

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL LA RIOJA**

**Carrera de Ingeniería Electrónica**

---

*Trabajo Final de Grado:*

**MEDICIÓN DE LA INTENSIDAD DE  
RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA  
EN LA CIUDAD DE LA RIOJA**

---

*Autores:*

**Contrera, Sergio Nicolás**  
**Orquera, Jorge Raúl**  
**Orquera, Mariano José de Jesús**

*La Rioja, mayo de 2023*



## Cátedra de Proyecto Final

Prof. Ing. Chain Pedro Rearte

Trabajo Final de Grado: *MEDICIÓN DE LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA CIUDAD DE LA RIOJA*

Autores: *Contrera, Sergio Nicolás*  
*Orquera, Jorge Raúl*  
*Orquera, Mariano José de Jesús*

Docente Tutor: *Ing. Chain Pedro Rearte*

Fecha de Examen: \_\_ - \_\_ - \_\_\_\_

(Leyenda "Aprobado") .....		
EL EXAMEN DE DEFENSA DEL PRESENTE TRABAJO FINAL DE GRADO HA MEREcido LA CALIFICACIÓN DE ..... PUNTOS CONCEPTO: .....		
Tribunal Examinador:		
Presidente	Vocal 1°	Vocal 2°



## **Contenido**

Capítulo 1 .....	9
1.1    Introducción .....	10
1.2    Objetivos .....	11
1.2.1    Objetivo General .....	11
1.2.2    Objetivos Específicos.....	11
Capítulo 2 .....	13
2.1    Espectro Radioeléctrico.....	14
2.1.1    Ondas electromagnéticas .....	14
2.2    Comunicaciones .....	16
2.2.1    Comunicaciones Electrónicas.....	17
2.2.2    Modulación y demodulación .....	17
2.3    Serie de Fourier .....	20
2.3.1    Serie de Fourier de señales periódicas continuas.....	21
2.3.2    Mediciones electrónicas .....	24
2.4    Instrumental para el análisis espectral .....	25
2.4.1    Analizador de espectro .....	27
2.5    Líneas de transmisión.....	30
2.5.1    Características de las líneas de transmisión .....	31



2.5.2	Ondas incidente y reflejada .....	39
2.5.3	Relación de onda estacionaria .....	40
2.6	Antenas.....	41
2.6.1	Reciprocidad de antenas.....	43
2.6.2	Diagrama de radiación .....	43
2.6.3	Ganancia de una antena .....	46
2.6.4	Ángulo sólido.....	47
2.6.5	Resistencia de radiación.....	48
2.6.6	Directividad .....	50
Capítulo 3	.....	52
3.1	Radio FM .....	53
3.1.1	Modulación .....	54
3.1.2	Desviación de frecuencia .....	58
3.1.3	Ancho de banda .....	59
3.1.4	Ruido – Preénfasis y De énfasis.....	62
3.2	Televisión Analógica.....	63
3.3	Televisión Digital .....	69
Capítulo 4	.....	76
4.1	TRABAJO DE CAMPO – ANALIZADOR DE ESPECTRO .....	77
4.1.1	YPF – 2 DE ABRIL .....	85
4.1.2	ESTRECHO SAN CARLOS ESQUINA LAS VIRREINAS.....	88



4.1.3	RUTA 38 Y 25 .....	91
4.1.4	PEDRO BAZAN 415 .....	94
4.1.5	PADERCITAS .....	97
4.1.6	DIARCO .....	100
4.1.7	AUTODROMO .....	105
4.1.8	AEROPUERTO .....	108
4.1.9	Análisis .....	112
4.2	SDR .....	123
4.2.1	Introducción .....	123
4.2.2	TRABAJO DE CAMPO – MEDICIONES CON SDR.....	124
4.2.3	COMPARACIÓN SDR VS ANALIZADOR DE ESPECTROS.....	134
Capítulo 5	.....	136
5.1	Aplicativo en Excel.....	137
Capítulo 6	.....	145
Bibliografía	.....	149
Apéndice	.....	151
A.1	Código aplicativo Excel .....	152
A.2	Fotos .....	162



## ***Agradecimientos***

A Canal 9, a Radio y Televisión Riojana, por su apertura y predisposición al facilitarnos sus instrumentos de medición y su espacio de trabajo para las consultas.

Al Ingeniero Jorge Conci, quien ha colaborado con dispositivos para realizar las Mediciones y su valioso aporte de su experiencia en la materia.

A nuestro tutor, docente Ing. Pedro Rearte y al docente Ing. Oscar Almonacid quienes nos acompañaron durante todo este proceso, brindándonos sus conocimientos, su tiempo, apoyo, colaboración y su incansable persistencia para todo este proceso y en especial en el desarrollo del presente trabajo.

A todos los docentes de nuestra carrera, quienes nos han marcado el camino en nuestra formación académica y quienes han colaborado de una manera u otra para nuestra realización personal.

## ***Dedicatorias***

### ***De Sergio:***

A Dios y a la Virgen por acompañarme y no soltar mi mano en todo este proceso; porque con fe y trabajo todo llega.

A mis padres Blas y Petrona, por su amor incondicional, comprensión y apoyo que siempre me brindan.

A mis hermanos, Blas, Juan y Jorge que junto a sus familias me han alentado siempre.



A mis compañeros de Proyecto Final, Jorge y Mariano por acompañarnos juntos en este recorrido, agradezco el esfuerzo y compromiso con el que hemos trabajado para lograr este ansiado y esperado objetivo.

A mi Sobrino Ahijado Ramiro, a mis sobrinas Ahijadas Alma y Jasmín y a mi sobrina Luciana, por el amor incondicional de siempre.

A mi compañera de vida Pamela y a su familia por su gran apoyo, paciencia y acompañamiento en este proceso.

A mis tíos, Domingo, Pedro y a mis tías Candy y René por estar siempre y por su apoyo incondicional.

A mis primos y primas por todo su acompañamiento, muy especialmente a mi primo Maxi que desde el cielo me guía y me acompaña.

A mis compañeros de trabajo y a todas mis amistades quienes han tenido una palabra de aliento siempre.

***De Jorge***

A Dios principalmente. A mi familia, en especial a mi madre Mariana quién insistió incansablemente para que tome una formación profesional y para que la concluya más allá de todas las circunstancias; también a mi mujer Erika e hijos Bauti y Tomi, que me apalancaron para poder concluir la carrera. A todos mis amigos, profesores y conocidos que siempre me valoraron como persona y me alentaron a seguir adelante en este camino profesional. A todos mis compañeros de estudio, en especial a Sergio y Mariano quienes conformaron conmigo este grupo con el cual pudimos concluir nuestra carrera.



*De Mariano*

A mi familia, MI Madre que con su paciencia y consejos guio a todo el proceso, a los docentes de la carrera quienes aportaron sus conocimientos, al tutor que siempre estuvo predispuesto en todo momento.





# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS



## 1.1 Introducción

En la actualidad, la utilización del espectro radioeléctrico se ha vuelto cada vez más frecuente debido al aumento de los dispositivos móviles, las tecnologías de comunicación inalámbrica y la necesidad de conectividad en todo momento. Este crecimiento ha generado un mayor uso del espectro, lo que ha llevado a que se analice su situación actual y se evalúe la necesidad de realizar mediciones para conocer su estado.

El documento aquí presentado se enmarca en la figura de un Proyecto de Investigación aplicada presentado ante la Secretaría de Ciencia y Tecnología de nuestra facultad como un Proyecto de Investigación desarrollado por los alumnos intervinientes y el cuerpo docente de la carrera de ingeniería electrónica.

Este proyecto sirvió para acercarnos al mundo científico y aportar a la sociedad información valiosa poco accesible para el público en general. A su vez dicha investigación será presentada como un paper académico publicable en una revista con referato.

El presente trabajo se enfoca específicamente en el análisis del espectro radioeléctrico en la ciudad de La Rioja, Argentina, con el objetivo de entender cómo se está utilizando el espectro en esta zona geográfica y cómo está distribuido en diferentes frecuencias. El estudio se justifica por la necesidad de conocer el estado actual del espectro radioeléctrico en la ciudad, debido a la creciente necesidad de uso de este.

Para lograr este objetivo, se realizaron mediciones en ocho puntos diferentes de la ciudad para evaluar la recepción y potencia de las señales en diferentes frecuencias. Con los datos recolectados, se construyó un gráfico de burbujas que permite visualizar la distribución del espectro en la ciudad.



