará cada una de las funciones que componen la API del nivel de aplicación del protocolo SimpliciTI®. Para cada función se mostrará su cabecera en lenguaje C seguida de una breve explicación.

A.3.2.1. `smpIStatus_t SMPL_Init(uint8_t (*callback)(linkID_t))`

Esta función causa la inicialización de todos los parámetros de la capa NWK. El argumento de esta función es un puntero a una función que recibe como parámetro la variable linkID y retorna un valor de tipo uint8

A.3.2.2. `smpIStatus_t SMPL_Link(linkID_t *linkID)`

Solicita, como Cliente la creación de un enlace con otro dispositivo que está escuchando (Servidor). Los dispositivos que se encuentran escuchando responderán. Una vez que la respuesta es recibida la función asigna un identificador al enlace (linkID), el cual debe ser utilizado para cualquier intercambio de mensajes posterior con dicho dispositivo.

A.3.2.3. `smpIStatus_t SMPL_Unlink(linkID_t linkID)`

Destruye la conexión asociada con el linkID proporcionado. Esta función es parte de la AIP extendida.

Esta llamada deshabilitará incondicionalmente la entrada en la tabla de conexiones local y, además, enviará un mensaje al puerto de la aplicación Link requiriendo que el dispositivo elimine su lado de la conexión.

A.3.2.4. `smpIStatus_t SMPL_LinkListen(linkID_t *linkID)`

Esta función es el complemento de la función **SMPL_Link()**. Esta función espera por un mensaje Link de un cliente. Solamente el primer mensaje Link válido es aceptado como resultado de esta llamada.

A.3.2.5. `smpIStatus_t SMPL_SendOPT(linkID_t lid, uint8 *msg, uint8 len, uint8 opt)`

Este llamado envía el mensaje **msg** de longitud **len** al dispositivo con identificador de enlace **lid** aplicando las opciones de envío presentes en los bits de la variable **opt**. El lid es el identificador de enlace obtenido al establecer el enlace por medio del llamado **SMPL_Link()**.

Esta función retorna después de que el mensaje es enviado. El tamaño del mensaje está condicionado al tamaño de la FIFO de transmisión del transceptor de radio. Si se requiere enviar paquetes de mayor tamaño el permitido por la FIFO, es la aplicación la responsable de la segmentación y reensamble de los paquetes.

A.3.2.6. `smpIStatus_t SMPL_Send(linkID_t lid, uint8 *msg, uint8 len)`

Este llamado es mantenido para permitir compatibilidad hacia atrás, ya que las primeras versiones de SimpiciTI® no soportaban el parámetro opt presente en la función `smpIStatus_t SMPL_SendOPT`.

A.3.2.7. `smpIStatus_t SMPL_Receive(linkID_t lid, uint8 *msg, uint8 *len)`

Este llamado verifica si en el buffer de paquetes existe un mensaje que proceda del dispositivo con identificador de enlace lid. En caso afirmativo, y si existen varios paquetes,

retorna el primero que fue recibido. Los buffers de paquetes son llenados como resultado de las interrupciones generadas por el transceptor RF cuando recibe nuevos paquetes. El llamado a `SMPL_Receive()` no afecta el estado del transceptor, simplemente verifica si en el buffer existe algún paquete que previamente haya sido almacenado. El identificador de enlace proporcionado en este llamado, debe haber sido obtenido previamente al crear un enlace por medio del llamado `SMPL_Link()`.

A.3.2.8. `smplStatus_t SMPL_Ping(linkID_t lid)`

Este llamado es parte de la API extendida. Provee un acceso desde la capa de aplicación a la aplicación ping de la capa NWK. Esto simplemente significa que cualquier aplicación puede determinar la presencia del dispositivo en el que un punto reside.

Si la característica de agilidad de frecuencia está habilitada, El llamado a ping resulta en un escaneo de canales si no se recibe una respuesta en el canal actual.

A.3.2.9. `smplStatus_t SMPL_Commission(addr_t *addr, uint_8 lPort, uint8_t rPort, linkID *lid)`

Este llamado es parte de la API extendida. Es usado para establecer una configuración estática de una conexión. Puede ser usada para eliminar la necesidad de una sesión de enlace entre puntos. Es una configuración de conexión que requiere conocimiento de la dirección del punto y la asignación tanto del puerto local como del remoto. Si el llamado es exitoso, retorna el identificador de enlace de esta conexión, el cual es asignado por la capa NWK.

A.3.2.10. `smplStatus_t SMPL_ioctl(ioctlObject_t object, ioctlAction_t action, void *val)`

Este es el medio por el cual la aplicación puede configurar los parámetros de la capa NWK en tiempo de ejecución. La tabla A.11 muestra los objetos de la capa NWK que pueden ser accedidos por el llamado a esta función.

Tabla A.11 Objetos de la Capa NWK Configurables Desde la Capa de Aplicación en Tiempo de Ejecución

Objeto	Descripción
IOCTL_OBJ_FREQ	Radio frecuencia
IOCTL_OBJ_CRYPTKEY	Establecer clave de encriptación
IOCTL_OBJ_RAW_IO	Capa de aplicación accede a la encabezado del paquete para enviar o recibir un paquete directamente
IOCTL_OBJ_RADIO	Capa de aplicación accede a algunos controles del radio
IOCTL_OBJ_AP_JOIN	Contexto
IOCTL_OBJ_ADDR	Obtener/establecer dirección de dispositivo
IOCTL_OBJ_CONNOBJ	Objeto de conexión
IOCTL_OBJ_FWVER IOCTL_OBJ_PROTOVER	Versiones del <i>firmware</i> y el protocolo
IOCTL_OBJ_NVONJ	Objetos de memoria no volátiles
IOCTL_OBJ_TOKEN	Token de Enlace o Join

ANEXO B ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA

B.1. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA PUNTO A PUNTO

B.1.1. El Conjunto Extendido de Registros de la tarjeta eZ430-RF2500

Como se menciona en la sección 2.1.2.2 del documento principal, el transceptor CC2500 se configura mediante un conjunto de registros de un byte que son accedidos por medio de la interfaz SPI del transceptor. Además, en la sección 3.1.2 del mismo documento, se indica que la implementación del protocolo de comunicaciones entre la aplicación ACADPP y la tarjeta eZ430-RF2500T se basa en un conjunto extendido de registros creado por el desarrollador del firmware del microcontrolador MSP430F2274 que permiten almacenar datos adicionales de la configuración y almacenar los resultados de las pruebas. Cada registro puede permitir accesos de sólo lectura o de lectura y escritura. Este conjunto extendido de registros incluye a los registros del transceptor CC2500 que son mostrados en el anexo A.2.1. La tabla B.1 muestra una descripción de los registros adicionales que se fueron creados para formar el conjunto extendido de registros.

Tabla B. 1 Registros Implementados como Extensión del Conjunto de Registros del Transceptor CC2500

Dirección	Registro	Descripción	Lectura	Escritura
0x80	base_sec	Byte que contiene la secuencia de bits base que será enviada en el paquete. La carga útil de los paquetes se forma colocando el contenido de este byte en cada uno de los bytes del paquete	SI	SI
0x81	npkt1	Byte alto de la cantidad de paquetes a transmitir	SI	SI
0x82	npkt0	Byte bajo de la cantidad de paquetes a transmitir	SI	SI
0x83	nbitserrados2	Byte alto de la cantidad de bits errados	SI	NO
0x84	nbitserrados1	Byte medio de la cantidad de bits errados	SI	NO
0x85	nbitserrados0	Byte bajo de la cantidad de bits errados	SI	NO
0x86	npaquetesrx1	Byte alto de la cantidad de paquetes recibidos	SI	NO
0x87	npaquetesrx0	Byte bajo de la cantidad de paquetes recibidos	SI	NO
0x88	npaqueteserrados1	Byte alto de la cantidad de paquetes errados	SI	NO
0x89	npaqueteserrados0	Byte bajo de la cantidad de paquetes errados	SI	NO
0x8A	rss_i_int	Parte entera del RSSI promedio	SI	NO
0x8B	rss_i_dec	Parte decimal del RSSI promedio	SI	NO
0x8C	lqi_i_int	Parte entera de LQI promedio	SI	NO
0x8D	lqi_i_dec	Parte decimal de LQI promedio	SI	NO
0xA0	estadoTx	Control de estado de la transmisión	SI	SI
0xA1	estadoRx	Control de estado de la recepción	SI	SI

ANEXO C. GRAFICAS Y TABULACIONES DE LOS RESULTADOS EN EL ENLACE P2P.

C.1. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE WIRELESS INSITE®

Como se mencionó en la sección 3.3 del documento principal del presente trabajo de grado, se hizo uso de la herramienta de Wireless InSite® para simular el comportamiento del sistema en el escenarios de interiores y exteriores. La figura C.1 y la tabla C.1 muestran la variación de la potencia de recepción en el escenario de exteriores al variar la distancia entre el transmisor y el receptor. Puede observarse una tendencia general a la disminución de la potencia en recepción al aumentar la distancia entre el transmisor y el receptor.

- Exteriores

Figura C. 1 Potencia contra Distancia en Exteriores usando Wireless InSite®

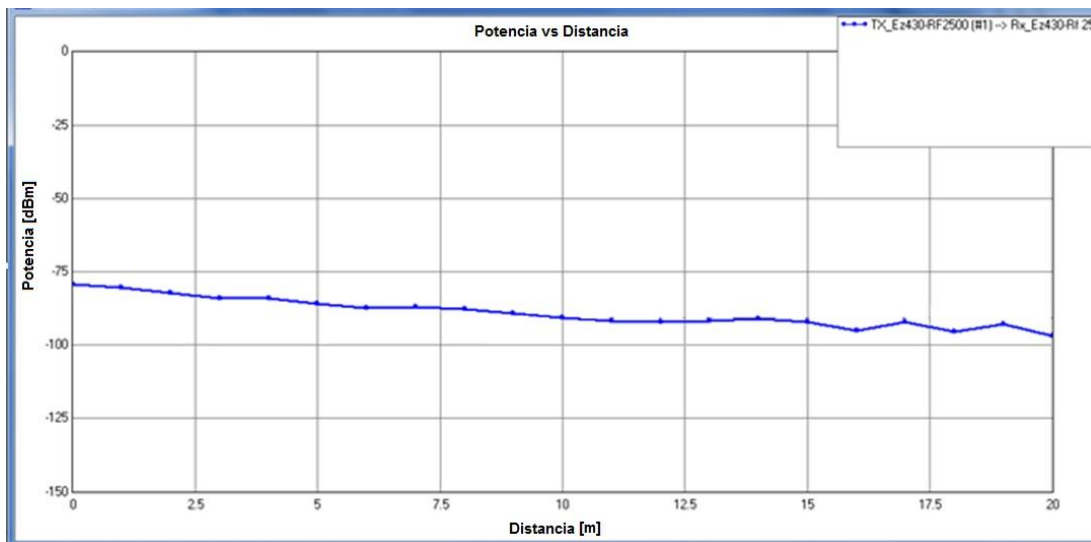


Tabla C. 1 Valores de RSSI en Exteriores Según la Distancia entre Tx y Rx Usando Wireless InSite®

