

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en  
Electricidad y Computación



## *TRABAJO DE TESIS GRADO*

*ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN RADIO -  
TRANSCIVER INALÁMBRICO EN LA BANDA DE 2.4 GHZ,  
PARA UN MODULO DE TRANSMISIÓN/RECEPCIÓN OFDM  
CAPAZ DE SOPORTAR TRANSMISIONES LOS YNLOS*

Presentada por:  
Dayse Ingueborth Montoya Rodríguez  
Jair Stephenson León Torres

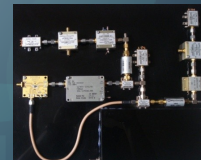
Dirigida por:  
Ing. Rebeca Estrada Pico

## MAPA DE LA PRESENTACION

- Introducción
- Principios de diseño
- Simulación
- Implementación
- Resultados
- Conclusiones

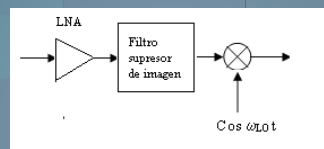
## Introducción

- Desarrollo e implementación de un modulo Trasmisor/ Receptor a 2.4 GHz para un sistema Inalámbrico.
- 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.

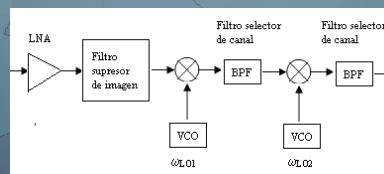


## Principios de diseño

- **ESQUEMA HOMODINEO.-** Mono conversión

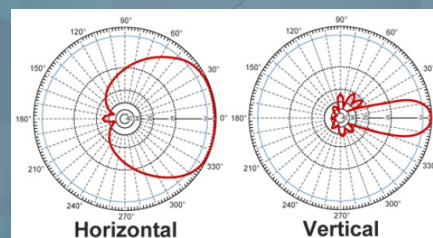


- **ESQUEMA HETERODINEO.-** Doble conversión



## Principios de diseño

- **ANTENA.-** Es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir **ondas** de radio.



## Principios de diseño

- **DUPLEXOR**
  - **Duplexor TDD:** Es un elemento de acceso secuencial o temporal
  - **Duplexor FDD:** Es un elemento de acceso simultáneo.
- **AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO.-** Se basa generalmente en una figura de ruido predominante (dada principalmente por el multiplicador) para así tener siempre un nivel aceptable de amplificación de la señal recibida.

## Principios de diseño

- **FILTROS.-** Permiten atacar de una manera más efectiva la elección de las bandas de frecuencia de interés.
- **AMPLIFICADORES DE POTENCIA.-** Amplifican la potencia ofreciendo una eficiencia hasta máximo del 50%, típicamente el valor de la pérdida de nivel de potencia de un transceiver o de un duplexor
- **AMPLIFICADORES DE BANDA ESTRECHA.-** Cubren bandas específicas, es decir cuando su ancho de banda es menor al 20% de su frecuencia central.

## Simulación

- Utilización de la herramienta Radio Mobile que permite analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radio-comunicaciones.
  - Coordenadas de sitios.
  - Frecuencia Central.
  - Potencia de Transmisión.
  - Ganancia de las antenas.
  - Sensibilidad de Recepción.

## Simulación

### COORDENADAS DEL RADIO ENLACE



## Simulación

- Potencia del transmisor: 2 W.
- Frecuencia: 2400MHz – 2500MHz
- Ganancia de Antena: 14dBi.
- Sensibilidad del receptor: 70uV

## Simulación

### ENLACE DE RADIO VLIR - TECNOLOGIA

Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Azimut=119,7° Ang. de elevación=0,237° Despeje a 0,33km Peor Fresnel=1,0F1 Distancia=1,25km  
 Pérdidas=107,3dB Campo E=76,2dBµV/m Nivel Rx=60,8dBm Nivel Rx=203,6987µV Rx relativo=9,2dB