Además de conocer el estado actual del espectro radioeléctrico en la ciudad, es importante destacar la necesidad de garantizar que las señales de una banda no interfieran con otras, lo que se conoce como interferencia electromagnética. Esto se debe a que la interferencia puede causar una degradación en la calidad de la señal, lo que puede afectar negativamente la transmisión de datos y la comunicación en general.

La presente investigación es de gran relevancia para la ciudad de La Rioja, ya que proporciona información valiosa sobre el estado actual del espectro radioeléctrico, lo que permitirá a las autoridades y empresas de telecomunicaciones tomar decisiones más informadas sobre la utilización de este recurso y garantizar una distribución eficiente y equitativa del mismo, evitando la interferencia entre las diferentes bandas y asegurando la calidad y estabilidad de las señales. Además, el estudio sienta las bases para futuras investigaciones en la materia, lo que contribuirá al desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles en el futuro.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Por lo expuesto precedentemente planteamos como solución a esta necesidad la confección de un informe de ocupación del espectro radioeléctrico, donde se pueda identificar por zona geográfica qué tan ocupado está dicho espectro y con qué nivel de potencia se reciben dichas señales en diversos puntos de la ciudad Capital de La Rioja.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Adaptar el instrumental de medición para la toma de lecturas en campo.
- Diseñar y medir antenas de longitudes de onda específicas de acuerdo con la banda de frecuencias a medir. En este punto se vincula el trabajo realizado a modo de Práctica



Profesional Supervisada (PPS) por el alumno Mariano Orquera que consistió en la realización de una antena discono.

- Medir intensidad de señal recibida y piso de ruido en las geolocalizaciones determinadas.
- Diagramar informe de ocupación del espectro en la ciudad de La Rioja.



# Capítulo 2

## CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS MATEMATICOS

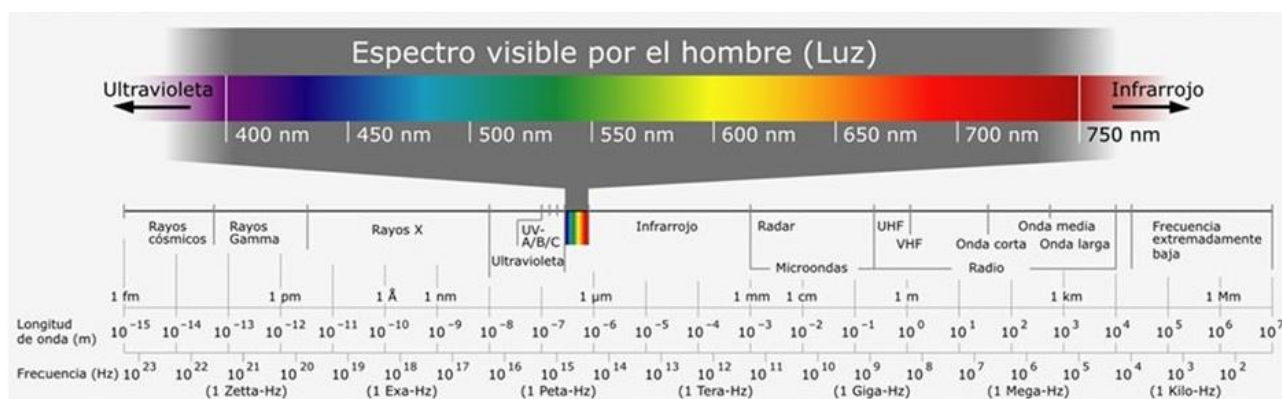


## 2.1 Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es una porción del espectro electromagnético que es aprovechado por seres humanos como medio de transmisión y recepción de información. Dicha porción se encuentra entre los límites (en frecuencia) de 30Hz a 300GHz (**Figura 1**). Al estar limitado, y al ser un recurso que todos pueden usar, se crearon organismos que regulan su uso racional en las regiones en que se van a usar equipos que aprovechan este medio de comunicación. En Argentina este ente es ENACOM.

**Figura 1**

*Espectro Electromagnético*



### 2.1.1 Ondas electromagnéticas

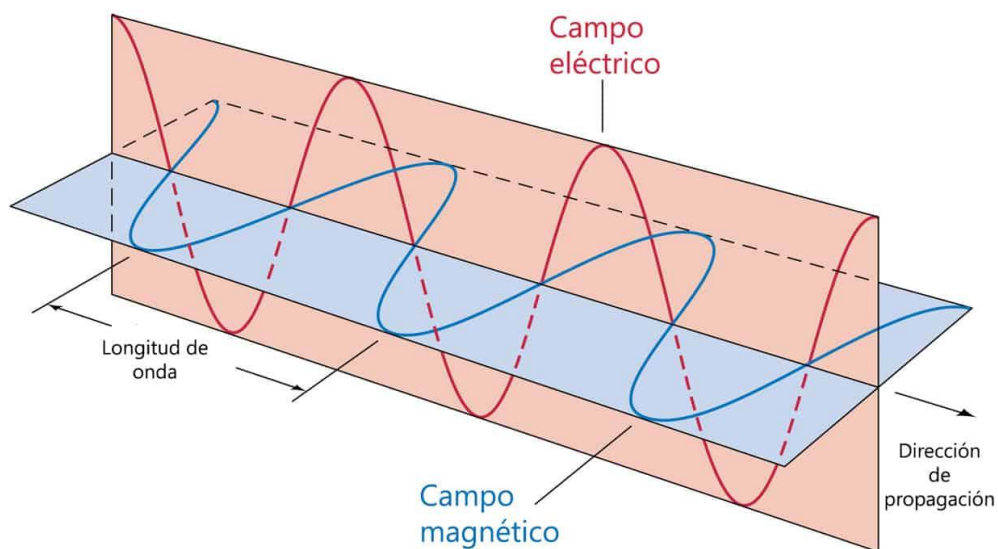
Las ondas electromagnéticas son la cantidad de energía que transporta, propaga o irradia, el campo electromagnético a través de un medio. Esta radiación clásicamente está asociada a la oscilación de los campos eléctrico y magnético (**Figura 2**). De acuerdo con el origen de la radiación, las ondas electromagnéticas tendrán distintas propiedades aprovechables y por lo tanto se les atribuyen distintos nombres como por ejemplo Luz visible, Radiación térmica, Ondas de radio, etc. Las características generales de las ondas electromagnéticas que se propagan en un determinado medio son:



- $c$  = velocidad de la onda en el vacío y en ese caso será la de la luz, en otro medio será menor se llamará  $v$  y se calcula de acuerdo con  $v = cn$  donde  $n$  es la propiedad del medio.
- $E$  = campo eléctrico
- $B$  = campo magnético
- $\lambda$  = longitud de onda, que relaciona la velocidad con la frecuencia mediante la ecuación  $v = \lambda f$  donde  $f$  es la frecuencia de oscilación.

Figura 2

Onda Electromagnética



Fue Maxwell quien formuló un marco teórico que describe la relación entre los campos  $E$  y  $B$  y aclara la naturaleza de onda en las radiaciones electromagnéticas. Esa teoría se representa en las siguientes ecuaciones:



- $\nabla E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
- $\nabla B = 0$
- $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$
- $\nabla \times B = \mu_0 \left( J + \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right)$

Cabe señalar que las ondas electromagnéticas (y por extensión la radiación electromagnética) tienen asociada una partícula elemental llamada fotón. Se puede relacionar la energía del fotón  $E_p$  con  $\lambda$ ,  $f$  y  $c$ :

- $E_p = \frac{h}{\lambda} = \frac{hf}{c}$  donde  $h$  es la constante de Planck

Profundizar en el tema es adentrarse en la física cuántica y eso escapa a la finalidad del presente trabajo y por lo tanto se dejará solo como anécdota.

## 2.2 Comunicaciones

La comunicación es la acción de intercambiar información entre un emisor y un receptor a través de un medio. Para que la comunicación se lleve a cabo debe existir un mensaje, ser transmitido y ser receptado. Ese mensaje para que sea útil debe ser codificado de tal manera por el transmisor tal que el receptor pueda decodificarlo y procesarlo. (htt10)

La comunicación puede establecerse de manera natural o artificial y a su vez pueden ser analógicas o digitales.