Simulación Wireless InSite (Exteriores -10 dBm)	
DISTANCIA [M]	RSSI
0	-76,89
1	-77,86
2	-79,64
3	-83,21
4	-83,21
5	-85,00
6	-86,79
7	-85,89

8	-86,79
9	-88,57
10	-90,36
11	-91,25
12	-92,14
13	-91,25
14	-89,46
15	-91,25
16	-94,82
17	-92,14
18	-95,71
19	-92,14
20	-96,61

La figura C.2 y la tabla C.2 muestran la variación de la potencia en el escenario de interiores de recepción al variar la distancia entre el transmisor y el receptor. Para distancias inferiores a los 15 metros puede observarse que existe una tendencia a la disminución de la potencia al aumentar la distancia. También se observan dos puntos en los que el RSSi alcanza un valor mínimo. Esto se atribuye al efecto de interferencia entre los rayos que llegan al receptor a través de distintas trayectorias, el cual en dichos puntos es de tipo destructivo. Sin embargo, para distancias mayores a los 20 metros, existe una tendencia al aumento de la potencia de recepción para finalmente estabilizarse y mostrar poca variación a partir de los, aproximadamente, 40 metros. Esto se debe al confinamiento de la energía producido por el efecto guía de onda, así como a la interferencia constructiva entre los rayos que alcanzan el receptor por diferentes trayectorias.

- Interiores -10 dBm

Figura C. 2 Potencia contra Distancia en Interiores usando Wireless InSite®

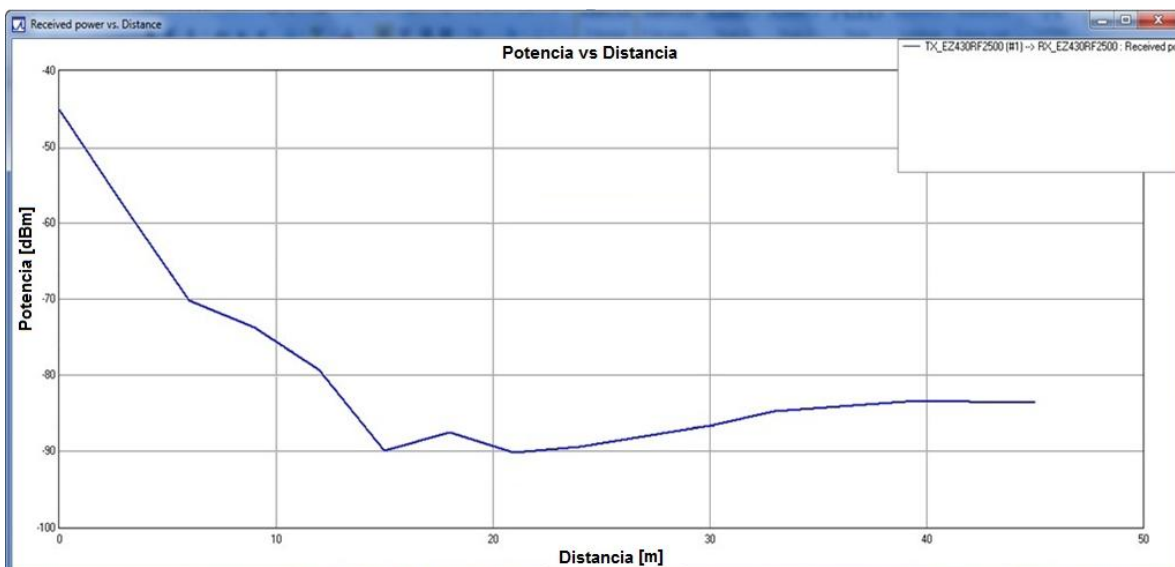


Tabla C. 2 Valores de RSSI en Interiores Según la Distancia entre Tx y Rx Usando Wireless InSite®

Simulación Wireless InSite (Interiores -10 dBm)	
DISTANCIA	RSSI
0	-45,71
3	-58,21
6	-70,71
9	-74,29
12	-80,54
15	-89,46
18	-90,14
21	-86,79
24	-85,00
27	-91,04
20	-87,68
33	-85,89
36	-79,64
39	-83,21
41	-84,11
44	-83,00

C.2. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LAS MEDICIONES PRÁCTICAS REALIZADAS

C.2.1. RSSI y LQI en Interiores transmitiendo a -10dBm

Las figuras C.3 a C.8 y las tablas C.3 a C.8 muestran los resultados de RSSI y LQI para el escenario de interiores. En todas las figuras las gráficas con línea punteada de color azul corresponden a las pruebas en las que se habilitó el blanqueamiento mientras que las gráficas con línea continua corresponden a las pruebas en las que no se empleó blanqueamiento. En las gráficas correspondientes al RSSI, la curva de color rojo es la obtenida mediante el modelo de simulación correspondiente en la herramienta Wireless InSite®, mientras que la recta horizontal punteada de color negro, representa el umbral de sensibilidad nominal. En todas las gráficas, el RSI muestra una tendencia a mantenerse por debajo a los valores obtenidos en simulación, sin embargo, todas las gráficas, a excepción de las gráficas correspondientes a MSK a 50Kbps exhiben un patrón de máximos y mínimos similar al predicho en simulación. En el caso de MSK a 50Kbps se observa que en existen puntos de desconexión.

Por otra parte, se observa que en algunos casos en las pruebas en las que se empleó blanqueamiento se tuvo valores de RSSI mayores a los obtenidos al no usar blanqueamiento, mientras que en otros ocurrió lo contrario. Por tal razón, no puede

observarse una tendencia general que permita concluir cuál de las dos formas de transmitir permite obtener mayor potencia de recepción o mejor calidad de enlace.

Figura C. 3 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para FSK a 2,4 Kbps

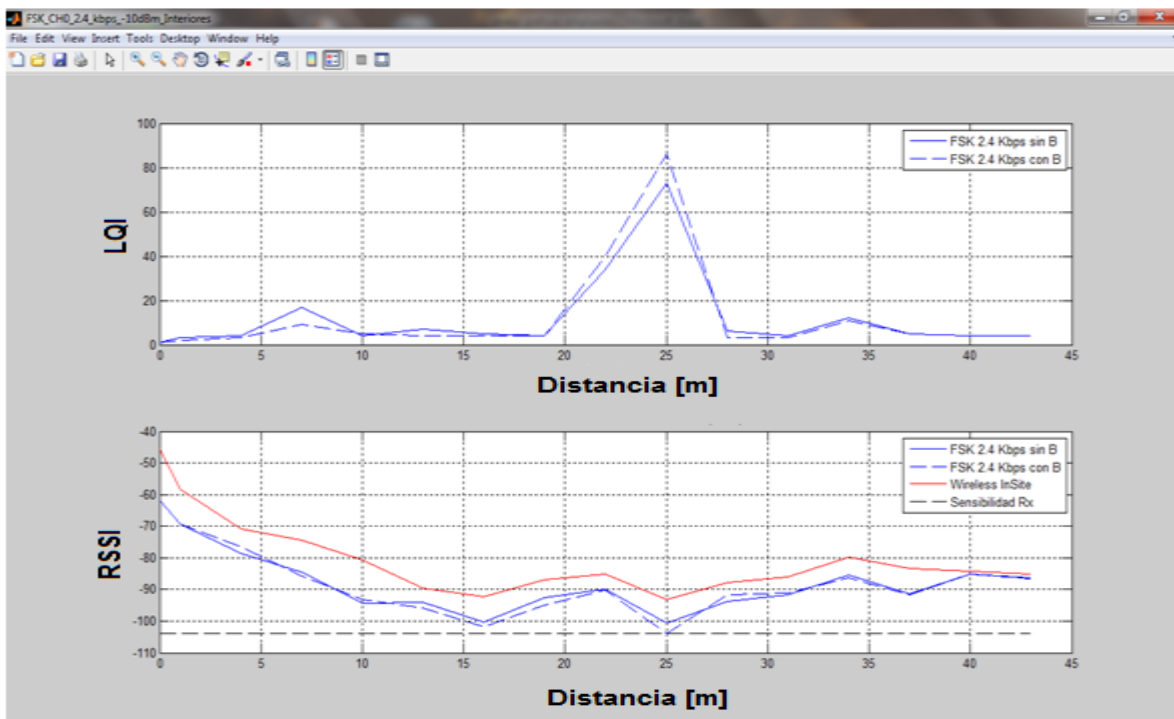


Tabla C. 3 Mediciones Realizadas para en Interiores FSK a 2,4 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) FSK 2,4 Kbps		(LQI) FSK 2,4 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
0	-62,00	-62,00	1,0	1,0
1	-69,48	-69,36	3,0	2,0
4	-78,46	-76,46	4,0	3,0
7	-84,68	-85,76	17,0	9,0
10	-94,50	-93,30	4,0	5,0
13	-94,10	-95,88	7,0	4,0
16	-100,42	-101,78	5,0	4,0
19	-92,56	-94,98	4,0	4,0
22	-89,80	-90,06	34,0	40,0
25	-100,54	-103,98	73,0	86,0
28	-93,86	-91,54	6,0	3,0
31	-91,56	-91,18	4,0	3,0
34	-85,34	-86,44	12,0	11,0
37	-91,48	-91,56	5,0	5,0
40	-85,26	-85,22	4,0	4,0
43	-86,20	-86,66	4,0	4,0

Figura C. 4 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para FSK a 10 Kbps

