



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



**“ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN RADIO - TRANSCEIVER  
INALÁMBRICO EN LA BANDA DE 2.4GHZ, PARA UN MODULO DE  
TRANSMISIÓN/RECEPCIÓN OFDM CAPAZ DE SOPORTAR  
TRANSMISIONES LOS Y NLOS”**

Dayse Montoya Rodríguez<sup>1</sup>, Jair León Torres<sup>2</sup>, Rebeca Estrada Pico<sup>3</sup>

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863

Tel.: 593.4.2269151

Guayaquil, Ecuador

dmontoya@espol.edu.ec<sup>1</sup>, sleon@espol.edu.ec<sup>2</sup>, restrada@espol.edu.ec<sup>3</sup>

### Resumen

*En este proyecto se desarrollará e implementará la etapa en Radio Frecuencia o “Front-End”, para un Modulador / Demodulador OFDM para un sistema Inalámbrico, como un elemento importante de una solución posible para la demanda insatisfecha de los sistemas Inalámbricos. Un módulo transmisor/receptor será desarrollado para funcionar en una banda no licenciada (2.4 GHz). La implementación y la prueba de este módulo propuesto serán hechas usando circuitos diseñados para una banda ya definida y otros dispositivos de RF como Minicircuitos, Antenas, etc.*

**Palabras Claves:** *Transceiver, LOS y NLOS, OFDM, Front-End.*

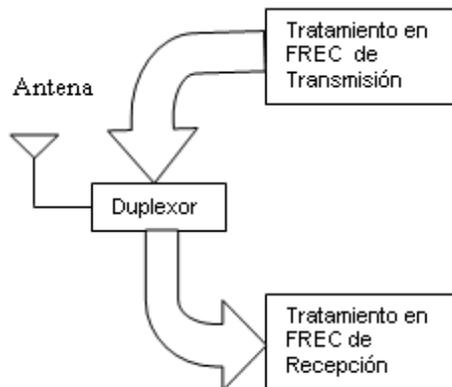
### Abstract

*This project consists of the development and implementation of a Transceiver module for a fixed wireless system as an important element of a possible solution for the unsatisfied demand of wireless systems. A transmitter/receiver module will be developed and implemented to operate in an unlicensed band (2.4GHz). The implementation and testing of this proposed module will be made using circuitry designed for a defined band and other RF devices like Minicircuits, Antennas, etc.*

**Keywords:** *Transceiver, LOS y NLOS, OFDM, Front-End.*

## 1. Introducción

En las siguientes páginas vamos a mostrar una breve descripción para un sistema front end a 2,4 Ghz, este análisis ha sido efectuado tomando en cuenta varios criterios de diseño. Se explicará ciertos fenómenos de ruido y de interferencia característicos de cada uno de los componentes que serán tentativamente los que se utilizarán en el diseño de este modelo.

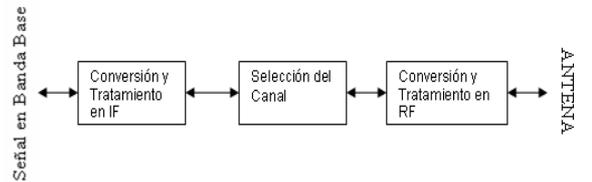


**Figura 1.** Esquema RF

En todo sistema de última milla inalámbrico es necesario ubicar específicamente las etapas de tratamiento de la señal que comienza en el modulador y termina en la antena. Al saber que la transmisión RF será efectuada para un sistema OFDM en banda base el criterio de doble conversión se percibe como la mejor alternativa tanto para el tratamiento en transmisión como el de recepción (Fig.1).

## 2. Principios del Diseño

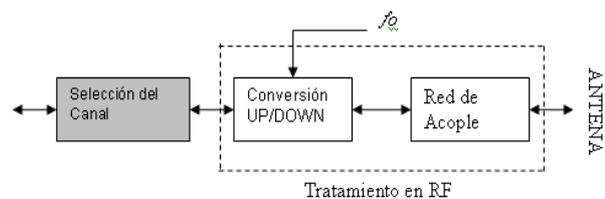
. El sistema a desarrollarse se basa en un esquema heterodineo de modulación el cual consta de dos saltos de frecuencia, esto nos brinda dos ventajas críticas en el diseño, la primera es la distribución del consumo y amplificación de potencia en varios elementos y la segunda es tener disminuir el stress de los elementos de filtrado ya que no necesitan de un alto grado de funcionamiento. El diseño del dispositivo Front-End se subdivide principalmente en tres etapas básicas (Fig. 2) las cuales van diferenciadas netamente por las funciones de sus componentes y por la frecuencia en que estos operan.