### **2.2.1 Comunicaciones Electrónicas**

El objetivo fundamental de un sistema electrónico de comunicaciones es transferir información de un lugar a otro y por lo tanto se puede decir que tal comunicación se compone de la transmisión, recepción y procesamiento de dicha información entre dos o más lugares, mediante circuitos electrónicos. Aunque los conceptos generales de las comunicaciones electrónicas no han cambiado mucho desde sus inicios, los métodos por los cuales se han implantado si sufrieron grandes cambios. Los circuitos integrados simplificaron el diseño de la comunicación electrónica, permitiendo la miniaturización, mayor eficiencia y menores costos relacionados. La necesidad de comunicarse es cada vez mayor y esta necesidad ha estimulado al crecimiento de la industria de las comunicaciones electrónicas.

Con anterioridad se habló de las partes de un sistema de comunicación y a continuación las describiremos brevemente. El transmisor convierte la información original de la fuente a una forma más adecuada para la transmisión, el medio de transmisión proporciona una vía de conexión entre el transmisor y el receptor (tal como un conductor metálico, una fibra óptica o el espacio libre), y el receptor convierte la información recibida a su forma original y la transfiere a su destino.

Un sistema electrónico de comunicación puede ser analógico o digital. Un sistema de comunicaciones analógico es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma de una señal variando continuamente tal como una onda senoidal. Un sistema de comunicaciones digital es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma de niveles discretos (tal como +5 V y tierra).

### **2.2.2 Modulación y demodulación**

Muchas veces no es práctico transmitir la información “tal cual es”, por lo tanto, se precisan de técnicas que hagan factible, segura y práctica la transmisión. Esas técnicas son la modulación y



demodulación. Modular es el proceso de variar una o más propiedades de una onda periódica, llamada señal portadora, con otra señal, la modulante, que normalmente contiene la información a transmitir. (htt11)

Las comunicaciones analógicas son aquellas en las cuales la energía se transmite y recibe de forma analógica, o sea, una señal que varía continuamente en el tiempo, como por ejemplo una onda senoidal. Las comunicaciones digitales abarcan una gran variedad de técnicas. Con la transmisión digital no hay portadora analógica y la información originalmente puede ser digital o analógica en cuyo caso debe ser convertida a forma digital antes de ser transmitida. (Tomasi, Sistemas Electrónicos de Comunicaciones)

Anteriormente se habló de una onda periódica a la que se le varían una o más de sus propiedades. Dada la ecuación (2.1)

$$v_{(t)} = V \sin(2\pi ft + \theta) \quad (2.1)$$

Donde

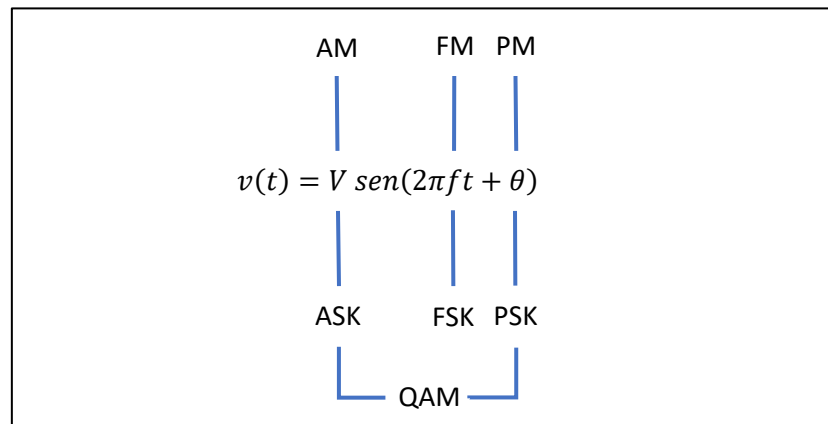
- $v_{(t)}$  = voltaje variable
- $V$  = amplitud máxima (volts)
- $f$  = frecuencia (hertz)
- $\theta$  = fase (radianes)

Se muestran distintas formas de modulación (**Figura 3**):



Figura 3

Modulaciones de una señal



La ecuación (2.1) es la representación matemática de una señal de voltaje variable en el tiempo. Si la información es analógica, y la amplitud de la portadora es proporcional a ella estamos modulando en AM; si en cambio, se varia proporcionalmente la frecuencia en forma proporcional a la información, se modula en FM. Si la fase de la portadora se varia proporcionalmente a la señal de origen se trata de modulación PM.

Si la información es digital tenemos los siguientes casos:

- ASK (modulación por conmutación de amplitud, amplitude shift keying) si lo que varía es la amplitud de la portadora.
- FSK (modulación por conmutación de frecuencia, frequency shift keying) si se trata de una variación de la frecuencia.
- PSK (modulación por conmutación de fase, phase shift keying) si es la fase lo que cambia.
- Si se varían al mismo tiempo la amplitud y la fase en proporción con la señal de información se dice que modula en QAM, quadrature amplitude modulation, modulación de amplitud en cuadratura.



La modulación se lleva a cabo en un transmisor mediante un circuito llamado modulador. La demodulación es el proceso inverso y reconvierte la señal modulada en la información original.

Hay dos razones por las cuales es útil modular:

1. Hay casos en que es difícil irradiar señales de baja frecuencia en forma electromagnética
2. Distintas señales de información pueden ocupar el mismo “espacio” y si se transmiten al mismo tiempo pueden interferir perjudicialmente entre sí.

### **2.3 Serie de Fourier**

La serie de Fourier es nombrada así en honor de Jean-Baptiste Joseph Fourier, quien hizo contribuciones muy importantes al estudio de las series trigonométricas basándose en estudios previos de Euler, d’Alembert, Bernoulli, etc. Fueron la propagación y la difusión del calor las que motivaron a Fourier para encontrar un método que pudiera resolver las ecuaciones asociadas. Inicialmente los argumentos matemáticos de Fourier eran imprecisos y fue Dirichlet quien expuso las condiciones formales útiles. (Oppenheim)

Una serie de Fourier es una expansión de una función periódica  $f(x)$  en términos de una suma infinita de senos y cosenos. El cálculo y el estudio de la serie de Fourier se conoce como análisis armónico y es extremadamente útil como una forma de dividir una función periódica arbitraria en un conjunto de términos simples que se pueden conectar, resolver individualmente y luego recombinar para obtener la solución al problema original, o una aproximación a la precisión deseada o práctica.



### 2.3.1 Serie de Fourier de señales periódicas continuas

Una señal periódica es aquella en la que  $x(t) = x(t + T)$  donde T es el periodo fundamental y

$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ , donde  $\omega_0$  es la frecuencia fundamental.

Suponiendo que partimos de una función periódica en el tiempo dada por la ecuación (2.2)

$$x(t) = e^{j\omega_0 t} \quad (2.2)$$

Podemos decir que (2.4) es una superposición de señales relacionadas armónicamente

$$\varphi_k(t) = e^{jk\omega_0 t} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (2.3)$$

Por lo tanto, combinando de forma lineal:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{jk\omega_0 t} \quad (2.4)$$

Los k-esimos términos se conocen como componentes.

- $k = 0$  es una constante
- $k = 1, k = -1$  es la componente fundamental o primera armónica
- $k = 2, k = -2$  segunda armónica
- $k = N, k = -N$  componentes de la enésima armónica.

A la ecuación (2.4) se la conoce como la serie de Fourier. La determinación de los coeficientes

$C_k$  se los obtiene de la siguiente forma:

$$C_k = \frac{1}{T} \int_T x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt = \frac{1}{T} \int_T x(t) e^{-j\frac{2\pi}{T}kt} dt \quad (2.5)$$

Una forma alternativa muy utilizada de la serie de Fourier se muestra a continuación:



$$\begin{aligned}x(t) &= \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \\ &= \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega_0 t) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin(k\omega_0 t)\end{aligned}\tag{2.6}$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^{2T} x(t) dt\tag{2.7}$$

$$a_k = \frac{1}{T} \int_0^{2T} x(t) \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) dt = \frac{1}{T} \int_0^{2T} x(t) \cos(k\omega_0 t) dt\tag{2.8}$$

$$b_k = \frac{1}{T} \int_0^{2T} x(t) \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) dt = \frac{1}{T} \int_0^{2T} x(t) \sin(k\omega_0 t) dt\tag{2.9}$$

De la ecuación (2.6) y usando identidades trigonométricas podemos reescribirla como sigue:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T} - \varphi_k\right) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(k\omega_0 t - \varphi_k)\tag{2.10}$$