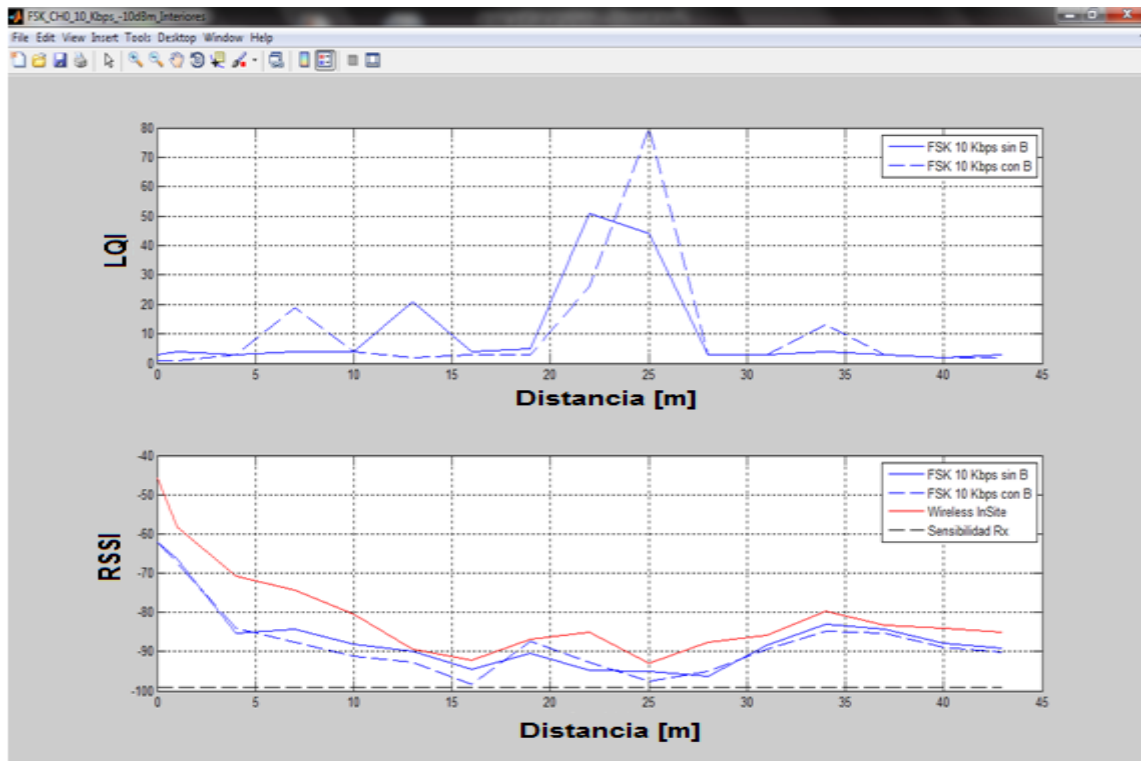


Tabla C. 4 Mediciones Realizadas en Interiores para FSK a 10 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) FSK 10 Kbps		(LQI) FSK 10 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
0	-62,00	-62,00	3,0	1,0
1	-66,38	-67,48	4,0	1,0
4	-85,36	-83,96	3,0	3,0
7	-84,42	-87,64	4,0	19,0
10	-88,24	-91,10	4,0	4,0
13	-89,98	-92,80	21,0	2,0
16	-94,42	-98,46	4,0	3,0
19	-90,42	-87,38	5,0	3,0
22	-94,76	-92,70	51,0	26,0
25	-95,06	-97,66	44,0	80,0
28	-96,36	-95,12	3,0	3,0
31	-88,30	-89,30	3,0	3,0
34	-83,12	-84,92	4,0	13,0
37	-84,40	-85,24	3,0	3,0
40	-87,84	-88,88	2,0	2,0
43	-89,26	-90,08	3,0	2,0

Figura C. 5 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para GFSK a 2,4 Kbps

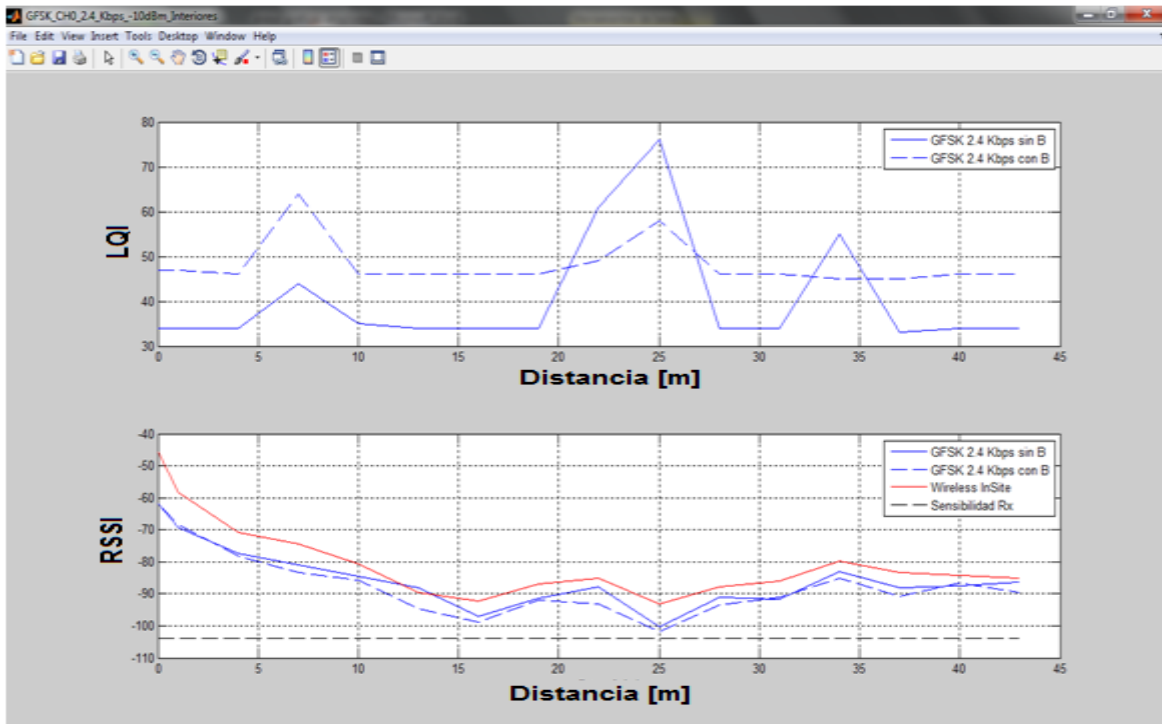


Tabla C. 5 Mediciones Realizadas en Interiores para GFSK a 2,4 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) GFSK 2,4 Kbps		(LQI) GFSK 2,4 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
0	-62,00	-62,00	34,0	47,0
1	-69,24	-68,48	34,0	47,0
4	-77,42	-78,18	34,0	46,0
7	-80,86	-83,44	44,0	64,0
10	-84,40	-85,86	35,0	46,0
13	-88,14	-94,52	34,0	46,0
16	-97,04	-98,80	34,0	46,0
19	-91,24	-91,94	34,0	46,0
22	-87,76	-93,24	61,0	49,0
25	-100,30	-101,94	76,0	58,0
28	-91,16	-93,32	34,0	46,0
31	-91,60	-90,96	34,0	46,0
34	-83,02	-84,98	55,0	45,0
37	-88,14	-90,88	33,0	45,0
40	-87,48	-86,70	34,0	46,0
43	-86,36	-89,48	34,0	46,0

Figura C. 6 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para GFSK a 10 Kbps

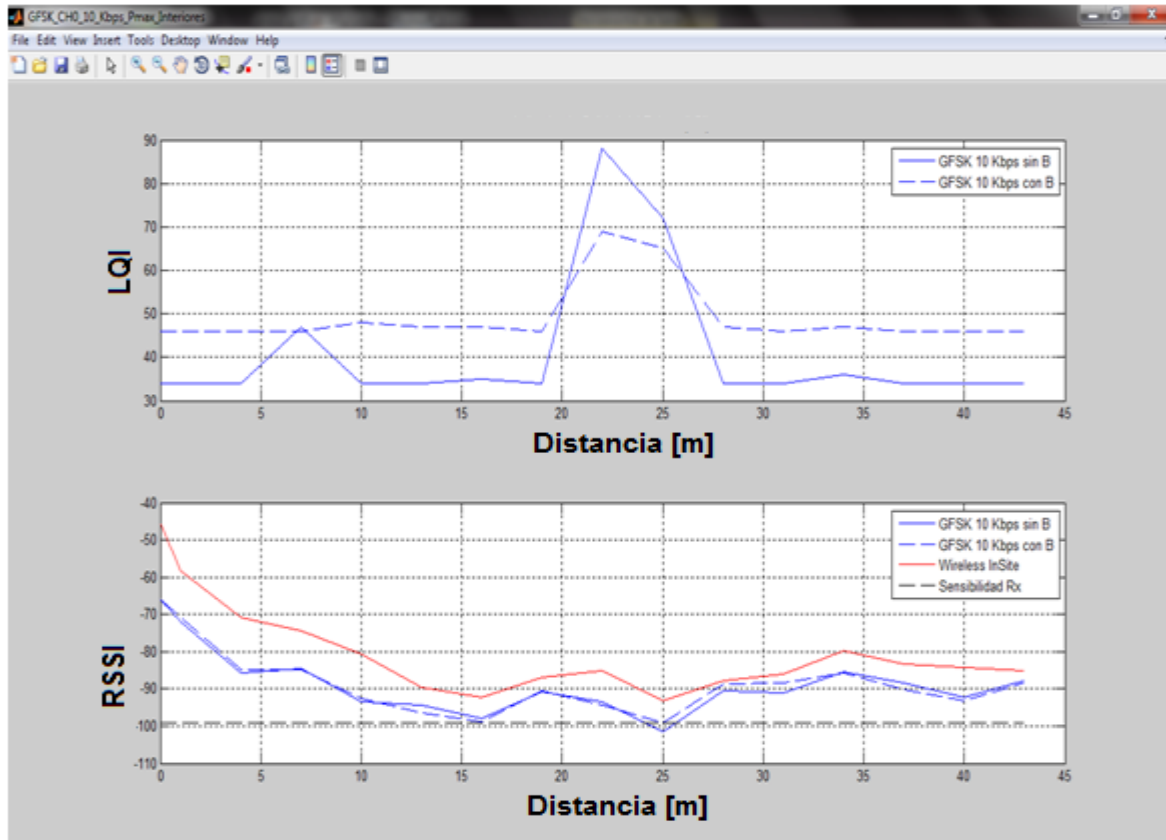


Tabla C. 6 Mediciones Realizadas en Interiores para GFSK a 10 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) GFSK 10 Kbps		(LQI) GFSK 10Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
0	-66,00	-66,00	34,0	46,0
1	-71,88	-70,84	34,0	46,0
4	-85,66	-84,72	34,0	46,0
7	-84,48	-84,90	47,0	46,0
10	-93,54	-92,56	34,0	48,0
13	-94,28	-96,48	34,0	47,0
16	-98,00	-98,90	35,0	47,0
19	-90,72	-90,62	34,0	46,0
22	-93,56	-94,46	88,0	69,0
25	-101,62	-99,02	72,0	65,0
28	-90,42	-88,60	34,0	47,0
31	-91,04	-88,54	34,0	46,0
34	-85,32	-85,80	36,0	47,0
37	-88,50	-90,34	34,0	46,0
40	-92,42	-93,16	34,0	46,0
43	-87,88	-88,28	34,0	46,0