Transmisor

VLIR Rol: Esclavo

Nombre del sistema Tx: Sistema 1

Potencia Tx: 2 W 33,01 dBm

Pérdida de línea: 0,5 + 8 dB

Ganancia de antena: 14 dBi 11,85 dBd

Potencia radiada: PIRE=7,1 W PIRE=4,33 W

Altura de antena (m): 22

Red: Red 1

Receptor

TECNOLOGIA Rol: Master

Nombre del sistema Rx: Sistema 1

Campo E requerido: 67 dBµV/m

Ganancia de antena: 13,3 dBi 11,15 dBd

Pérdida de línea: 0,5 + 4,8 dB

Sensibilidad Rx: 70,7946 µV -70 dBm

Altura de antena (m): 14

Frecuencia (MHz): Mínimo 2400 Máximo 2500

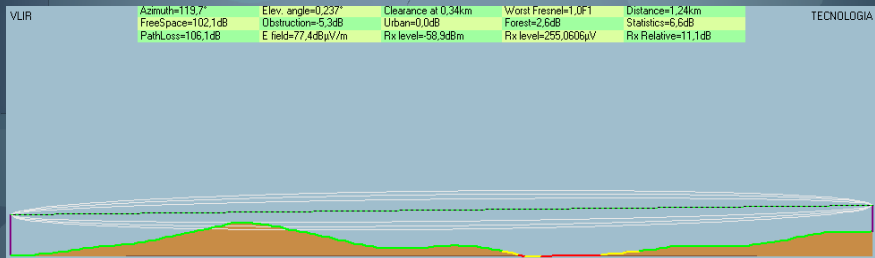
# Simulación

## VALORES DEL ENLACE DE RADIO

La distancia entre VLIR y TECNOLOGIA es 1,2 km (0,8 miles)  
 Azimut norte verdadero = 119,7°,  
 Azimut Norte Magnético = 120,4°,  
 Angulo de elevación = 0,2368°  
 Variación de altitud de 18,4 m  
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 1,0F1 a 0,3km  
 La frecuencia promedio es 2450,000 MHz  
 Espacio Libre = 102,1 dB,  
 Obstrucción = -4,0 dB,  
 Urbano = 0,0 dB,  
 Bosque = 2,6 dB,  
 Estadísticas = 6,6 dB  
 La pérdida de propagación total es 107,3 dB  
 Ganancia del sistema de VLIR a TECNOLOGIA es de 116,5 dB (yagi1.ant a 119,7° ganancia = 14,0 dB)  
 Ganancia del sistema de TECNOLOGIA a VLIR es de 116,5 dB (yagi1.ant a 299,7° ganancia = 13,3 dB)  
 Peor recepción es 9,2 dB sobre la señal requerida a encontrar  
 70,000% de situaciones

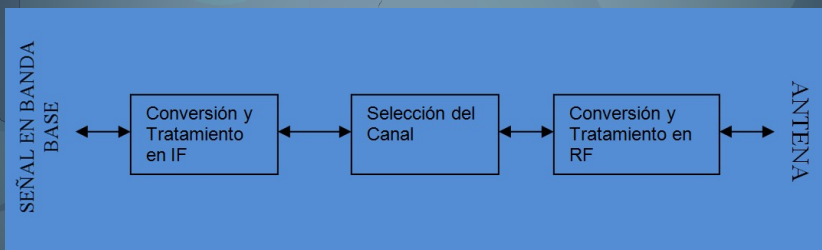
# Simulación

## ZONA DE FRESNEL



## Diseño del Dispositivo

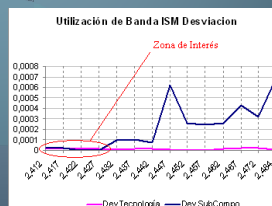
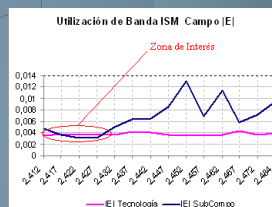
- Etapas básicas de un Transceiver inalámbrico.