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}\tag{2.11}$$



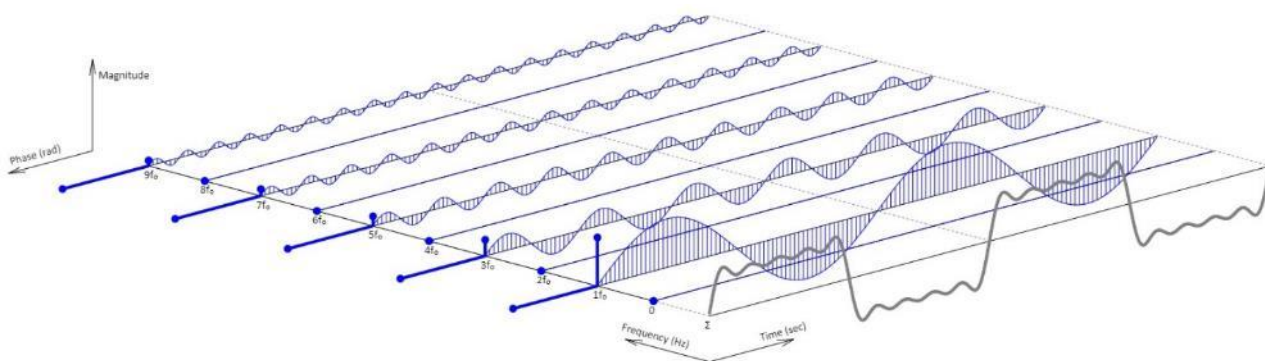
$$\varphi_k = \tan^{-1} \frac{b_k}{a_k} \quad (2.12)$$

Donde  $c_k$  es el módulo de los coeficientes y  $\varphi_k$  la fase de dichos coeficientes.

La representación de la amplitud de los componentes versus la frecuencia se la conoce representación espectral o de espectros, ya que espectro es un nombre alternativo de componente. A continuación, se muestra cómo se relaciona el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia:

**Figura 4**

*Representación gráfica de la serie de Fourier*



Se puede apreciar en la (**Figura 4**):

- En el plano tiempo-amplitud la suma parcial de los coeficientes de la serie de Fourier
- En el plano frecuencia-amplitud el módulo de los coeficientes, gráfico que comúnmente se conoce como espectro en frecuencia



- Del plano fase-amplitud el cambio en fase de los componentes de la serie de Fourier
- Nótese cómo cada componente es una onda senoidal, su contribución a la onda original y cómo modificando los parámetros fase, amplitud o frecuencia se altera esa onda original.

### 2.3.2 Mediciones electrónicas

El termino medida es utilizado para describir el acto de determinar el valor de alguna cantidad, se basa en comparar una cantidad estandarizada de una determinada magnitud física seleccionada con el objeto o fenómeno cuya magnitud física se desea medir. El proceso de medición requiere el uso de un instrumento para determinar la magnitud a medir. Un instrumento electrónico se basa en principios eléctricos y/o electrónicos para efectuar la medición. (Bolton) (William Cooper)

Las mediciones se pueden englobar en:

- Directa: se obtiene con un instrumento de medida que compara la variable a medir con un patrón.
- Indirecta: cuando no es posible realizar una medida directa, porque existen variables que no se pueden medir por comparación directa de patrones de la misma naturaleza (o porque el valor a medir es muy grande, muy pequeño, depende de obstáculos de otra naturaleza, etc.), se estima midiendo una o más magnitudes diferentes y se calcula la dimensión buscada a partir de la magnitud o magnitudes directamente medidas.





Una señal es la variación de una magnitud física que se utiliza para transmitir información. Las señales sin información o función útil se denominan ruido si procede del propio canal del cual se transmite la información e interferencia si procede de otro canal. (Areny)

De acuerdo con la naturaleza de la señal los métodos de medidas se pueden clasificar en:

- Analógico: la cantidad que se está midiendo se controla continuamente y el instrumento da una respuesta cuya magnitud representa la cantidad medida.
- Digital: la cantidad medida se muestrea a intervalos regulares y el valor se convierte a números.

De acuerdo con la definición de instrumento electrónico se ve que éstos necesitan que la señal sea de naturaleza eléctrica o electrónica.

Una señal eléctrica es una alteración en tensión, corriente, potencia u otra magnitud empleada para transmitir información. Este tipo de señales pueden ser generadas de forma eléctrica directamente o proceder de un transductor que la obtiene a partir de una señal no eléctrica. Las señales eléctricas obedecen la definición analógica/digital: si son analógicas toman cualquier valor dentro de un rango y pueden ser continuas o discontinuas (que solo existen en instantes concretos); si son digitales solo pueden tomar valores discretos como 0 y 1. (Areny)

En el presente proyecto se describirá la realización de mediciones con instrumental electrónico digital, por lo tanto, nos concentraremos en desarrollar la teoría inherente a éstos que indudablemente contendrán conceptos y procesamiento de señales analógicas (de software y hardware según corresponda).

## 2.4 Instrumental para el análisis espectral



Hay características de las señales que son difíciles de apreciar en el dominio del tiempo, pero que en el dominio de la frecuencia se vuelven visibles y relevantes. Cuando se desea visualizar el contenido espectral de las señales se disponen de varias opciones de equipos, los cuales se nombran a continuación: analizadores de espectro, analizadores de Fourier, analizadores vectoriales y osciloscopios digitalizadores. En la **Tabla 1** se resumen las características de cada uno de ellos.

**Tabla 1**

*Algunos analizadores de espectro*



Instrumento	Beneficios	Limitaciones	Aplicaciones
Analizador de Espectro	Mayor rango de frecuencia Mayor span en frecuencia	Requiere una señal estable Mediciones escalares No alcanza DC Mínima resolución en frecuencia alta	Gráficos espectrales RF Escaneo EMI
Analizador de Fourier	Resolución de frecuencia estrecha Mediciones vectoriales desde DC Análisis de transitorios Muchas características para análisis	Menor rango de frecuencia Menor span en frecuencia	Análisis de vibraciones Análisis acústico
Analizador Vectorial	Los mismos que el Analizador de Fourier más un rango en frecuencia amplio	No alcanza DC	Gráficos espectrales RF con información de fase
Osciloscopio Digitalizador	Resolución de frecuencia estrecha Mayor ancho de banda para análisis de transitorios Mediciones desde DC	Menor rango de frecuencia Menor rango dinámico "Aliasing" Señales espurias Pocas características para análisis	Gráficos espectrales de señales transitorias Análisis de fase de señales continuas y transitorias

### 2.4.1 Analizador de espectro

Como su nombre lo indica, este tipo de equipo provee información acerca del espectro de una señal, permitiendo distinguir por ejemplo las espurias de la señal de interés. La forma más común es mostrar en una pantalla la amplitud en el eje vertical y la frecuencia en el horizontal.

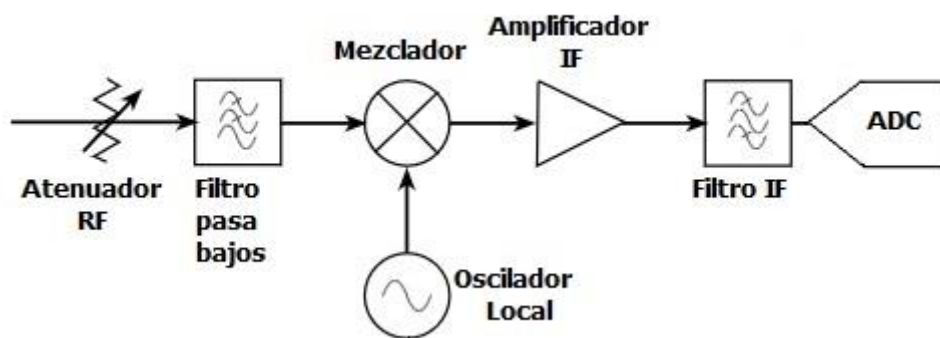


Normalmente el eje de las frecuencias es lineal mientras que el de la amplitud es logarítmico, lo que posibilita visualizar señales con grandes diferencias de amplitud, escala que está dada en decibeles usando la relación  $dB = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$ .

Un diagrama en bloques de un analizador de espectro de barrido en frecuencia se muestra a continuación (**Figura 5**)

**Figura 5**

*Esquema de un analizador de espectro*



De la (**Figura 5**) se describirán los elementos constituyentes:

El atenuador RF tiene la función de ajustar el nivel de la señal de entrada al mezclador a los niveles óptimos de este. Si esto no ocurre es posible que el mezclador funcione inadecuadamente y productos de mezclado indeseados aparezcan en la medición. También cumple la función de proteger ante señales de grandes amplitudes y a menudo incluye un capacitor para mayor protección contra corrientes DC.