Figura C. 7 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para MSK a 250 Kbps

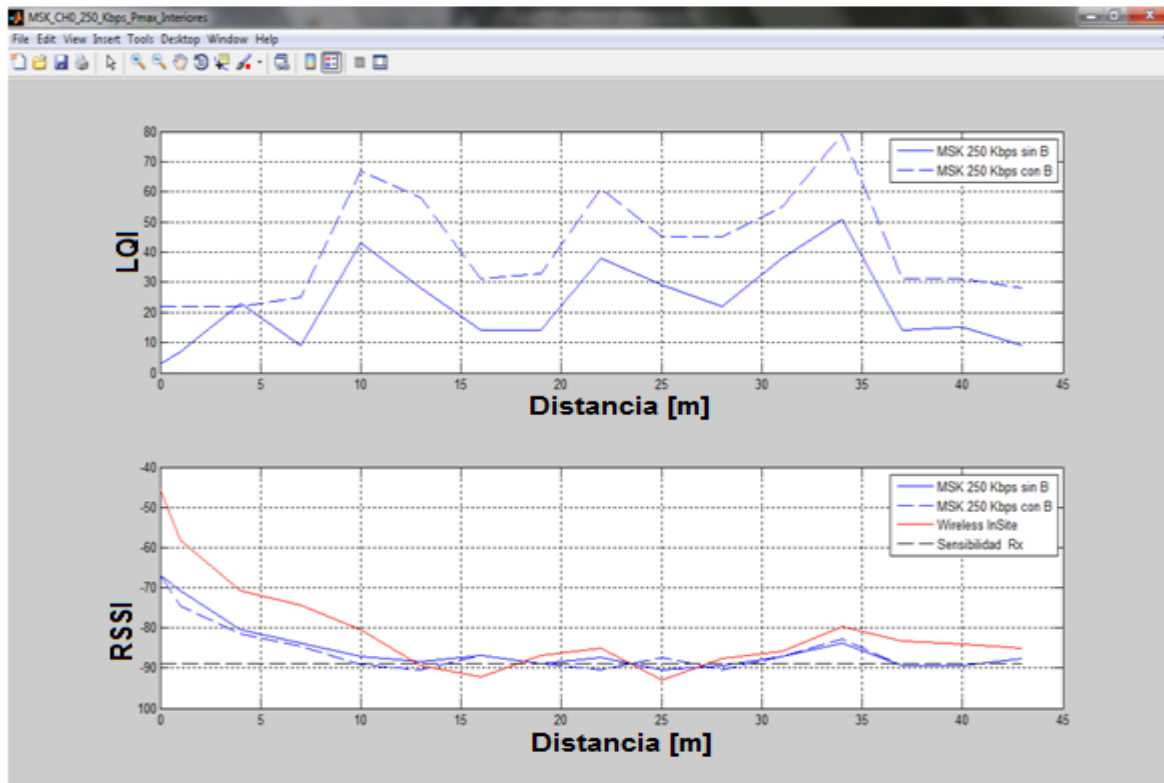


Tabla C. 7 Mediciones Realizadas en Interiores para MSK a 250 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) MSK 250 Kbps		(LQI) MSK 250 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
0	-67,00	-67,00	3,0	22,0
1	-70,72	-74,72	7,0	22,0
4	-80,52	-81,52	23,0	22,0
7	-83,68	-84,68	9,0	25,0
10	-87,04	-89,04	43,0	67,0
13	-88,44	-90,44	28,0	58,0
16	-86,90	-86,90	14,0	31,0
19	-88,82	-88,82	14,0	33,0
22	-87,38	-90,38	38,0	61,0
25	-90,46	-87,46	29,0	45,0
28	-89,32	-90,32	22,0	45,0
31	-87,14	-87,14	38,0	55,0
34	-83,74	-82,74	51,0	79,0
37	-89,44	-89,44	14,0	31,0
40	-89,42	-89,42	15,0	31,0
43	-87,62	-87,62	9,0	28,0

Figura C. 8 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Interiores para MSK a 500 Kbps

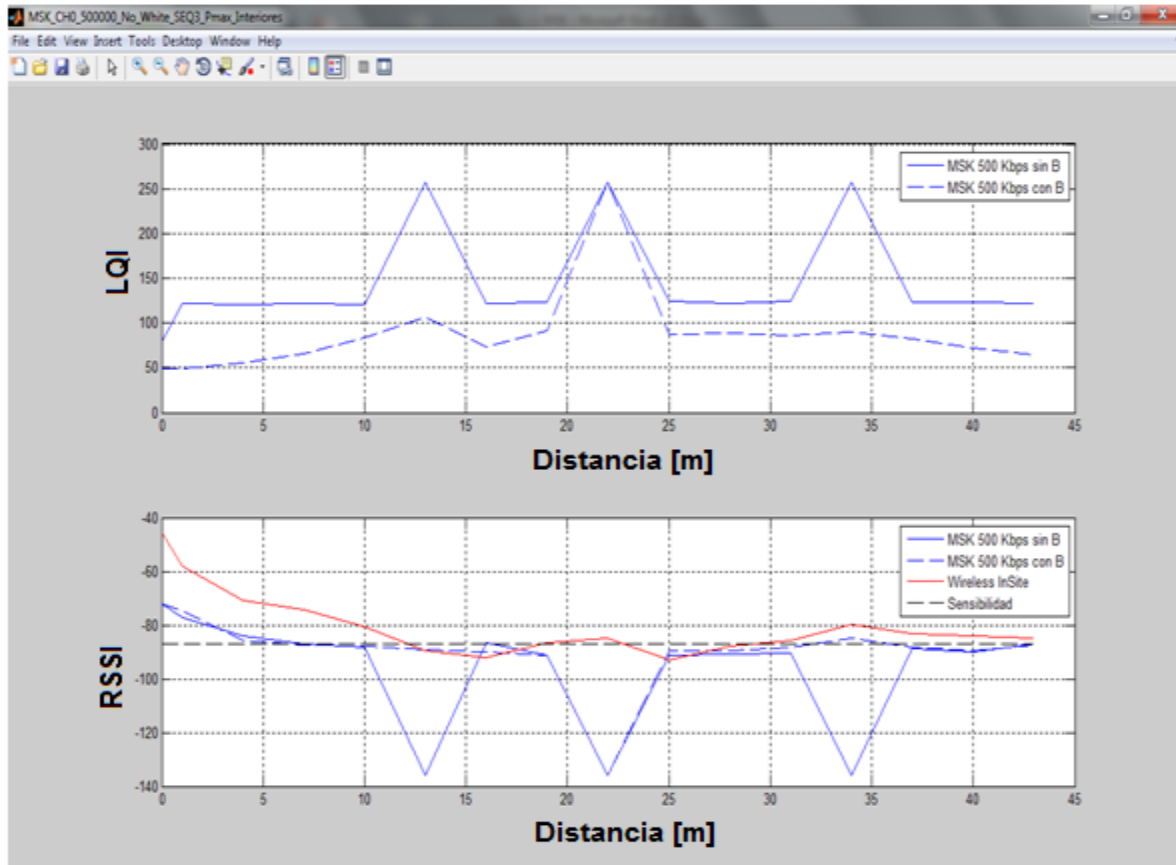


Tabla C. 8 Mediciones Realizadas en Interiores para MSK a 500 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) MSK 500 Kbps		(LQI) MSK 500 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
0	-72,00	-72,00	80,0	49,0
1	-77,30	-74,58	122,0	49,0
4	-83,84	-85,62	121,0	56,0
7	-87,22	-87,32	122,0	66,0
10	-88,46	-88,04	121,0	83,0
13	NC	-89,00	NC	107,0
16	-86,50	-89,82	122,0	74,0
19	-91,26	-91,14	123,0	91,0
22	NC	NC	NC	NC
25	-91,12	-89,76	124,0	88,0
28	-90,90	-89,70	122,0	89,0
31	-90,54	-88,46	124,0	86,0
34	NC	-85,00	NC	90,0
37	-88,72	-88,30	123,0	82,0
40	-89,86	-89,74	123,0	72,0
43	-87,18	-87,54	122,0	65,0

C.2.2. RSSI y LQI en Exteriores transmitiendo a -10dBm

Las figuras C.9 a C.14 y las tablas C.9 a C.14 muestran los resultados de RSSI y LQI para el escenario de exteriores. En todas las figuras las gráficas con línea punteada de color azul corresponden a las pruebas en las que se habilitó el blanqueamiento mientras que las gráficas con línea continua corresponden a las pruebas en las que no se empleó blanqueamiento. En las gráficas correspondientes al RSSI, la curva de color rojo es la obtenida mediante el modelo de simulación correspondiente en la herramienta Wireless InSite®, mientras que la recta horizontal punteada de color negro, representa el umbral de sensibilidad nominal. En todas las gráficas, el RSI muestra una tendencia a mantenerse por debajo a los valores obtenidos en simulación, sin embargo, todas las gráficas, a excepción de las gráficas correspondientes a MSK a 50Kbps exhiben un patrón de máximos y mínimos similar al predicho en simulación. En el caso de MSK a 500Kbps se observa que a partir de 8 metro se produce la desconexión.

Por otra parte, se observa que en algunos casos en las pruebas en las que se empleó blanqueamiento se tuvo valores de RSSI mayores a los obtenidos al no usar blanqueamiento, mientras que en otros ocurrió lo contrario. Por tal razón, no puede observarse una tendencia general que permita concluir cuál de las dos formas de transmitir permite obtener mayor potencia de recepción o mejor calidad de enlace.