**Figura 2.** Etapas básicas del diseño inalámbrico

### 2.1 Tratamiento en RF

El tratamiento en RF del transceiver se basa en dos etapas bien definidas del diseño (Fig. 3): la primera que se denomina red de acople y su subsiguiente etapa de conversión.



**Figura 3.** Etapa de Tratamiento y Conversión

La red de acople comprende los circuitos encargados de proporcionar una adaptación correcta entre la etapa inalámbrica (ANTENA) y las etapas eléctricas posteriores, por lo que un correcto acople de impedancias que minimice el VSWR del circuito es indispensable en el diseño de esta. Esta etapa comprende un duplexor el cual permitirá intercambiar el modo determinará el modo de transmisión en acceso TDD o FDD.

La etapa de conversión se basa principalmente en realizar el UP o el down-conversion de la señal y para ello utiliza el oscilador local o central denominado  $f_0$  (2,4Ghz), este será responsable de seleccionar la banda o el rango de frecuencias de operación de nuestro transceiver, al ser un oscilador que pueda variar de cientos a miles de hertzios se hace necesario que posea una correcta alimentación o voltaje de ajuste para minimizar en gran medida el jitter en esta etapa.

### 2.2 Selección del Canal

La etapa de selección del canal esta principalmente comprendida por filtros y amplificadores los cuales tienen dos funciones principales:

- Limpiar la señal de interés de cualquier fenómeno externo a ella como los son el ruido y variaciones debidas al jitter o a la variabilidad de los osciladores de las fases adyacentes.
- Recuperar la señal de interés para que esta sea tratada por las etapas posteriores, es decir amplificarla en el camino tanto de recepción o de transmisión para que esta sea procesada de manera coherente.

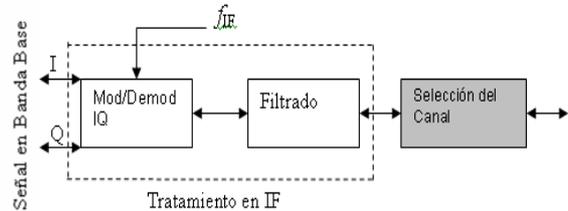
Otro factor muy importante a tomar en cuenta en esta etapa es el grado de ganancia o nivel de llegada de la señal al receptor ya que en la etapa posterior se evita hacer saltos bruscos de voltaje debido a las corrientes de retorno asociadas con las leves variaciones de impedancia que se producen al cambiar de una etapa análoga hacia una digital, por ello es importante que la amplificación en esta etapa no solo aporte a la ganancia total del sistema sino que supla totalmente las pérdidas de los caminos de la señal en lo que corresponde al tratamiento alámbrico de la misma.

### 2.3 Tratamiento en IF

Esta etapa consta principalmente de dos fases, la primera dominada por la conversión lineal de una señal en fase y cuadratura y la segunda regida por un filtrado fundamentado por el ruido de línea inherente al desplazamiento de frecuencias desde la banda base hacia la frecuencia intermedia(Fig. 4).

Por lo tanto la determinación de la frecuencia IF es necesaria en este aspecto no solo para determinar la conversión o el desplazamiento en frecuencia que nuestra señal en banda base realizará sino también el

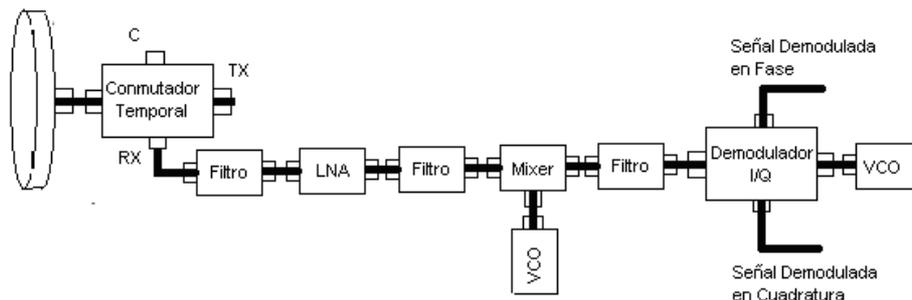
filtro que se utilizará para recuperar o trasladar la imagen hacia la etapa siguiente