El filtro pasa bajo está para rechazar frecuencias de señales fuera de la banda de interés y previene que se mezclen con la del oscilador local evitando que se muestreen en el instrumento.

La clave del instrumento de la **(Figura 5)** es el mezclador. Dicho bloque permite traducir una frecuencia  $f$  a otra llamada frecuencia intermedia que puede ser  $(f+f_o)$  o  $(f-f_o)$  donde  $f_o$  es la frecuencia del oscilador local. Normalmente la relación que se utiliza es la de la diferencia, ya que posibilita el uso de electrónica de mejores características y menor costo en los circuitos que siguen en la cadena. Los mezcladores son circuitos de alta performance que deben ser capaces de operar en un amplio rango de señales y ofrecer respuestas a espurios de bajo nivel.

La frecuencia del oscilador local comanda la frecuencia de la señal que recibe el filtro IF. Ese barrido en frecuencia (variación lineal) se hace de tal forma que cubre la banda en la frecuencia requerida. Debe también poseer una performance de ruido de fase muy buena, ya que si no es lo suficientemente buena resultara en que no se podrán hacer mediciones angostas de banda porque ese ruido se trasladará a la medición.

El amplificador IF amplifica la salida del mezclador que típicamente es de bajo nivel, lo que incrementa la resolución en frecuencia y, como contrapartida, vuelve más lento el refresco de barrido. Achicar el ancho de banda de este filtro reduce el piso de ruido y permite ver señales espurias de bajo nivel.

El ADC, conversor analógico digital, lleva a cabo la tarea de transformar la señal analógica al dominio digital por medio del proceso de muestreo el cual toma muestras de la señal de entrada a un intervalo constante conocido como la frecuencia de Nyquist. Esa frecuencia tiene que ser por lo menos el doble de la frecuencia de entrada, o sea  $f_s = 2 f_i$  donde  $f_s$  es la frecuencia de muestreo (sampling) y  $f_i$  es la frecuencia de entrada (input). Puede ser que  $2 f_i$  no sea suficiente para reconstruir la señal de forma digital por lo que se usaría una frecuencia mayor, pero no exageradamente alta porque puede resultar impráctico económicamente y en el diseño



también. Un problema llamado aliasing (o plegado) aparece si  $f_s < f_i$ , o sea la aparición de frecuencias altas trasladadas a la banda de frecuencias de muestreo. Para evitar esto se suele colocar antes del ADC un filtro llamado antialias. Este filtro debe tener una frecuencia de corte como mucho 2.5 veces menor que  $f_s$  lo que a su vez determina la máxima frecuencia de operación del instrumento.

El analizador de la **(Figura 5)** solo captura por barrido una banda de frecuencia a la vez y por ende pierde la información de fase entre espectros, pero si a ese mismo se le añade un procesador de FFT (fast Fourier transform) el mismo puede capturar la información completa del dominio de la frecuencia. Esto se logra eliminando el mezclador y haciendo uso directamente de un ADC, el que captura toda la señal de una sola vez junto al uso de un procesador digital que puede ser FPGA o microprocesador. El ADC impone restricciones, esto es bajas velocidades de muestreo lo que limita el rango de frecuencias de entrada. Tiene la ventaja de capturar más rápido las señales, lo que permite por ejemplo la captura de transitorios en señales de poca duración. (Montijo, s.f.) (Electronics Notes, s.f.)

## 2.5 Líneas de transmisión

Una línea de transmisión es una estructura diseñada para conducir energía eléctrica de un punto a otro, desde corriente continua hasta radiofrecuencias. Es un sistema de conductores metálicos separados por un aislador, por ejemplo, un par de alambres paralelos separados por un aislante dieléctrico. Su propósito es transportar dicha energía, como por ejemplo: desde transmisores/receptores a sus antenas; distribuir señales de cable; enrutar troncales entre centros de conmutación telefónica; redes de computadoras; buses de datos de alta velocidad, etc. Una línea de transmisión puede tener entre unos pocos centímetros hasta varios kilómetros.



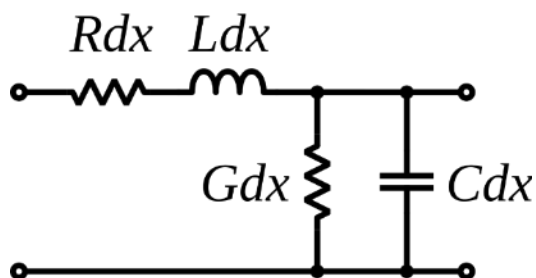
### 2.5.1 Características de las líneas de transmisión

Cuando se propagan señales de continua o baja frecuencia (menores a 30kHz) el comportamiento de una línea de transmisión es sencillo y muy predecible, pero a mayores frecuencias se complican las características. Así, idealmente, podemos decir que un tramo de longitud  $dx$  circuitalmente está compuesto por un inductor en serie a la línea (representa la autoinductancia, medida en H/m) y un capacitor en paralelo (medida en F/m). Si tenemos en cuenta las pérdidas será necesario introducir una resistencia en serie ( $\Omega/m$ ) y una conductancia en paralelo (S/m) que las represente (Figura 6

Modelo circuital de una línea de transmisión con pérdidas

Figura 6

Modelo circuital de una línea de transmisión con pérdidas



Usar las ecuaciones de Maxwell para analizar una línea de transmisión es impráctico, por lo tanto, se utiliza un modelo llamado de parámetros distribuidos que parte de las características físicas y permite trabajar con tensiones y corrientes en lugar de campos por lo que las reglas de Kirchoff pueden aplicarse. (Sanchis)

Las características de una línea de transmisión están dadas por sus propiedades eléctricas (conductividad del alambre, constante dieléctrica del aislante) y de sus propiedades físicas (sección del alambre, distancia de los conductores) las que a su vez determinan las

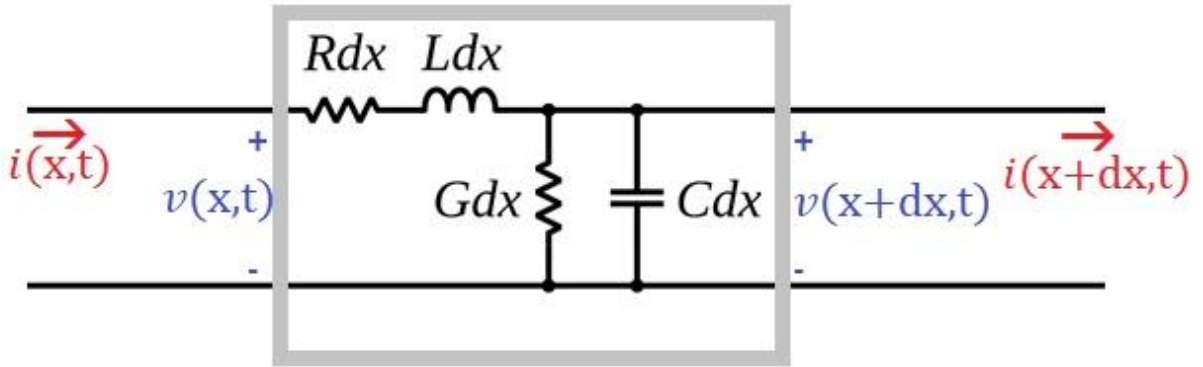


características ya mencionadas: resistencia R, inductancia L, capacitancia C y conductancia G. Estas constantes se hayan distribuidas uniformemente en la longitud de la línea y por ello es que se los llama parámetros distribuidos. Estas características nos permiten determinar parámetros de la línea, como se desarrollará a continuación.