Tabla C. 9 Mediciones Realizadas en Exteriores para FSK a 2,4Kbps

Distancia(m)	(RSSI) FSK 2,4 Kbps		(LQI) FSK 2,4 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
1	-78,80	-77,70	12,0	6,0
2	-85,64	-85,64	13,0	12,0
3	-85,92	-86,60	4,0	4,0
4	-87,58	-84,86	8,0	8,0
5	-86,64	-89,98	12,0	14,0
6	-92,80	-92,22	29,0	29,0
7	-88,06	-91,74	19,0	21,0
8	-89,96	-88,74	24,0	17,0
9	-90,52	-91,74	28,0	21,0
10	-92,52	-91,74	30,0	25,0
11	-93,52	-93,74	42,0	24,0
12	-95,52	-94,74	46,0	40,0
13	-92,52	-95,74	28,0	19,0
14	-91,52	-89,74	15,0	13,0
15	-97,52	-91,74	32,0	21,0
16	-95,52	-96,74	28,0	38,0
17	-95,52	-91,74	18,0	11,0
18	-90,52	-94,74	31,0	35,0
19	-95,52	-91,74	25,0	21,0
20	-93,52	-93,74	20,0	21,0

Figura C. 9 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para FSK a 2,4 Kbps

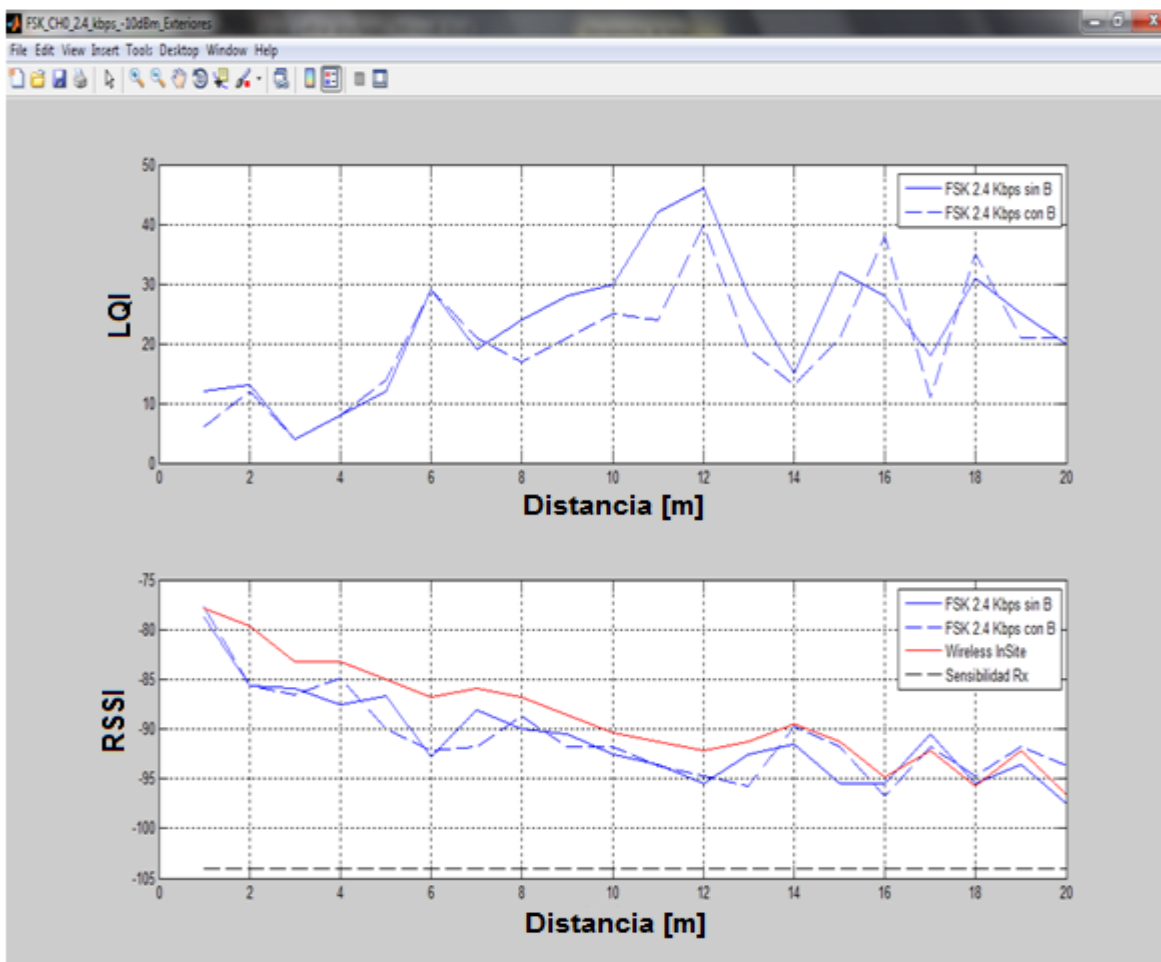


Tabla C. 10 Mediciones Realizadas en Exteriores para FSK a 10Kbps

Distancia(m)	(RSSI) FSK 10 Kbps		(LQI) FSK 10 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
1	-80,90	-79,72	3,0	3,0
2	-81,64	-83,16	2,0	2,0
3	-84,32	-85,18	2,0	4,0
4	-86,42	-87,16	3,0	2,0
5	-87,96	-86,72	4,0	3,0
6	-90,60	-90,18	38,0	12,0
7	-87,42	-88,66	7,0	8,0
8	-91,14	-88,66	9,0	8,0
9	-90,26	-90,66	16,0	8,0

10	-92,26	-90,66	13,0	10,0
11	-92,26	-90,66	16,0	8,0
12	-95,26	-94,66	19,0	8,0
13	-93,26	-95,66	40,0	30,0
14	-90,26	-90,66	16,0	16,0
15	-92,26	-92,26	12,0	12,0
16	-97,23	-97,26	46,0	26,0
17	-93,29	-92,26	10,0	11,0
18	-94,36	-93,28	16,0	13,0
19	-92,42	-93,36	13,0	10,0
20	-95,26	-96,26	16,0	11,0

Figura C. 10 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para FSK a 10 Kbps

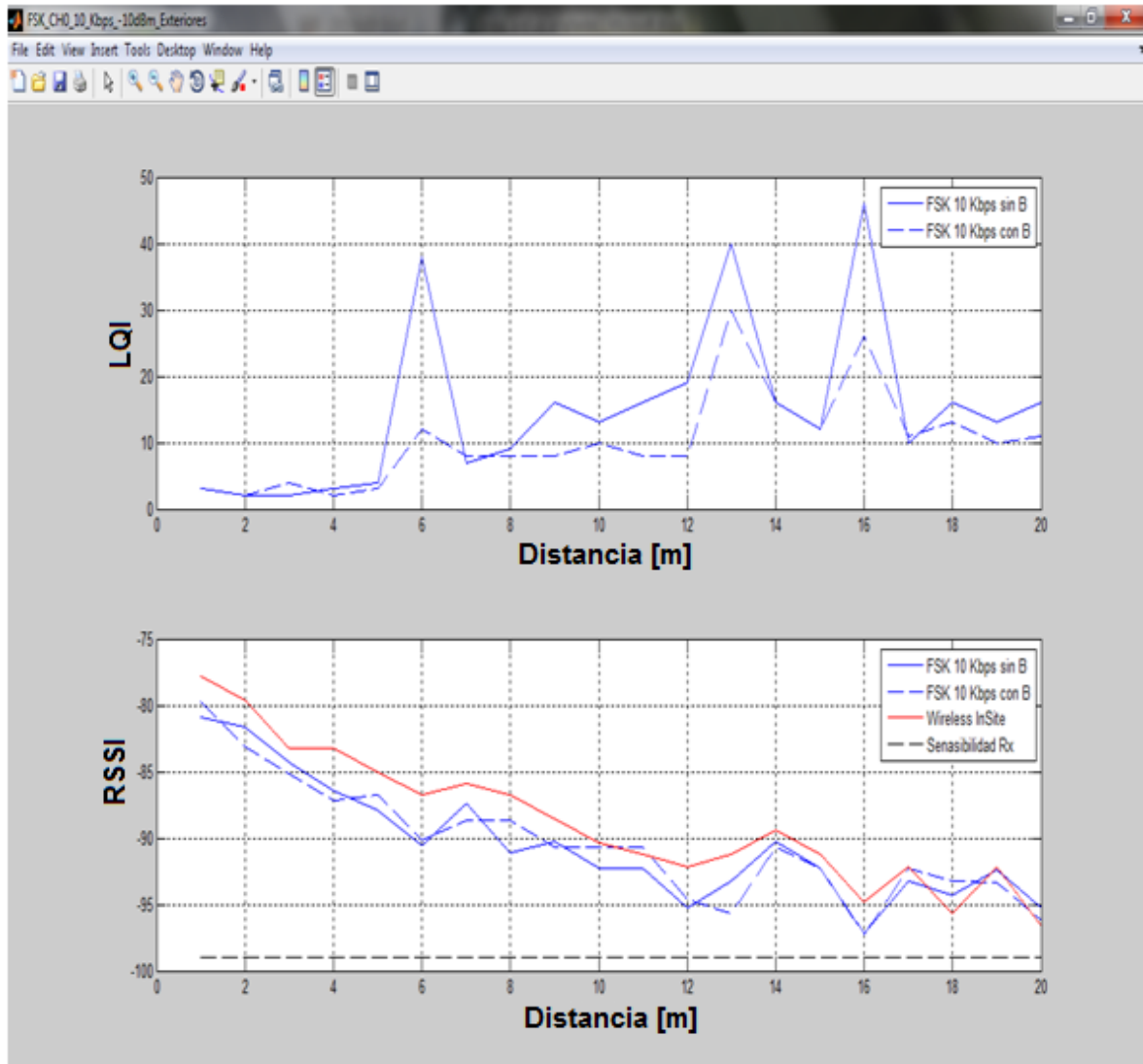


Figura C. 11 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para GFSK a 2,4 Kbps