**Figura 4.** Etapa de Tratamiento en IF

El valor de IF idóneo (2.422Ghz según 802.11a canal 4) sería 22MHz, pero para nuestro efecto elegiremos el valor de 60MHz para tratar de mitigar los siguientes problemas:

- Debido al fenómeno de frecuencia Imagen, si se escoge un valor de 22MHz, el valor de frecuencia imagen para una señal en banda base de alrededor 5Mhz será de aproximadamente 40MHz lo que significa que para un filtro de primer orden (20dB/década) la frecuencia de corte a -3dB será de  $\sqrt{2} f_o \approx 31\text{Mhz}$ , lo cual nos brindará una distorsión suplementaria ya que la modulación nos enviará la señal en aproximadamente los 30MHz ( $f_o + f$ ), lo que conlleva a usar filtros de mayor orden lo que implica mayores costes y mayor estabilidad al momento del acople.
- Debido a que en laboratorio encontramos VCOs Minicircuits que funcionaban desde la banda de los 50 a las 100 MHz, nos pareció adecuado utilizarlos y así quitar un poco la exigencia de alta eficiencia de los filtros y de los multiplicadores que constituyen las etapas de modulación I/Q y filtrado.



**Figura 5.** Diagrama de Recepción con doble conversión.

## 3. Diseño del Receptor

En el siguiente esquema (Fig. 5) podemos apreciar todas las etapas de nuestro receptor: Luego de escoger una antena FLATPANEL de 14dBi, hemos tomado un

conmutador controlado por voltaje (HMC310MS8G Hittite) el cual está a su vez conformado con un amplificador de potencia y uno de bajo ruido tanto para la transmisión como para la recepción con una ganancia típica promedio de 15dB y de 13dB

respectivamente, para resolver el problema del acceso temporal se utiliza un combinador/divisor (ZFSC-2-2500+ Minicircuits), el cual es un dispositivo de tres terminales de doble vía con 0° de desfase, permitiendo aislar la parte transmisora de la receptora .

Para iniciar el proceso de ganancia en recepción tomamos en consideración al ZQL-2700MNLW (Minicircuits), el cual nos brinda ≈29dB de ganancia, con apenas 0.8dB de figura de ruido y una capacidad de potencia total de hasta 28dBm.

Antes de realizar la conversión hacia abajo la señal sufre dos procesos de filtrado antes de de la conversión, el primero para poder seleccionar la banda de recepción y el segundo para seleccionar el canal, para esto se utilizan dos elementos que se detallan de la siguiente forma:

- El filtro pasa-banda VBFZ-2340+ Minicircuits, con una frecuencia central de 2.340Ghz (2020-2660 MHz) y una pérdida típica de inserción de ≈1.34dB en la frecuencia de interés, este filtro es ideal para eliminar los componentes armónicos de las frecuencias parásitas y de limitar altas señales de interferencias producidas por el camino en cobre de la señal (motores, lámparas, conmutadores, etc.).
- El filtro BPF-24-403 de 4 polos, con una frecuencia central de 2.422Ghz (canal 3), y una pérdida típica de inserción de 1.5dB y un ancho de banda de 30Mhz (2.407-2437), lo cual nos permite eliminar el posible efecto de frecuencia imagen, y de frecuencia intermedia:

$$f_i = f_{RF} - 2f_{IF} = 2422 - 120 = 2302Ghz$$

$$f_{IF} = \frac{f_{RF} + f_{LO}}{2} = \frac{2362 + 2422}{2} = 2392Ghz$$

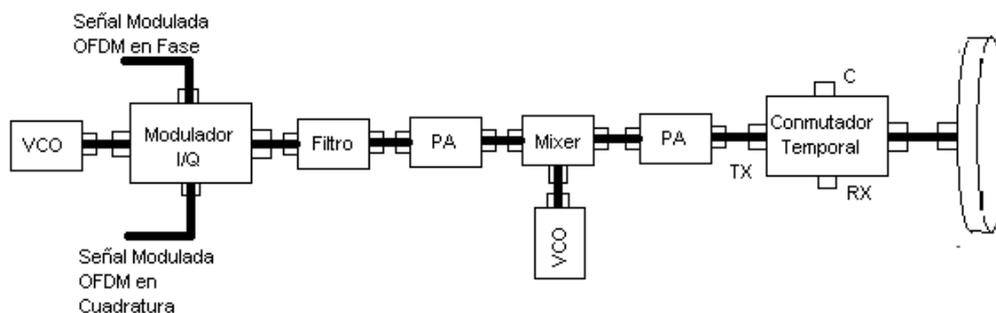
El primero afectando directamente en el proceso de conversión en RF y el segundo presentado su mayor inconveniente al momento de la segunda conversión (modulador por cuadratura).