## Diseño del Dispositivo

- Determinación de Frecuencia Central

Frecuencias GHz	Valor Medio(uV)	Dev Estandar
2.412	4.74303	2.0742E-05
2.417	3.71817	2.2476E-05
<b>2.422</b>	<b>3.06890</b>	<b>3.4052E-07</b>
2.427	3.12593	2.2872E-06
2.432	5.06690	9.5578E-05
2.437	6.26767	9.7295E-05
2.442	6.57063	7.3347E-05
2.447	8.45830	6.2411E-04
2.452	13.07687	2.6509E-04
2.457	6.86667	2.4590E-04
2.462	11.34317	2.6429E-05
2.467	5.82577	4.3122E-05
2.472	7.12147	3.1698E-05
2.484	9.55143	6.6881E-04





## Diseño del Dispositivo

### Determinación de frecuencia en IF

- El valor de IF idóneo sería 22MHz.

Frecuencia imagen para una señal en banda base de alrededor 5Mhz será de aproximadamente 40MHz.

La frecuencia de corte a -3dB será de  $\sqrt{2}f_0 \approx 31\text{Mhz}$

- Pero para nuestro efecto elegiremos el valor de 60MHz

## Diseño del Dispositivo

- Determinación de Frecuencia en RF

$$f_{RF1} = f_{RF} - f_{IF} = 2422 - 60 = 2362 \text{ Ghz}$$

Efecto de frecuencia imagen, y de frecuencia intermedia

$$f_i = f_{RF} - 2f_{IF} = 2422 - 120 = 2302 \text{ Ghz (4.6)}$$

$$f_{IF} = \frac{f_{RF} + f_{LO}}{2} = \frac{2362 + 2422}{2} = 2392 \text{ Ghz (4.7)}$$

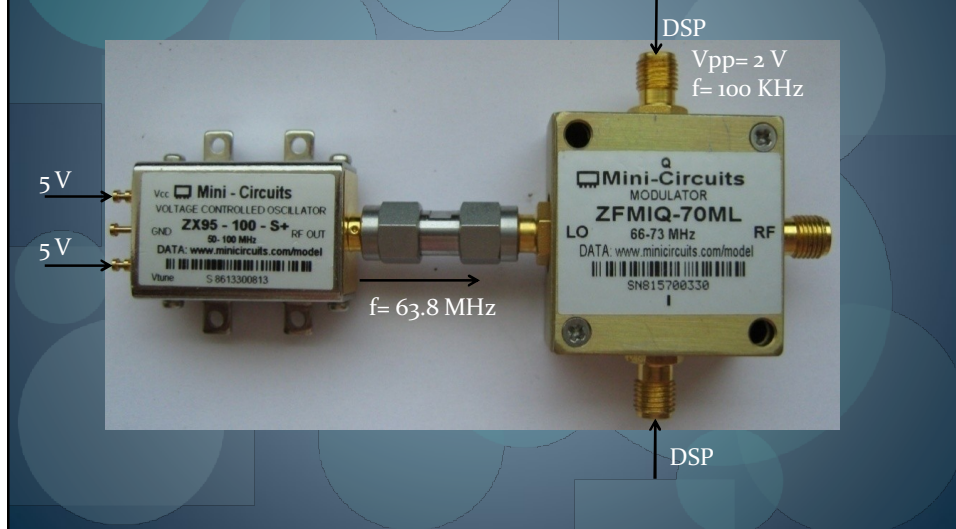
## Diseño del Transmisor

### PREPARACIÓN Y ACOPLE EN IF

- Etapa de acople con la fase de radio frecuencia y DSP o cualquier etapa que realice el tratamiento digital en banda base de la señal.
- Mitigar el uso de señales complejas que causan efectos de espurias, entregando señales en fase y cuadratura con el fin de que la etapa en RF solo maneje señales análogas

## Diseño del Transmisor

### VCO + MODULADOR



## Diseño del Transmisor

### FILTRAJE

- Elimina las armónicas.
- Se amplifica solamente la señal deseada .