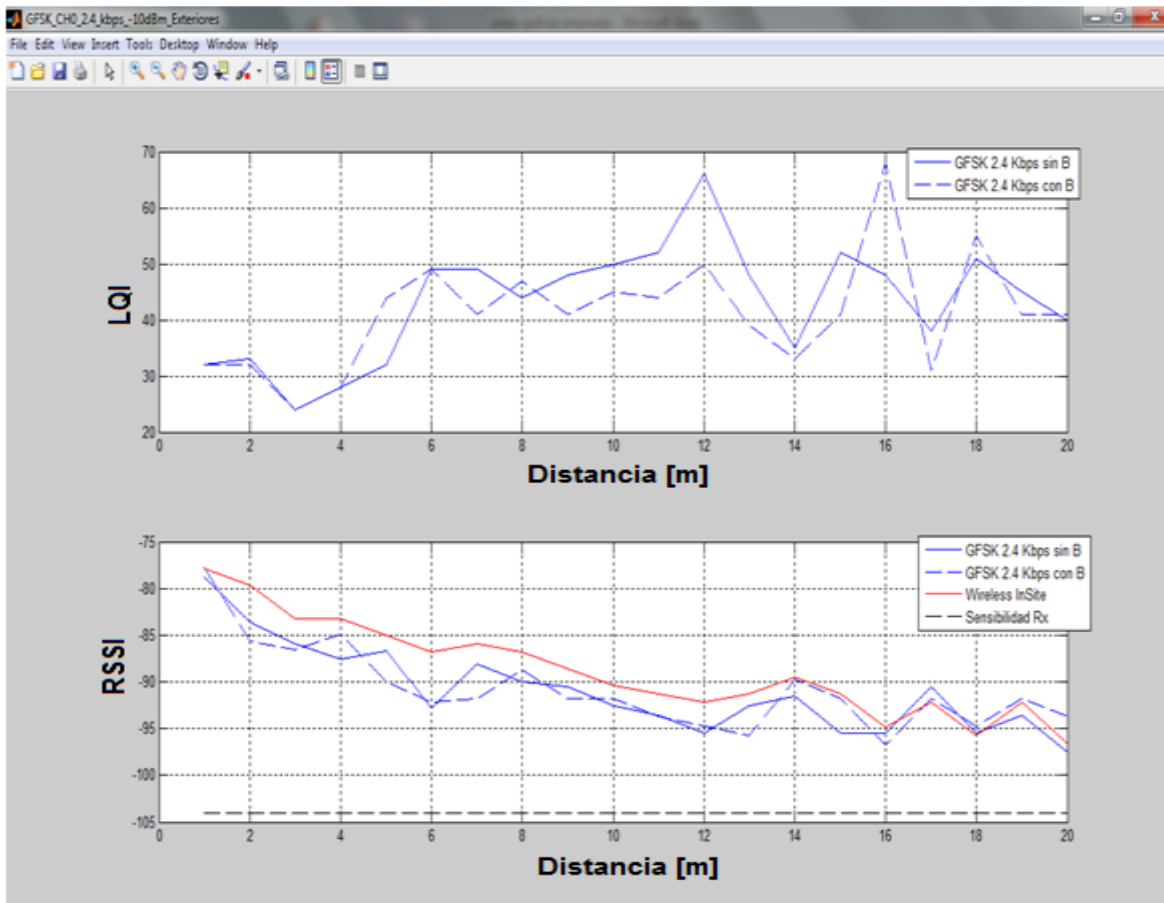


Tabla C. 11 Mediciones Realizadas en Exteriores para GFSK a 2,4Kbps

Distancia(m)	(RSSI) GFSK 2,4 Kbps		(LQI) GFSK 2,4 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
1	-80,97	-79,78	32,0	26,0
2	-81,67	-83,19	33,0	32,0
3	-84,45	-85,12	24,0	24,0
4	-86,39	-87,14	28,0	28,0
5	-87,42	-85,92	32,0	44,0
6	-90,70	-90,19	49,0	49,0
7	-87,56	-88,76	49,0	41,0
8	-91,14	-88,65	44,0	47,0
9	-90,26	-90,66	48,0	41,0

10	-92,23	-90,66	50,0	45,0
11	-92,23	-91,56	52,0	44,0
12	-95,22	-93,46	66,0	50,0
13	-93,24	-92,97	48,0	39,0
14	-90,25	-90,68	35,0	33,0
15	-92,36	-92,21	52,0	41,0
16	-97,43	-96,23	48,0	68,0
17	-93,37	-91,29	38,0	31,0
18	-94,26	-93,28	51,0	55,0
19	-92,42	-93,46	45,0	41,0
20	-95,56	-95,56	40,0	41,0

Figura C. 12 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para GFSK a 10 Kbps

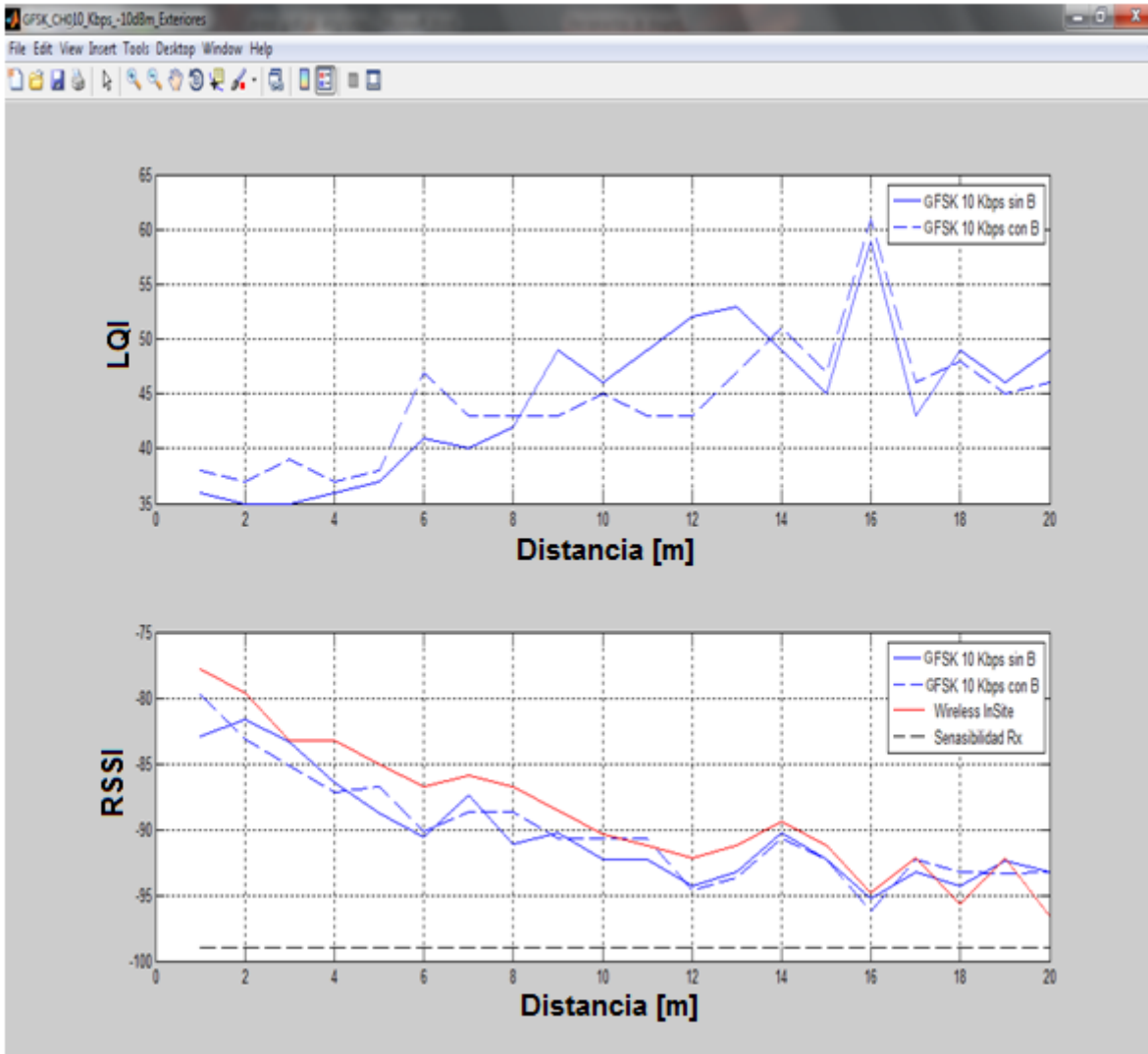


Tabla C. 12 Mediciones Realizadas en Exteriores para GFSK a 10 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) GFSK 10 Kbps		(LQI) GFSK 10 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
1	-82,90	-79,72	36,0	38,0
2	-81,67	-83,16	35,0	37,0
3	-83,32	-85,18	35,0	39,0
4	-86,42	-87,16	36,0	37,0
5	-88,76	-86,72	37,0	38,0
6	-90,60	-90,18	41,0	47,0
7	-87,42	-88,66	40,0	43,0
8	-91,14	-88,66	42,0	43,0
9	-90,26	-90,66	49,0	43,0
10	-92,26	-90,66	46,0	45,0
11	-92,26	-90,66	49,0	43,0
12	-94,26	-94,66	52,0	43,0
13	-93,26	-93,66	53,0	47,0
14	-90,26	-90,66	49,0	51,0
15	-92,26	-92,26	45,0	47,0
16	-95,23	-96,26	59,0	61,0
17	-93,29	-92,26	43,0	46,0
18	-94,36	-93,28	49,0	48,0
19	-92,42	-93,36	46,0	45,0
20	-93,26	-93,26	49,0	46,0

Tabla C. 13 Mediciones Realizadas en Exteriores para MSK a 250 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) MSK 250 Kbps		(LQI) MSK 250 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
1	-73,48	-75,94	19,0	40,0
2	-82,56	-82,40	23,0	45,0
3	-80,70	-82,88	5,0	23,0
4	-83,56	-82,16	11,0	28,0
5	-85,32	-85,06	11,0	26,0
6	-85,32	-87,56	13,0	60,0
7	-87,22	-87,90	14,0	28,0
8	-86,92	-88,19	14,0	28,0
9	-88,00	-88,72	54,0	28,0
10	-89,00	-88,95	54,0	28,0

Figura C. 13 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para MSK a 250 Kbps