Una vez la señal filtrada y reconstituida (por el LNA), se procede con la conversión y para esto se utiliza el mezclador de frecuencias ZX05-30W+ con una pérdida de conversión típica de ≈6dB y un aislamiento de 56dB entre fases en conjunto con el VCO ZX95-2755+ el cual nos brinda un rango ajustable de frecuencias de 2300-2755 MHz con una potencia nominal de salida de 8.25dBm a 2360Mhz (ajuste a 2.5V). Luego utilizamos el filtro selectivo SBP-70+ de MiniCircuits, con un ancho de banda de 10MHz, y una pérdida de conversión efectiva de 1.14dB. Además, para mitigar los efectos de las pérdidas de conversión en las fases del receptor se utiliza el ZFL-500LN de Minicircuits el cual es un amplificador de bajo ruido con una ganancia de 24dB y un nivel de ruido de 2.9dB. Este amplificador ajustable, agrega un estimado de 15dB a la ganancia del receptor y por su bajo nivel de ruido influirá en la figura de ruido conjunta del receptor.

Finalmente para demodular la señal es necesario utilizar el ZFMIQ-70D, este demodulador I/Q funciona con una tolerancia permitida de RF/LO de 50mW y una pérdida de conversión de 6dB, así mismo tiene una frecuencia LO de operación de 60 -70MHz, la cual es alimentada por el oscilador controlado por voltaje ZX95-100+. De esta manera la señal está lista para ser procesada por la parte digital

## 4. Diseño del Transmisor

En el transmisor (Fig. 6) se tratarán principalmente aspectos eléctricos ya que lo importante en esta etapa es la estabilidad interna, más no la incidencia de factores externos ya que como es evidente la señal a ser transmitida se encontrará con múltiples obstáculos los cuales serán mayores a efectos parásitos causados por inducciones en el circuito



**Figura 6.** Diagrama de Transmisión con doble conversión.

Para el tratamiento de la señal DSP utilizaremos el Modulador en fase/cuadratura (ZFMIQ-70ML), ya que nos brinda un manejo de señales desde 66 hasta 73Mhz, con un acople de 50Ω y además el manejo de

señales en IF de hasta 100dBm. Para alimentar a este modulador además utilizaremos un VCO (ZX95-100-S+) el cual nos brinda una portadora de IF a 60MHz y una señal de hasta 10dBm.

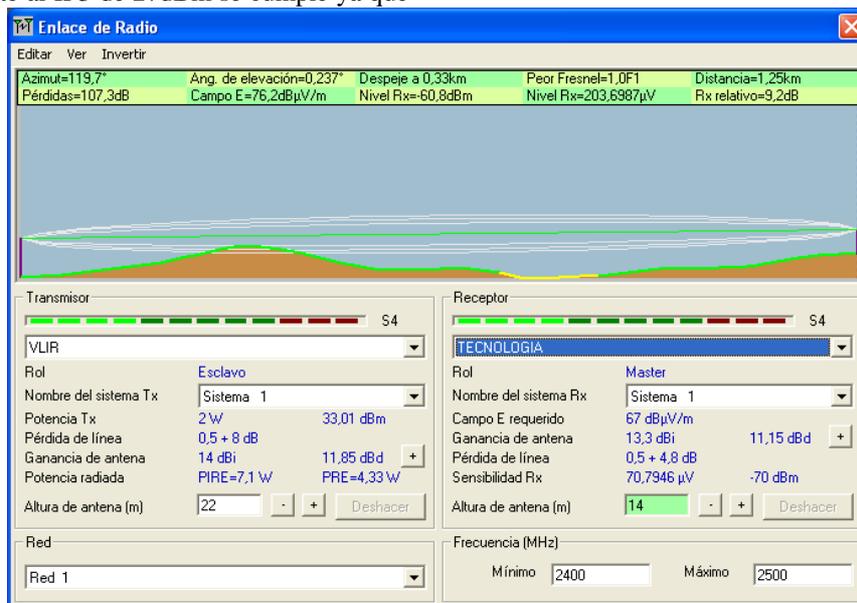
Comenzando la etapa de selección del canal, se ha escogido al filtro SFI-70+ de Minicircuits el cual tiene una respuesta de frecuencia adecuada para eliminar las armónicas de la señal y cualquier efecto consecuente con estos. Se utilizará el ZFL-1000GH+ de Minicircuits el cual nos brinda una ganancia de 13dBm en la banda deseada, con aquello tendremos un promedio de 20-22 dBm antes de la salida del multiplicador lo cual nos da un excelente nivel de partida para tener una señal libre de ruido y fuerte en comparación con la portadora a ser mezclada en la parte siguiente, lo cual disminuirá en gran medida el efecto de modulación cruzada.