AMPLIFICADOR + FILTRO



## Diseño del Transmisor

### UPCONVERSION

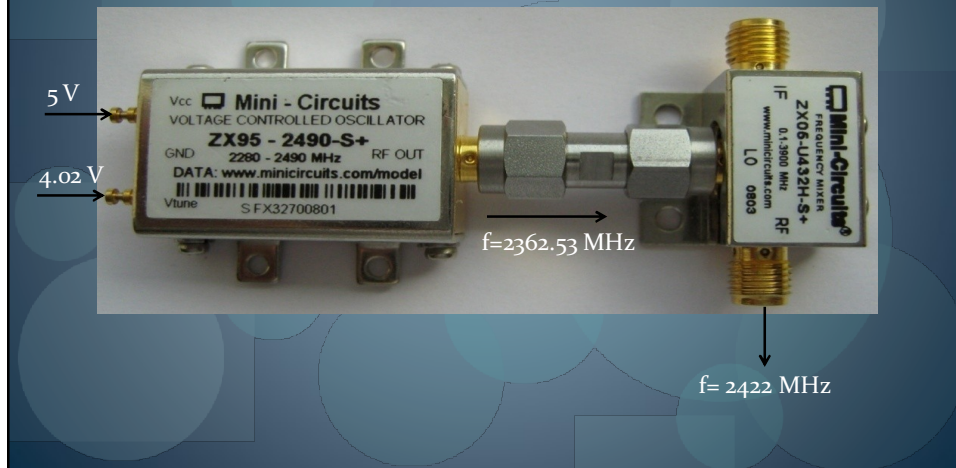
- Aumenta la frecuencia
- Etapa mas importante ya que se debe mantener la estabilidad porque con esto se evitaría tener fluctuaciones o desplazamientos de frecuencias (jitter) debido a una inadecuada calibración del oscilador.

## Diseño del Transmisor

VCO

+

MIXER



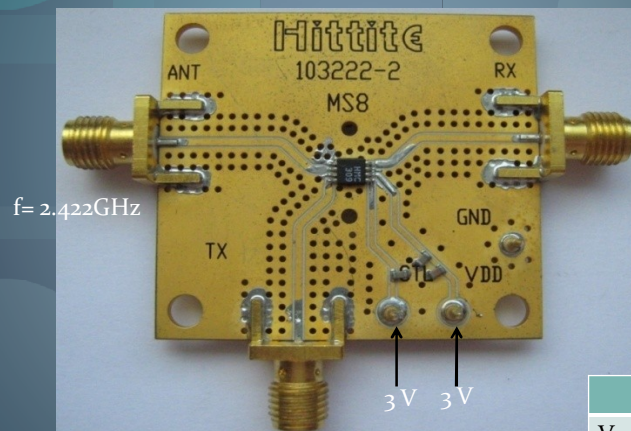
## Diseño del Transmisor

### RED DE ACOPLA EN RF

- Responsable de brindar un perfecto acople de impedancia hacia la antena.
- Medio de acceso es TDD (Time Division Duplex)

## Diseño del Transmisor

### AMPLIFICADOR LNA TRASMISOR/RECEPTOR



Tx	Rx
$V_{CTL} = V_{dd}$	$V_{CTL} = 0$

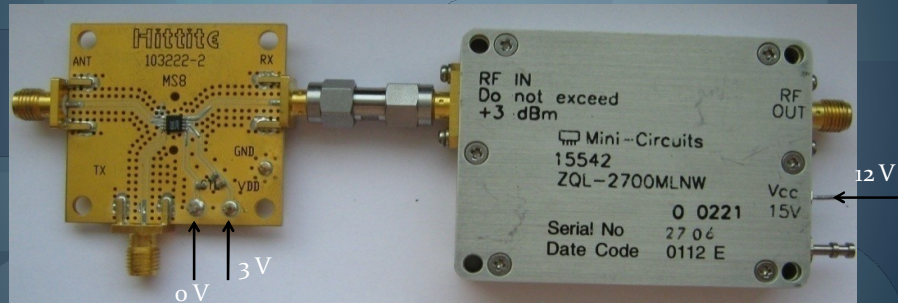
## Diseño del Receptor

### SENSIBILIDAD Y ADAPTACIÓN DE LÍNEA

- Acople de la interfaz radio y el nivel de señal que recibe un transceiver.
- Uso de LNA para aumentar ganancia y eliminar figura de ruido