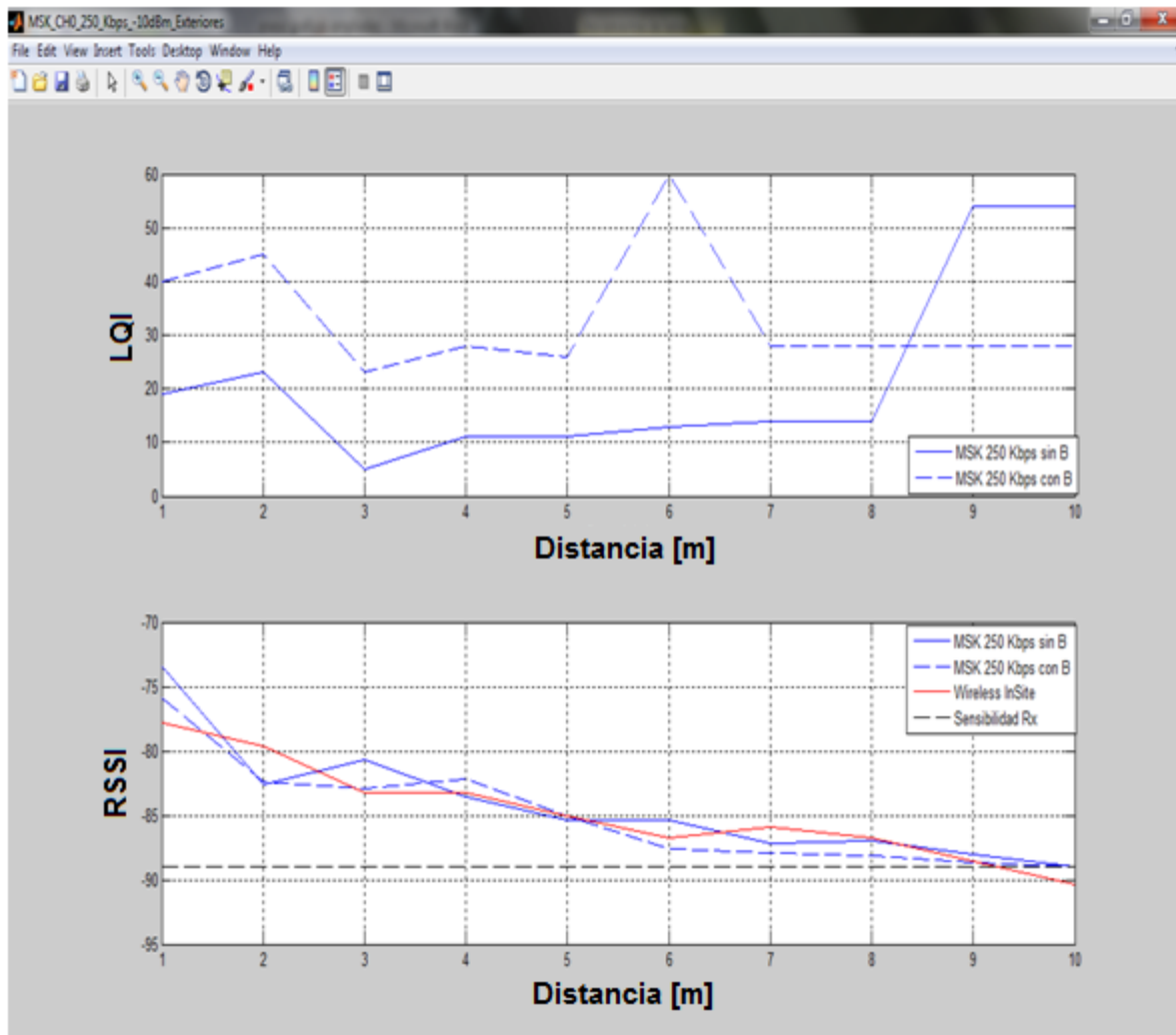
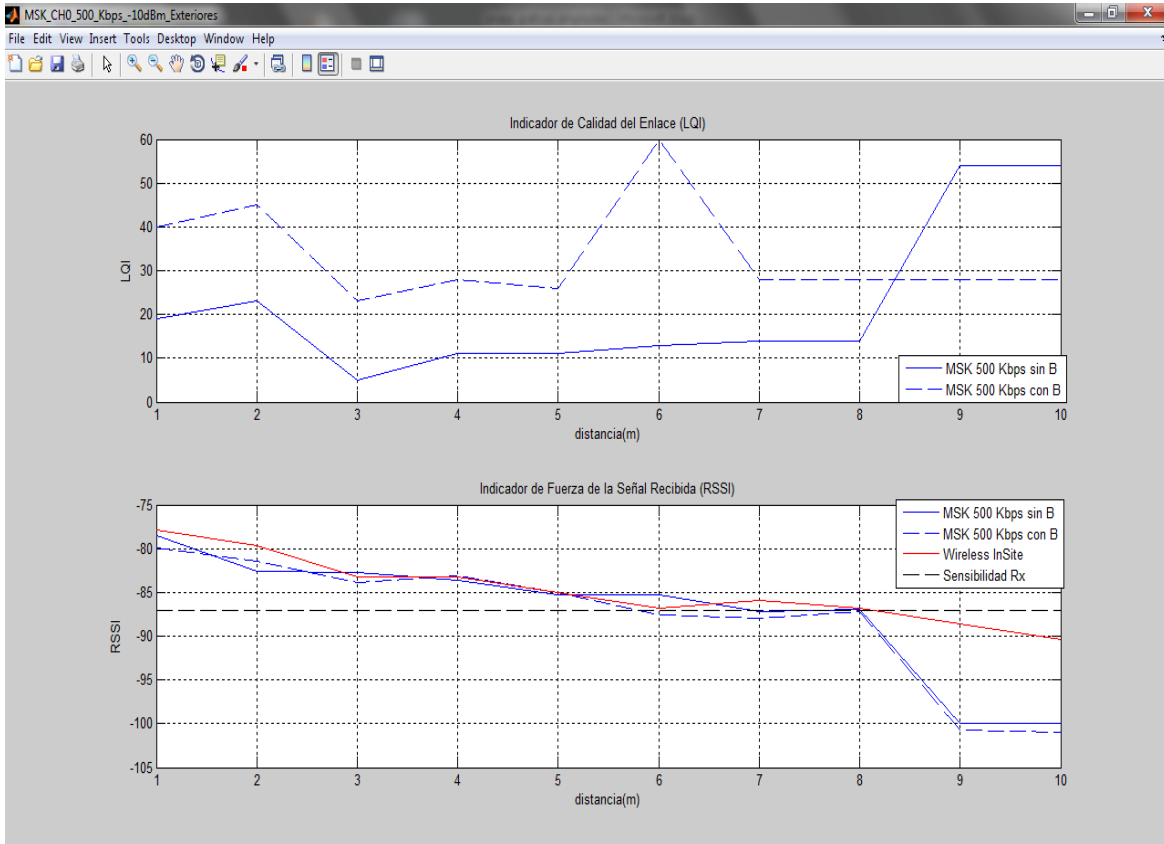


Tabla C. 14 Mediciones Realizadas en Exteriores para MSK a 500 Kbps

Distancia(m)	(RSSI) MSK 500 Kbps		(LQI) MSK 500 Kbps	
	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento	Sin Blanqueamiento	Con Blanqueamiento
1	-73,48	-75,94	19,0	40,0
2	-82,56	-82,40	23,0	45,0
3	-80,70	-82,88	5,0	23,0
4	-83,56	-82,16	11,0	28,0
5	-85,32	-85,06	11,0	26,0
6	-85,32	-87,56	13,0	60,0
7	-87,22	-87,90	14,0	28,0
8	-86,92	-88,19	14,0	28,0
9	NC	NC	NC	NC
10	NC	NC	NC	NC

Figura C. 14 Medidas de RSSI y LQI contra Distancia en Exteriores para MSK a 500 Kbps



C.3. RESULTADOS DE BER OBTENIDOS MEDIANTE LAS MEDICIONES PRÁCTICAS REALIZADAS

C.3.2. BER en Interiores Transmitiendo a -10dBm

Las figuras C.15 a C.20 muestran los resultados de BER contra E_b/N_0 para el escenario de exteriores. En todas las figuras las gráficas de color verde corresponden a un canal rician normalizado y las gráficas de color azul corresponden a un canal AWGN normalizado. Las gráficas de color rojo con línea continua corresponden a los resultados obtenidos cuando no fue empleada al técnica de blanqueamiento mientras que las gráficas de color rojo con línea punteada corresponden a los resultados obtenidos al emplear blanqueamiento. En las gráficas correspondientes a las modulaciones FSK y GFSK, así como en la modulación MSK a 500Kbps se observa que para los valores más bajos de E_b/N_0 obtenidos la relación BER contra E_b/N_0 se asemeja a la obtenida para el canal rician mientras que para los mayores valores de E_b/N_0 obtenidos se asemeja más al canal AWGN normalizado pero con un desplazamiento. Para el caso de MSK a 250Kbps con blanqueamiento, toda la respuesta se asemeja al la del canal AWGN.