En la fase de conversión hacia arriba se utilizará un mezclador de frecuencias (ZX05-U432H-S+ MiniCircuits), con una pérdida de conversión de aproximadamente 6dBm y un aislamiento de terminales típico de 40 dB (ver en Anexo A), así mismo la limitante al IP3 de 27dBm se cumple ya que

la potencia promedio de la señal es de hasta 20dBm, además se adapta un Oscilador controlado por voltaje o VCO (HMC385LP4 Hittite) con una potencia nominal de 5dBm y un acople de  $50\Omega$ , ahora dependiendo de las pruebas se determinará si se utiliza o no un amplificador (ZFSC-2-2500+) de 15dB de ganancia.

## 5. Simulación

Para poder implementar el sistema se realizó simulaciones con ayuda del programa RF Mobile el cual permite tener una perspectiva física de la implementación del sistema, es decir brinda ayuda acerca de las características de relieve del terreno, parámetros de pérdidas de línea, potencias de transmisión y recepción necesaria para el funcionamiento, etc.



**Figura 7.** Parámetros de enlace de Radio

La interfaz radio del sistema está determinada por algunos aspectos básicos del diseño que serán tomados en cuenta para la realización de la simulación. La antena a utilizar es una Flat Pannel Hyperlink de 14dBi, la cual ofrece un ángulo sólido de 60°, además de esto ya se cuenta con las locaciones en las cuales se ubicarán las antenas por ende se procederá a colocar los primeros parámetros para la simulación:

- Coordenadas de sitios.
- Frecuencia Central.
- Potencia de Transmisión.
- Ganancia de las antenas.
- Sensibilidad de Recepción.

Las coordenadas obtenidas por Google Earth son:

- VLIR COMPONENTE 8  
02° 8' 45.00" S  
79° 58' 0.01" W
- TECNOLOGIA  
02° 9' 5.00" S  
79° 57' 25.00" W

El siguiente paso a seguir es definir la frecuencia en la que se va a trabajar esta red va estar definida en las frecuencias 2400 MHz, como frecuencia menor y la frecuencia mayor de 2500 MHz. Como se dijo anteriormente el ancho de banda óptimo para un canal es de 10MHz, y en este caso se definieron 11 canales.

Para definir los valores de la potencia se toman dos valores nominales tanto de transmisión como de recepción; el primero lo tomamos de 2W, ya que es la media recomendable para distancias de hasta 5Km, y el segundo lo tomamos -70dBm.

El equipo receptor necesita un mínimo nivel de señal para conseguir un funcionamiento aceptable (nivel de calidad), el mismo que esta dado por la sensibilidad de -70 dBm.

La zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración en un enlace microonda, además de la visibilidad directa entre las dos antenas.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. Para establecer las zonas de Fresnel primero debemos determinar la línea de vista, que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora.

En la figura 7 se obtiene el resultado de la simulación del enlace, el perfil del enlace, la sensibilidad mínima permitida así como alturas tentativas de las antenas. También se aprecia la primera zona de Fresnel despejada garantizando con esto línea de vista en el enlace.

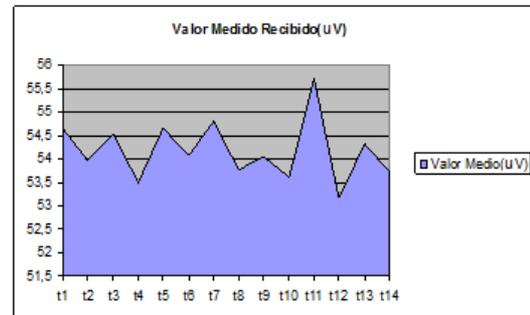
El nivel de señal recibido es de 9,2 dB, alcanzando un 70% de situaciones exitosas al momento de transmitir o recibir.

## 6. Mediciones de Campo

En las siguientes tablas se expresan las mediciones tomadas en los sitios escogidos en la simulación, estas mediciones fueron tomadas en distintos tiempos durante un día, para cada medición se procedía a realizar tres mediciones consecutivas por lo cual en la tabla se expresa el valor medio de estas tres mediciones consecutivas.