## Diseño del Receptor

### AMPLIFICADOR LNA TRASMISOR/RECEPTOR + LNA



$f = 2422 \text{ MHz}$   
Ganancia = 7.9 dB

Ganancia = 30.4 dB

## Diseño del Receptor

### DOWN CONVERTION

- Etapa de conversión hacia abajo muy importante para que la señal al ser demodulada no sufra de los efectos inherentes al proceso de conversión.

VCO

+

MIXER



$f = 2452.53 \text{ MHz}$

$f = 63.8 \text{ MHz}$

## Diseño del Receptor

### SELECCIÓN DEL CANAL

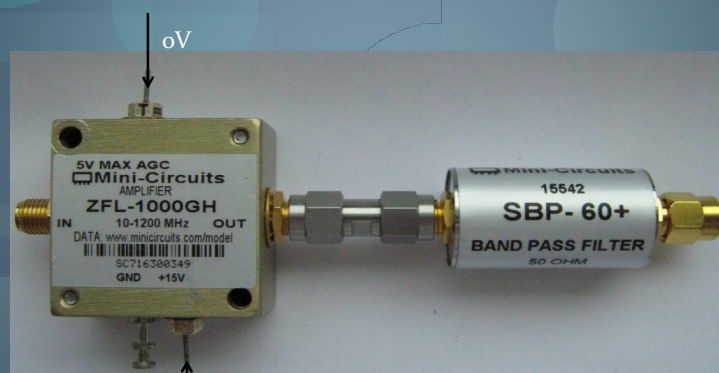
- Se realiza el ajuste fino a la señal para finalmente ser demodulada en banda base.
- Se realiza amplificación
  - Compensar las pérdidas ocurridas en el tramo eléctrico del demodulador.
  - Pérdidas efectuadas por el tramo inalámbrico del mismo.

## Diseño del Receptor

AMPLIFICADOR

+

FILTRO



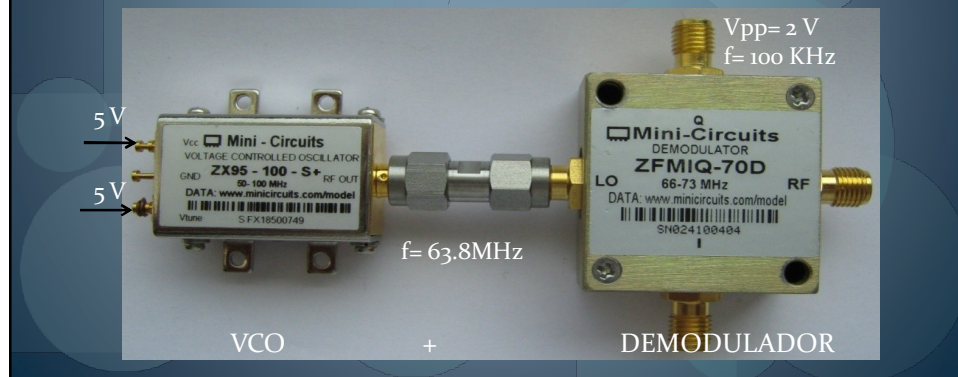
Ganancia= 31.4dB

12V

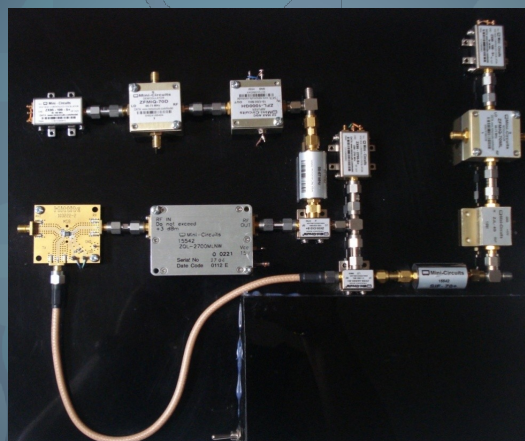
## Diseño del Receptor

### DEMODULACIÓN Y ACOPLE CON LA FASE OFDM

- Etapa donde se demodula la señal después estará lista para ser procesada por la parte digital.