Figura C. 15 BER para FSK a 2,4 Kbps en Interiores

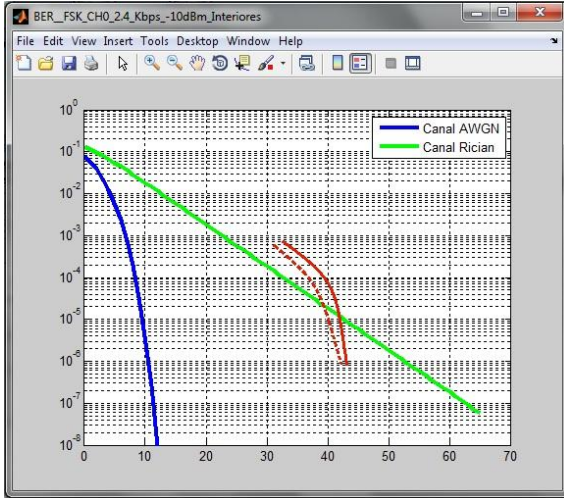


Figura C. 16 BER para FSK a 10 Kbps en Interiores

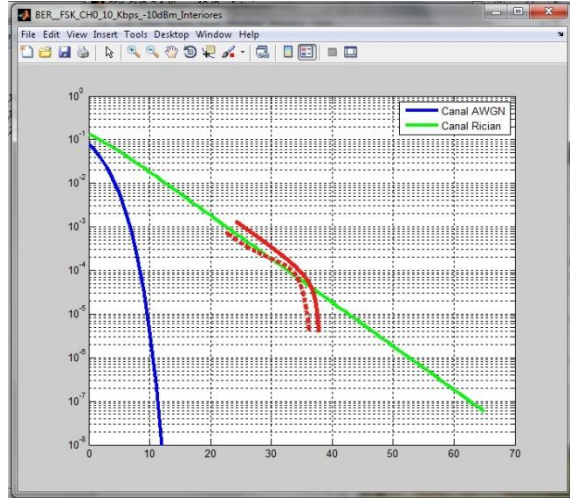


Figura C. 17 BER para GFSK a 2,4 Kbps en Interiores

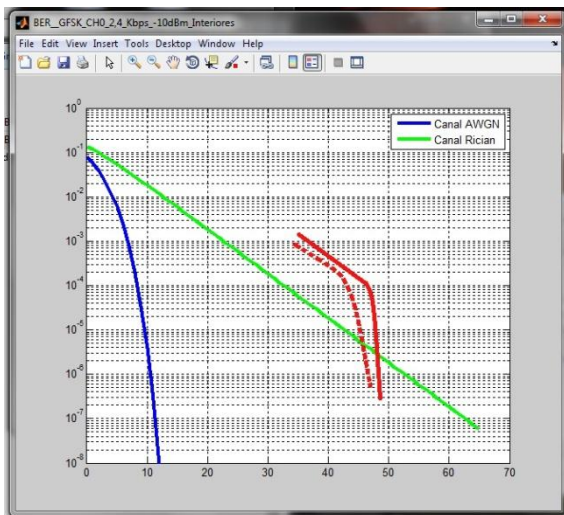


Figura C. 18 BER para GFSK a 10 Kbps en Interiores

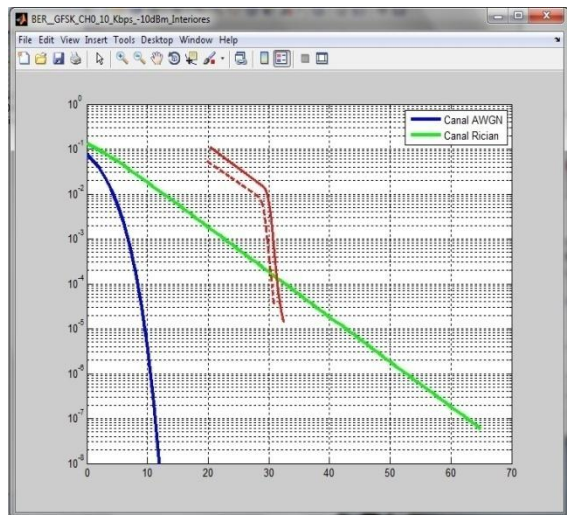


Figura C. 19 BER para MSK a 250 Kbps en Interiores

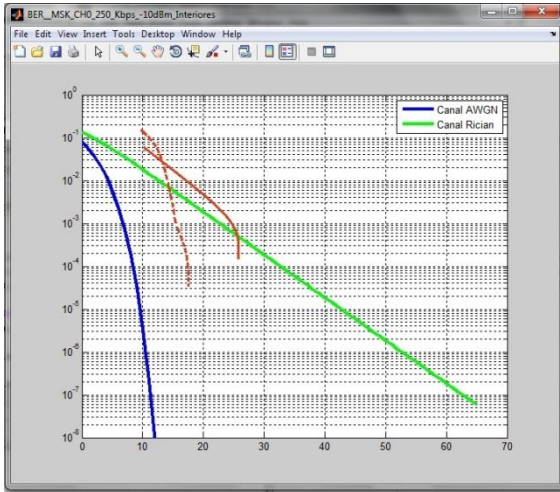
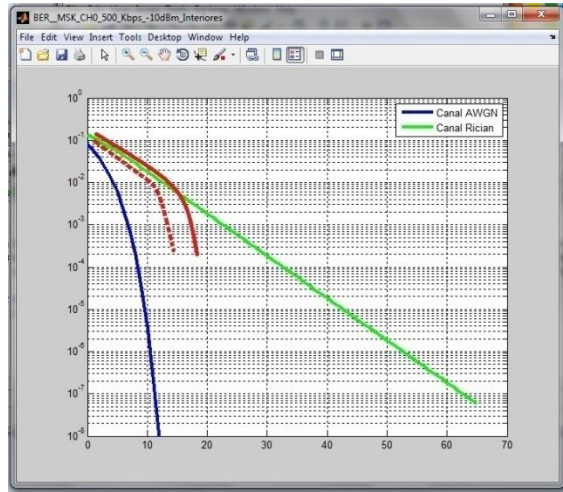


Figura C. 20 BER para MSK a 500 Kbps en Interiores



C.3.2. BER en Exteriores Transmitiendo a -10dBm

Las figuras C.21 a C.26 muestran los resultados de BER contra E_b/N_0 para el escenario de exteriores. En todas las figuras las gráficas de color verde corresponden a un canal rician normalizado y las gráficas de color azul corresponden a un canal AWGN normalizado. Las gráficas de color rojo con línea continua corresponden a los resultados obtenidos cuando no fue empleada al técnica de blanqueamiento mientras que las gráficas de color rojo con línea punteada corresponden a los resultados obtenidos al emplear blanqueamiento. A diferencia del escenario de interiores, se observa que las gráficas para el escenario de exteriores presentan mayor semejanza con las graficas del canal AWGN, pero con un desplazamiento horizontal. Esto concuerda con el hecho de que en el escenario de exteriores no se presenta el efecto de las múltiples trayectorias, por lo tanto se espera que el ruido predominante sea de tipo AWGN.

Figura C. 21 BER para FSK a 2,4 Kbps en Exteriores

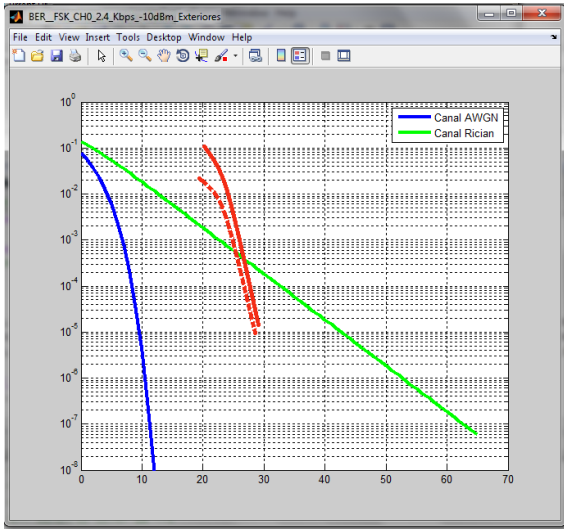


Figura C. 22 BER para FSK a 10 Kbps en Exteriores

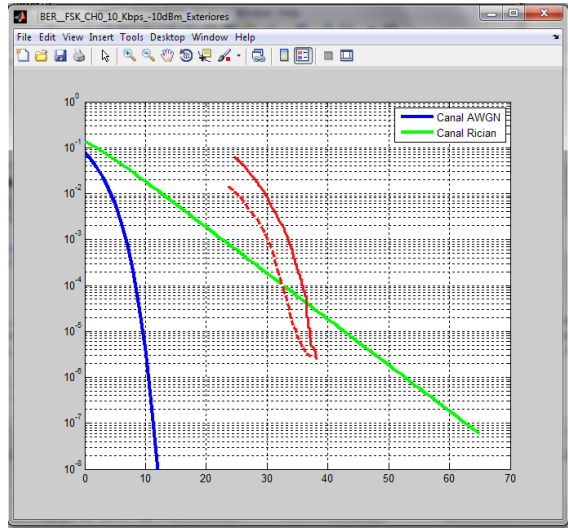


Figura C. 23 BER para GFSK a 2,4Kbps en Exteriores

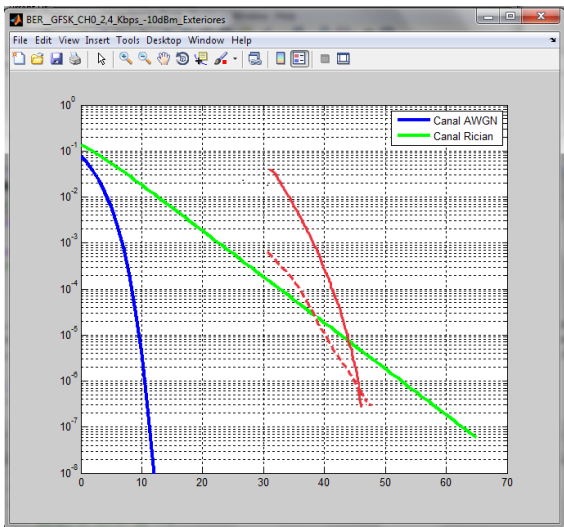


Figura C. 24 BER para GFSK a 10 Kbps en Exteriores

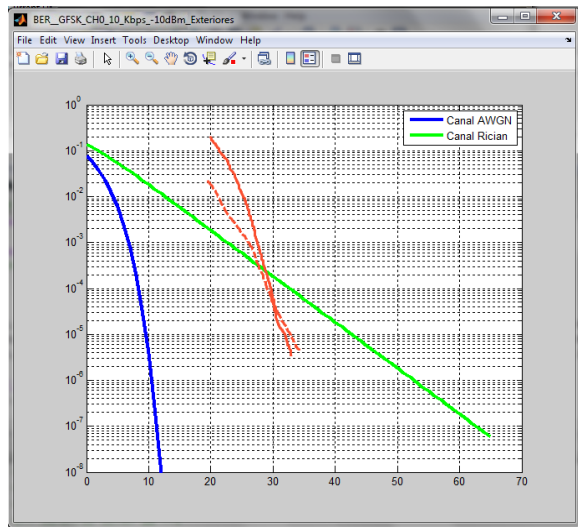


Figura C. 25 BER para MSK a 250 Kbps en Exteriores

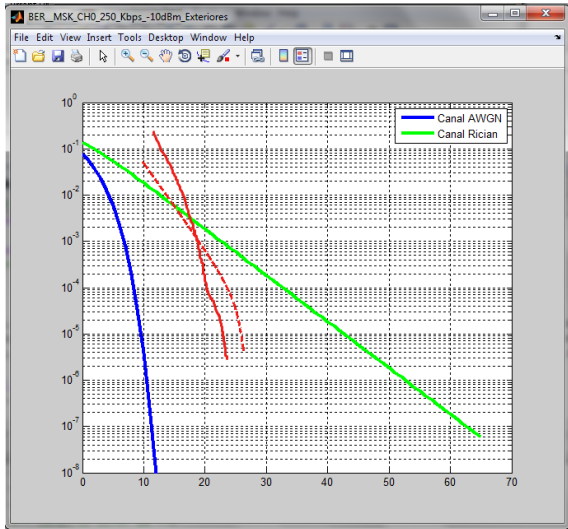
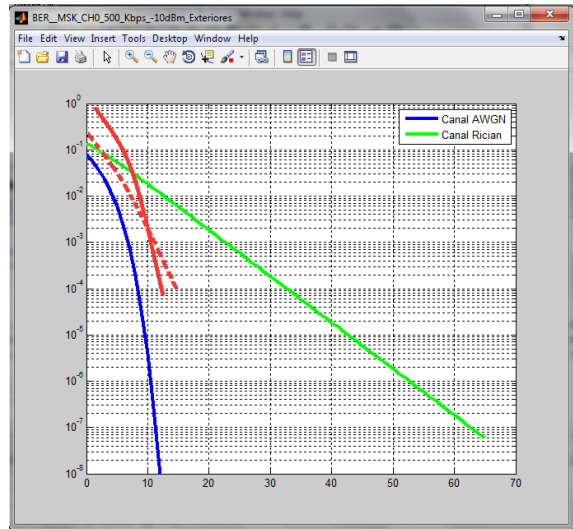


Figura C. 26 BER para MSK a 500 Kbps en Exteriores



BIBLIOGRAFIA

- [1] Texas Instruments, "MSP430x22x2, MSP430x22x4 Mixed Signal Microcontroller", 2007.
- [2] Texas Instruments, "CC2500, Single Chip Low Cost Low Power FR Transceiver", 2006.
- [3] L. Fierdman, *SimpliciTI[®]: Simple Modular RF Network Specification*. USA, San Diego, California: Texas Instruments®, Inc. USA. 2009