**Tabla 1. Medición Área de Tecnologías**

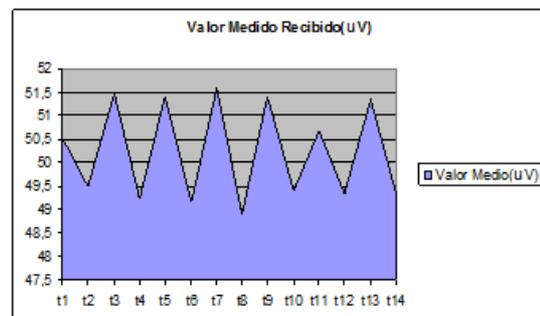
Mediciones	Valor Medio(uV)	Dev Estandar
T1	54,65248108	4,75174E-05
T2	53,96266855	2,30312E-05
T3	54,52548952	3,02E-05
T4	53,48613669	5,95954E-05
T5	54,64268312	2,97831E-05
T6	54,08211336	6,83319E-05
T7	54,80883377	3,7391E-05
T8	53,75831931	3,5983E-05
T9	54,04465267	4,13383E-05
t10	53,61210551	2,28057E-05
t11	55,70986593	3,01E-05
t12	53,17301973	1,53168E-05
t13	54,32008102	4,03E-05



**Figura 8. Campo Eléctrico Tecnologías**

**Tabla 2. Medición Área del VLIR**

Mediciones	Valor Medio(uV)	Dev Estandar
t1	50,5078899	3,37308E-05
t2	49,49066275	8,5459E-05
t3	51,47208827	2,89158E-05
t4	49,23029998	1,16941E-05
t5	51,39626748	5,48295E-05
t6	49,16367847	5,2165E-05
t7	51,5890298	6,1782E-05
t8	48,89408424	6,6068E-05
t9	51,39782037	8,09647E-05
t10	49,415362	5,43767E-05
t11	50,68047103	1,74345E-06
t12	49,32907791	8,65215E-05
t13	51,33757895	9,49343E-05



**Figura 9. Campo Eléctrico VLIR**

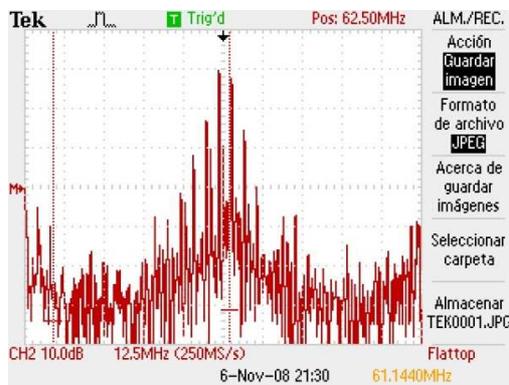
Además se tomó un valor de medición de desviación estándar la cual nos ayuda a tener una apreciación de la variabilidad de los datos medidos, según el instrumento de medición facilitado para este objetivo

## 7. Mediciones Locales

Para realizar las mediciones se basa primero en mediciones de línea, las cuales constan de conectar directamente la fases de transmisión a la de recepción

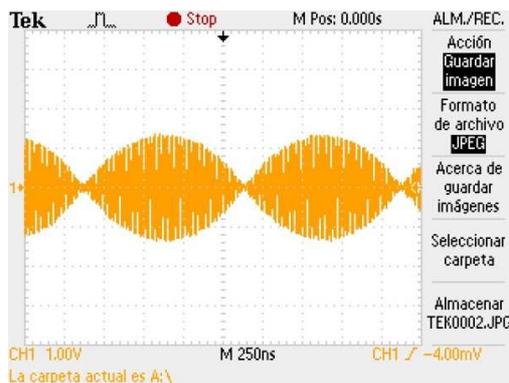
sin tomar en cuenta a la fase inalámbrica (se cortocircuitan las fases), luego también se procede a realizar mediciones en ambientes controlados (Componente VLIR) y para ello además se ajustan tanto las potencias de salida como las ganancias de entrada para evitar daños en el equipo y componentes no deseados (IIP3).