Partiendo de la **Figura 7** y teniendo en cuenta que la línea de transmisión es infinitamente larga:

**Figura 7**

*Modelo de cuadripolo de una línea de transmisión*



Usando la ley de Kirchoff de los voltajes y las corrientes se obtiene:

$$i(x,t)Rdx + Ldx \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} + v(x,t) + \frac{\partial v(x,t)}{\partial x} dx = v(x,t)$$

$$-\frac{\partial v(x,t)}{\partial x} = i(x,t)R + L \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} \quad (2.13)$$

$$v(x,t)Gdx + Cdx \frac{\partial v(x,t)}{\partial t} + i(x+dx,t) = i(x,t)$$

$$-\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = v(x,t)G + C \frac{\partial v(x,t)}{\partial t} \quad (2.14)$$





Operando matemáticamente (2.13) y (2.14)

$$\frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial^2 x} = RGv(x, t) + RC \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} + LG \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial^2 t} \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial^2 i(x, t)}{\partial^2 x} = RGi(x, t) + (RC + LG) \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 i(x, t)}{\partial^2 t} \quad (2.16)$$

Planteando como solución las siguientes ecuaciones

$$v(x, t) = V(x)e^{j\omega t} \quad (2.17)$$

$$i(x, t) = I(x)e^{j\omega t} \quad (2.18)$$

Donde

$$V(x) = v_{(+)}e^{-\gamma x} + v_{(-)}e^{\gamma x} \quad (2.19)$$

$$I(x) = i_{(+)}e^{-\gamma x} + i_{(-)}e^{\gamma x} \quad (2.20)$$

Combinando (2.17) con (2.19) y (2.18) con (2.20)



$$v(x, t) = (v_{(+)}e^{-\gamma x} + v_{(-)}e^{\gamma x})e^{j\omega t} \quad (2.21)$$

$$i(x, t) = (i_{(+)}e^{-\gamma x} + i_{(-)}e^{\gamma x})e^{j\omega t} \quad (2.22)$$

Operando en (2.21)

$$\frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial^2 x} = \gamma^2 v(x, t) \quad (2.23)$$

Igualando (2.23) con (2.15) y operando

$$\gamma = \pm\sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (2.24)$$

De (2.24)  $\gamma$  se llama constante de propagación y se usa para representar la atenuación y la diferencia de fase por unidad de longitud. Se usa para determinar la reducción de voltaje o corriente a lo largo de la línea de transmisión. Dicha constante es un número complejo de la forma  $\alpha + j\beta$  y se define



$$\alpha = \sqrt{\frac{RG - LC\omega^2 + \sqrt{(R^2 + (\omega L)^2)(G^2 + (\omega C)^2)}}{2}} \quad (2.25)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{LC\omega^2 - RG + \sqrt{(R^2 + (\omega L)^2)(G^2 + (\omega C)^2)}}{2}} \quad (2.26)$$

Donde  $\alpha$  es la constante de atenuación en nepers por metro y  $\beta$  es la constante de fase en radianes por metro

Si igualamos (2.13) con (2.21) y operando

$$\gamma v_{(+)} e^{-\gamma x} - \gamma v_{(-)} e^{\gamma x} = (R + j\omega L)I(x) \quad (2.27)$$

Similarmente para (2.14) y (2.22)

$$\gamma i_{(+)} e^{-\gamma x} - \gamma i_{(-)} e^{\gamma x} = (G + j\omega C)V(x) \quad (2.28)$$

Dividiendo (2.27) en (2.28) llegamos a

$$v_{(+)}^2 e^{-2\gamma x} - v_{(-)}^2 e^{2\gamma x} = \frac{(R + j\omega L)}{(G + j\omega C)} (i_{(+)}^2 e^{-2\gamma x} - i_{(-)}^2 e^{2\gamma x}) \quad (2.29)$$



Analizando término a término de (2.29) y definido  $v_{(+)}$  e  $i_{(+)}$  como la onda incidente y  $v_{(-)}$  e  $i_{(-)}$  como la onda reflejada de la tensión y corriente respectivamente, para que dicha ecuación sea válida para cualquier valor de  $x$  se debe cumplir

$$\frac{v_{(+)}^2 e^{-2\gamma x}}{i_{(+)}^2 e^{-2\gamma x}} = \frac{v_{(-)}^2 e^{2\gamma x}}{i_{(-)}^2 e^{2\gamma x}} = \frac{R + j\omega L}{G + j\omega C} \quad (2.30)$$

Y definimos  $Z_0$  como la impedancia característica:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.31)$$

Esta impedancia  $Z_0$  se mide en ohms y es compleja e independiente de la longitud de la línea. Es un valor que sirve para conocer como terminar la línea de tal forma que no haya pérdidas y que toda la energía llegue a la carga y no se refleje nada hacia la fuente. La impedancia característica está definida como la impedancia vista hacia la carga en una línea infinita o una línea finita terminada con una carga puramente resistiva igual a  $Z_0$ .

La distancia entre dos puntos a lo largo de la línea de transmisión en donde las corrientes y voltajes tienen una diferencia de fase  $\beta$  de  $2\pi$  radianes es llamada longitud de onda, o lo que es lo mismo, la distancia en un punto y el siguiente en donde el voltaje o la corriente tienen la misma fase.



$$\beta\lambda = 2\pi$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (2.32)$$

En una longitud de onda un ciclo eléctrico se completa, por lo que un tiempo T es requerido y por lo tanto se puede definir la velocidad de propagación como (usando (2.32)):

$$v_p = \frac{\lambda}{T}$$

$$v_p = \frac{2\pi}{T\beta} = \frac{2\pi f}{\beta} = \frac{\omega}{\beta} \quad (2.33)$$

Sabemos que la velocidad dependerá del tipo de medio por el que se propague la onda, por lo que aproximadamente se puede definir para una línea de bajas pérdidas

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} \quad (2.34)$$

Donde:

- $c$  es la velocidad de la luz
- $\epsilon$  es la permitividad absoluta del medio
- $\mu$  es la permeabilidad absoluta del medio
- $\epsilon_r$  es la permitividad relativa del medio



- $\mu_r$  es la permeabilidad relativa del medio

Para las mismas condiciones (2.33) queda

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.35)$$

Si se considera que más de una onda viaja en una línea de transmisión, la velocidad de propagación pasa a ser la velocidad de grupo y se calcula

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta} \quad (2.36)$$

Se suele especificar la velocidad de propagación con respecto a la velocidad de la luz, lo que da lugar al factor de velocidad

$$\eta = \frac{c}{v_p} \quad (2.37)$$

Tanto la impedancia característica como el factor de velocidad (de forma porcentual muchas veces) son parámetros suministrados por los fabricantes.

Para el caso planteado las ondas de voltaje y corriente quedan como sigue

$$v(x, t) = (v_{(+)}e^{-\gamma x} + v_{(-)}e^{\gamma x})e^{j\omega t} \quad (2.38)$$



$$i(x, t) = \frac{1}{Z_0} (v_{(+)}e^{-\gamma x} - v_{(-)}e^{\gamma x})e^{j\omega t} \quad (2.39)$$

Si dividimos (2.38) entre (2.39) podemos definir la impedancia en cualquier punto de la línea

$$Z(x) = Z_0 \frac{(v_{(+)}e^{-\gamma x} + v_{(-)}e^{\gamma x})}{(v_{(+)}e^{-\gamma x} - v_{(-)}e^{\gamma x})} \quad (2.40)$$

### 2.5.2 Ondas incidente y reflejada

Anteriormente se definieron las ondas incidentes y reflejadas. La onda incidente es aquella que se propaga desde la fuente a la carga, mientras que la reflejada lo hace desde la carga a la fuente. Si la línea es infinitamente larga o se termina en una impedancia resistiva igual a la característica no habrá onda reflejada, lo que significa que la carga absorbe toda la potencia y se concluye que la onda reflejada no puede ser mayor que la onda incidente. La relación entre la onda de voltaje incidente (o reflejada) y la onda de corriente incidente (o reflejada) se denomina coeficiente de reflexión.

$$\Gamma(x) = \frac{v_{(-)}}{v_{(+)}} e^{2\gamma x} \quad (2.41)$$

Si usamos (2.40) y operamos encontramos la impedancia en función del coeficiente de reflexión



$$Z(x) = Z_0 \frac{1 + \Gamma(x)}{1 - \Gamma(x)} \quad (2.42)$$

Si operamos encontramos una expresión que nos da el coeficiente de reflexión a partir de la medida de la impedancia y conociendo la impedancia característica

$$\Gamma(x) = \frac{Z(x) - Z_0}{Z(x) + Z_0} \quad (2.43)$$

### 2.5.3 Relación de onda estacionaria

La relación entre el voltaje máximo y el mínimo (o entre corrientes máxima y mínima) se llama relación de onda estacionaria, ROE, o SWR (traducción del inglés). Este coeficiente es una medida de la falta de compensación entre la impedancia de carga y la característica.

$$ROE = \frac{V_{max}}{V_{min}} \quad (2.44)$$

V<sub>max</sub> ocurre cuando la onda incidente y la onda reflejada están en fase (sus máximos coinciden en el mismo punto) y V<sub>min</sub> cuando están en contra fase, o sea desfasadas 180° y sus expresiones son

$$V_{max} = v_{(+)} + v_{(-)} \quad (2.45)$$





$$V_{min} = v_{(+)} - v_{(-)} \quad (2.46)$$

Con lo que (2.44)

$$ROE = \frac{v_{(+)} + v_{(-)}}{v_{(+)} - v_{(-)}} \quad (2.47)$$

Si usamos (2.41) encontramos una ecuación que vincula el coeficiente de reflexión con la ROE

$$ROE = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.48)$$

La relación de onda estacionaria es importante, ya que, a diferencia del coeficiente de reflexión, es un parámetro fácil de medir y da una indicación de las condiciones de funcionamiento de la línea y del acoplamiento de ésta a la carga y al generador.