## Transceiver



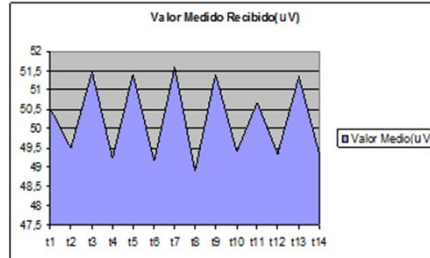


# Resultados

- Mediciones de Campo VLIR

Resumen de Mediciones en el Componente 8

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
t14	49,33173711	3,53196E-05



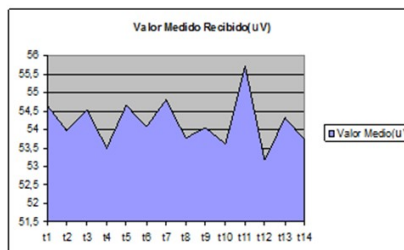
Gráfica de Campo Eléctrico en el Sub-Componente 8

# Resultados

- Mediciones de Campo TECNOLOGIAS

Resumen de Mediciones en Tecnologías

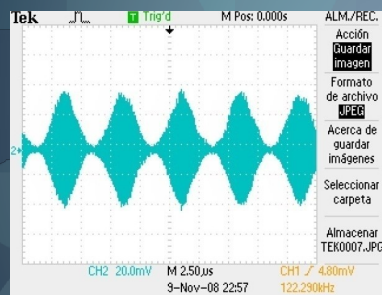
Mediciones	Valor Medio(uV)	Dev Estandar
T1	54,65248108	4,75174E-05
T2	53,96266855	2,30312E-05
T3	54,52548952	3,02E-05
T4	53,48613669	5,95954E-05
T5	54,64268312	2,97831E-05
T6	54,08211336	6,83319E-05
T7	54,80883377	3,7391E-05
T8	53,75831931	3,5983E-05
T9	54,04465267	4,13383E-05
t10	53,61210551	2,28057E-05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



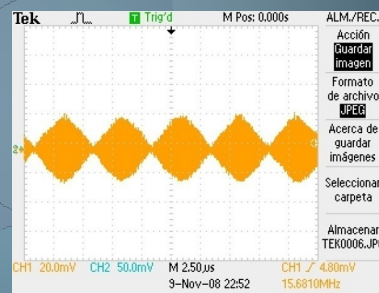
Campo Eléctrico en Tecnología

## Resultados

- Mediciones Locales



Señal Tx



Señal Rx

## Análisis de resultados

- Debemos de tomar en cuenta que existe un 18% de error entre el diagrama simulado y las mediciones tomadas.
- La frecuencia real tiene un ligero desfase con la frecuencia simulada.

## Análisis de resultados

- La ganancia de la antena es un factor que incide directamente en el resultado sin haber sido claramente medido en un ambiente controlado.
- La variación de promedios de medición de señales recibidas se dan debido a la alta densidad de puntos de acceso ubicados en un extremo con respecto al otro.

## Conclusiones

- 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.
- 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.

## Conclusiones

- Es importante la experiencia en ambientes controlados tanto como en ambientes abiertos.
- 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 un correcto ajuste de impedancias.

## Recomendaciones

- Es necesario tomar en cuenta el proceso de retroalimentación para efectuar la modulación coherente.
- Se debe anotar que los dispositivos utilizados pueden ser miniaturizados (existen paquetes adaptados para PCB), los cuales serían menos sensibles a variaciones de temperatura

## Recomendaciones

- Es necesario aclarar que el experimento variará sustancialmente en el tiempo, debido a que la banda de operación es una banda libre.

## Agradecimiento

Ing. Rebeca Estrada Pico



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.