Inicialmente se toma como señal de entrada una onda sinusoidal generada de 1Vp, la cual se va a ser fijada en 400KHz, a ello se añade una portadora de 62Mz (fIF) con una potencia de salida de 3dBm, añadido a esto se configura una portadora de 2380Mhz a 15dBm con lo cual se tiene lo siguiente:



**Figura 10.** Señal IF en transmisión

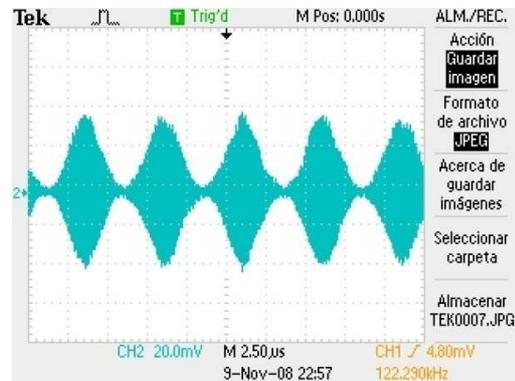
Esta misma señal se refleja en dominio temporal con una forma de modulación con portadora debido a la señal en banda base:



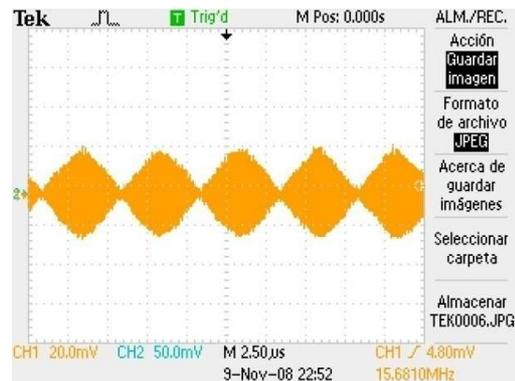
**Figura 11.** Señal IF en transmisión dominio temporal

Luego se realizan mediciones (señal triangular de 400Hz y 100mVpp) en un ambiente inalámbrico controlado, para ello se colocan dos antenas de 14dBi cada una y con una separación de 10m cada una, además se añade el amplificador de banda amplia alimentado con 3V lo cual expresa una ganancia de 2dBm, luego de ello precisamos una pérdida de 35%, (-6dBm de Tx/-3 dBm de Rx), lo cual también

manifiesta un ligero deterioro de la forma de onda debido a la baja linealidad de la señal proveniente desde nuestro generador de ondas:

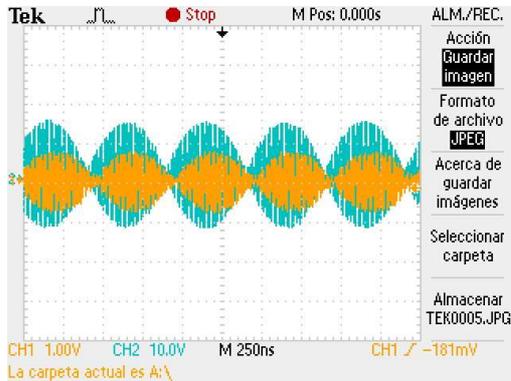


**Figura 12.** Señal IF en transmisión en ambiente inalámbrico controlado.



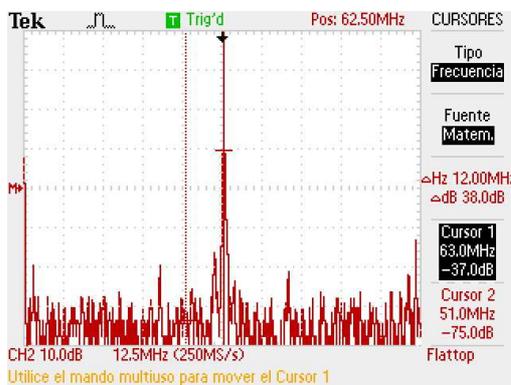
**Figura 13.** Señal IF en recepción en ambiente inalámbrico controlado.

Así mismo se cambia la forma de onda del experimento anterior hacia una señal sinusoidal, pero además de esto se eleva el nivel de transmisión de la señal para lo cual se alimenta a plena carga el ZJL-4G (10dBm de ganancia), por ello tenemos una señal efectiva de salida de 5dBm y una potencia medida de recepción de 2.2dBm tomada luego de la primera downconversion, vale también notar el ligero desfase entre las dos señales comparadas, debido no solo a la longitud del cable de medición o puntas de prueba entre los mismos, sino al coeficiente del desfase entre los dos puntos de medición.