## 2.6 Antenas

Una antena es un dispositivo diseñado para radiar (o recibir) energía con la mayor efectividad posible. La antena actúa como un transductor entre un campo electromagnético guiado y un campo que se propaga por el espacio libre. La antena puede ser considerada en su doble faceta, como sistema radiante o como elemento de circuito y sus parámetros característicos son determinados por esta doble función.

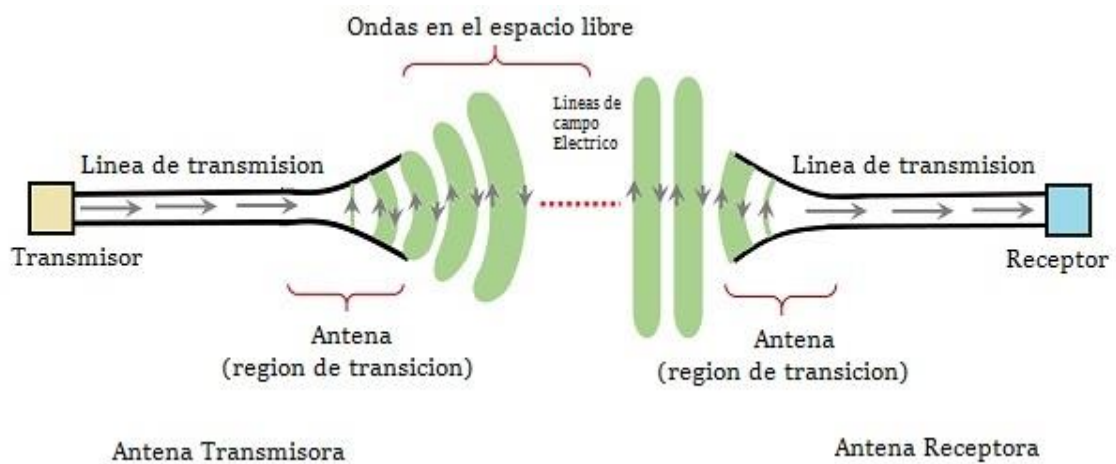


Las antenas son para conectar líneas de transmisión con el espacio libre o viceversa. En esencia una línea de transmisión acopla energía de un transmisor o de un receptor con una antena, que a su vez acopla energía con la atmosfera y de la atmosfera a una línea de transmisión. (Tomasi, Antenas y guia de ondas)

En la Figura 8 se muestra conceptualmente lo descrito en el párrafo anterior

**Figura 8**

*Diagrama de transición de una línea de transmisión a una antena al espacio libre y viceversa*



Las antenas se caracterizan mediante parámetros tales como

- Resistencia de radiación
- Diagrama de radiación
- Ganancia de potencia
- Directividad
- Ancho de haz



### 2.6.1 Reciprocidad de antenas

Una antena es un dispositivo recíproco pasivo, porque en realidad no puede amplificar una señal, sin embargo, se verá que una antena puede tener ganancia. Se dice que es un elemento recíproco porque las características y desempeño de transmisión son idénticas a las de recepción.

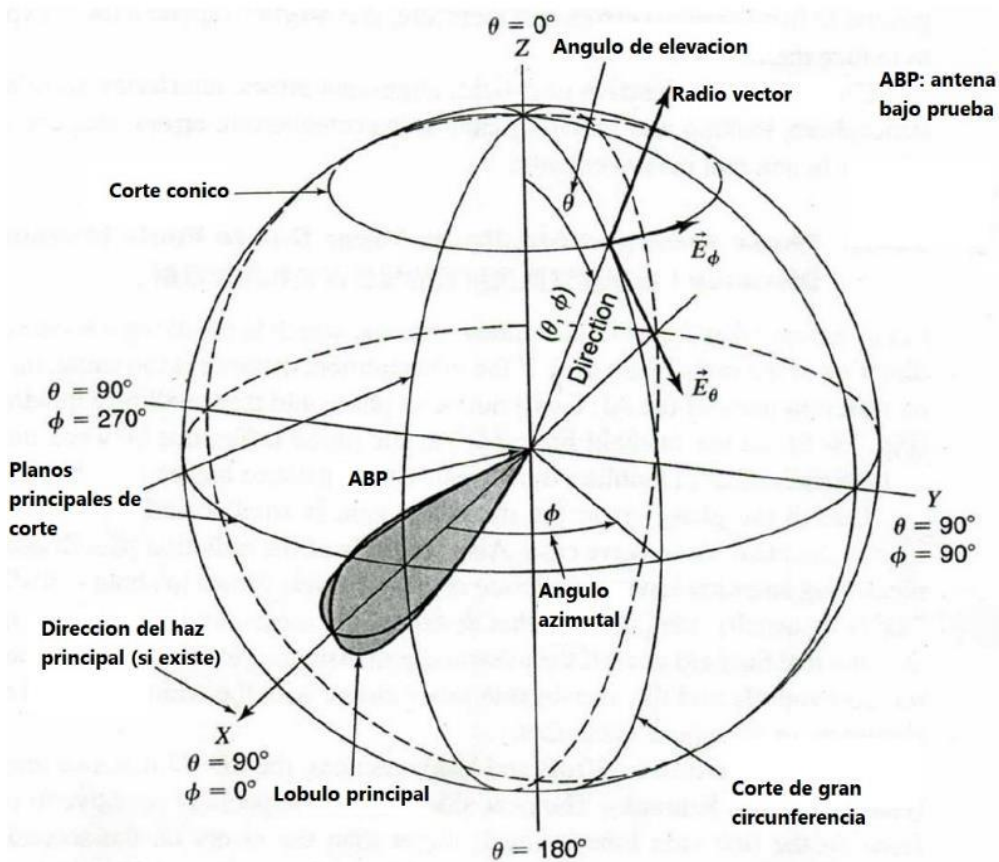
### 2.6.2 Diagrama de radiación

El diagrama de radiación es una representación gráfica, en tres dimensiones, que muestra la densidad de potencia en función de una dirección especificada por el ángulo de elevación  $\theta$  y el ángulo azimutal  $\phi$ . En virtud de la reciprocidad, una antena tiene el mismo diagrama de radiación cuando opera como emisora o receptora.

En la **Figura 9** se muestra la representación de los ángulos descriptos y los distintos cortes que se emplean para la gráfica de los diagramas de radiación.

Figura 9

Diagrama polar con las definiciones para los diagramas de radiación



Un diagrama de radiación es una gráfica polar que representa intensidades de campo o densidades de potencia en diversas posiciones angulares. Si se grafican intensidades de campo o densidad de potencia, la gráfica se denomina de radiación absoluta (es decir, distancia variable y potencia fija), pero si se grafica respecto a un punto de referencia se llama grafica de radiación relativa (es decir distancia fija, potencia variable). En general los diagramas contienen un lóbulo principal y varios lóbulos secundarios de menor amplitud.

Como se aprecia en la **Figura 10**, un diagrama completo es tridimensional y es difícil de visualizar gráficamente, por este motivo se representan secciones por planos de interés, que frecuentemente son los diagramas horizontales ( $\theta=90^\circ$ ) y verticales ( $\phi = \text{constante}$ ).



La relación de potencia del lóbulo principal a la del lóbulo trasero (si existiera) se llama eficiencia direccional, y la relación del lóbulo principal al lateral de llama relación frontal a lateral.