**Figura 14.** Señal IF en transmisión y Recepción, en ambiente inalámbrico controlado, a 5dBm de Tx.

El experimento luego se refleja en el dominio de la frecuencia, aquí podemos apreciar como la onda sinusoidal se expresa de una forma nítida en los 63MHz, una ligera portadora de 2MHz se muestra a la izquierda como a la derecha de la portadora principal lo cual demuestra la señal modulada, esto expresa claramente como la señal modulante tiene una diferencia de aproximadamente 10dB con la señal portadora.



**Figura 15.** Señal IF en Recepción

## 8. Conclusiones

1. Luego de culminar la fase experimental podemos notar que el ambiente escogido tanto para la simulación como para la implementación pudo expresar todas las características necesarias para una estimación de una transmisión en la banda de 2.4Ghz.
2. Pese a la falta de linealidad de algunos elementos es importante destacar que la experiencia se vale en gran medida de la estabilidad de VCOs y amplificadores los

cuales funcionaron en todo momento según lo expresado en sus hojas de especificaciones.

3. Es importante la experiencia en ambientes controlados tanto como en ambientes abiertos, ya que mediante el primero no solo que aseguramos el correcto funcionamiento de cada una de las fases de nuestro dispositivo, sino que también nos ayuda a enfrentar ciertos problemas antes de llegar a ambientes no controlados.
4. La fase de acople OFDM y RF, debería ser precedida de una etapa de amplificación ligera (1-5dB), para que la adaptación de línea no sea tan crítica ya que asegurará una correcto ajuste de impedancias y además ayudaría a la adecuada retroalimentación en frecuencia de todo el sistema.

## 9. Recomendaciones

1. Es necesario tomar en cuenta el proceso de retroalimentación para efectuar la modulación coherente, en esta experiencia solo se realizó demodulaciones en base a la estabilidad lograda con anterioridad de los osciladores locales, pero en un dispositivo integrado, esta función debe de ser tomada a cabalidad por la parte DSP o por algún proceso intermedio entre la fase inalámbrica analógica y la parte digital.
2. Se debe anotar que los dispositivos utilizados pueden ser miniaturizados (existen paquetes adaptados para PCB), los cuales serían menos sensibles a variaciones de temperatura, lo ideal según nuestra apreciación es dejar las fases de amplificación ya sea en transmisión o recepción como se lo maneja en este proyecto y tratar de miniaturizar principalmente las etapas de UP y DOWN CONVERSION.
3. Es necesario aclarar que el experimento variará sustancialmente en el tiempo, debido a que la banda de operación es una banda libre por lo que es siempre indispensable realizar un análisis de ruido antes de repetir la experiencia para que los resultados puedan ser semejantes a los de este trabajo.

## 10. Referencias

- [1] RAZAVI Behezard, "RF MICOROELECTRONICS", Pearson Prentice Hall, 2003.



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- [2] GILMORE Rowan and BESSER Les, "PRACTICAL RF CIRCUIT DESIGN FOR MODERN WIRELESS SYSTEMS", Artech House, Volume 2, 2003.
- [3] GILMORE Rowan and BESSER Les, "PRACTICAL RF CIRCUIT DESIGN FOR MODERN WIRELESS SYSTEMS", Artech House, Volume 1, 2003.
- [4] MILLER Gary, "Modern Electronic Communication", Prentice Hall, 6th Edition, 1999.
- [5] BOYLESTAD, "ELECTRONICA: TEORIA DE CIRCUITOS", Prentice Hall, 6ta Edición, 2002.
- [6] NEMER Fauzi, "DISEÑO E IMPLEMENTACION EN FPGA DE UN SISTEMA ESCALABLE MODULADOR OFDM, COMO HERRAMIENTA ACADEMICA E INVESTIGATIVA", Tesis de Grado de la Escuela Superior Politécnica del litoral, 2007.
- [7] JACOB Michael, "APPLICATION AND DESIGN WITH ANALOG INTEGRATED CIRCUITS", 3rd Edition, 2000.
- [8] MESSEN Daniel, "ANTENAS", Universidad Fermín Toro, Escuela de Ingeniería, Año 2000.
- [9] MONOGRAFIAS, "Espectro Electromagnético"  
<http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml#>, Diciembre 2008.
- [10] MINICIRCUITS, "DATASHEETS MINICIRCUITS",  
<http://www.minicircuits.com/products>, Febrero 2009.
- [11] HITTITE, "FRONT-END DATASHEETS",  
<http://www.hittite.com/products>, Diciembre 2008.
- [12] COUDÉ Roger, "RADIO MOBILE FREEWARE",  
<http://www.cplus.org/rmw/rm.html>, Enero 2009.