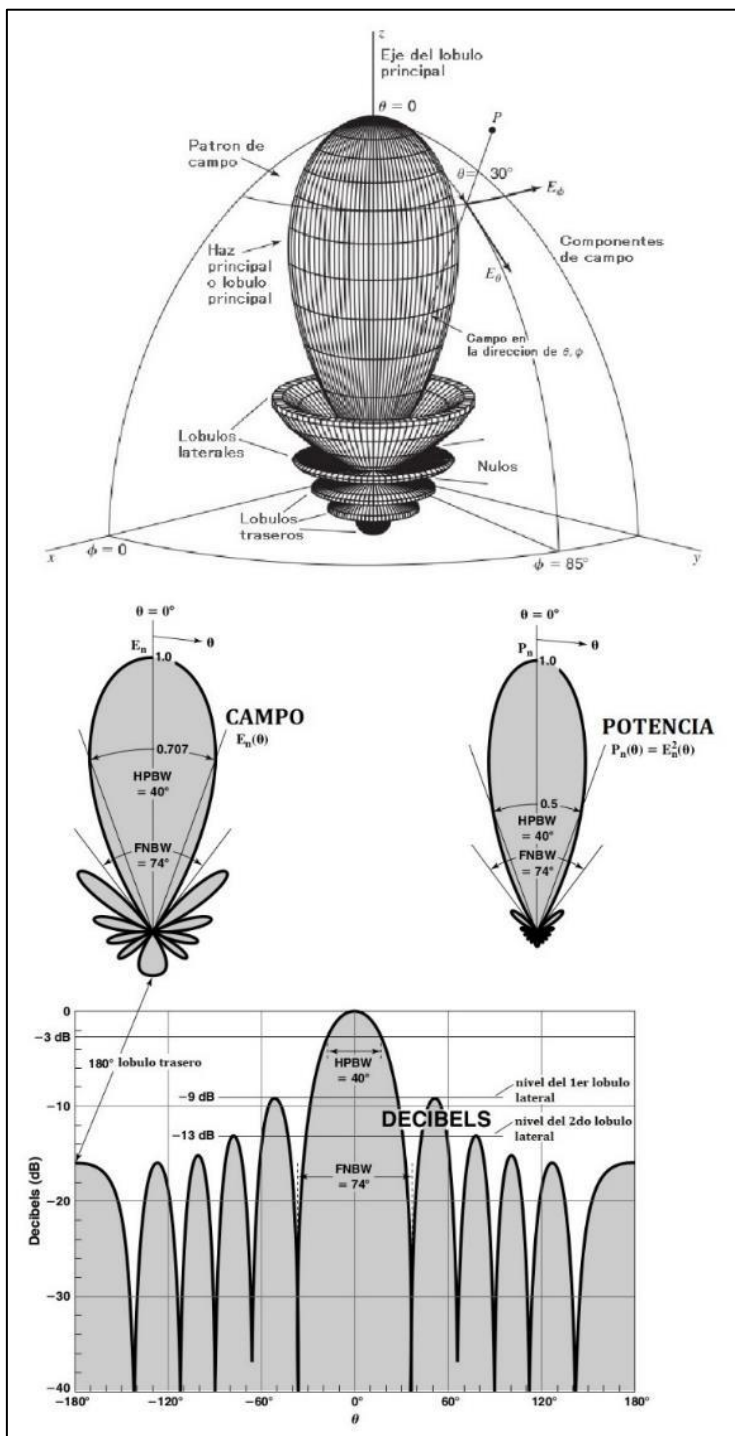
Un parámetro útil para caracterizar el diagrama de radiación es la anchura del lóbulo principal, y puede definirse de dos formas:

- Como el ancho del haz entre los dos primeros nulos (first nulls beam width, FNBW), es el ángulo que determina las direcciones de los nulos adyacentes al lóbulo principal.
- O como el ancho del haz a media potencia (half power beam width, HPBW), es el Angulo determinado por las direcciones que marcan la mitad de potencia, 3 dB del máximo.

Es prácticamente imposible tener un diagrama sin lóbulos secundarios. Para evitar errores en las medidas realizadas, es importante conocer la amplitud máxima de al menos el primero. Para ello se define el nivel de un lóbulo lateral como la razón, en dB, entre la amplitud máxima del lóbulo principal y la amplitud máxima del lóbulo en cuestión. En cualquier estudio previo de diseño de antenas se intentará en lo posible disminuir lo más que se pueda los lóbulos secundarios. (Antenas)

### **Figura 10**

*Diagrama de radiación en 3D, 2D y coordenadas cartesianas*



### 2.6.3 Ganancia de una antena

Del total de potencia  $P_t$  (potencia del transmisor) suministrada a la antena, una parte,  $P_{rad}$ , es irradiada hacia el espacio, y el resto,  $P_{loss}$ , es disipada como calor en la estructura de la antena.

La eficiencia de radiación  $\eta$  es definida como



$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_t} \quad (2.49)$$

La ganancia se define

$$G = \frac{4\pi r^2 S_{max}}{P_t} \quad (2.50)$$

Donde  $S_{max}$  es la densidad de potencia máxima. (Ulaby)

#### 2.6.4 Ángulo sólido

Dada la figura, en coordenadas esféricas

$$dA = r^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.51)$$

y el ángulo sólido es

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.52)$$

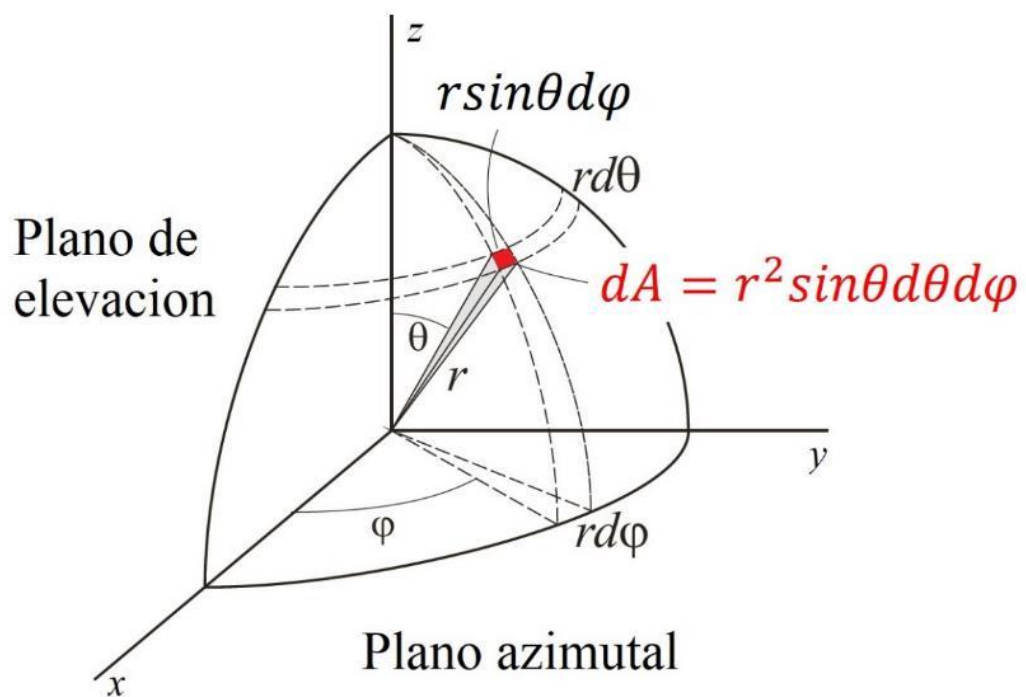
Notar que mientras un ángulo plano se mide en radianes y la medida angular de un círculo completo es  $2\pi$  rad, un ángulo sólido se mide en estereorradianes, sr, y la medida angular para una superficie esférica es



$$\Omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \quad [sr] \quad (2.53)$$

Figura 11

Definición del ángulo sólido



### 2.6.5 Resistencia de radiación

Podemos considerar una antena como una impedancia de la forma

$$Z = R + jX$$





La parte real de  $Z$  está compuesta por una resistencia de radiación más una resistencia de pérdidas

$$R = R_{rad} + R_{loss}$$

$R_{rad}$  es una resistencia equivalente que no es medible directamente, más bien es una resistencia que, si se reemplazara a la antena, disiparía la misma potencia que esta. La potencia radiada y de pérdidas están dadas por

$$P_{rad} = i_0^2 R_{rad} \quad (2.54)$$

$$P_{loss} = i_0^2 R_{loss} \quad (2.55)$$

Donde  $i_0$  es la corriente en el punto de alimentación. Usando la ecuación (2.49) y teniendo en cuenta que

$$P_t = i_0^2 R = i_0^2 (R_{rad} + R_{loss})$$

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_t} = \frac{i_0^2 R_{rad}}{i_0^2 (R_{rad} + R_{loss})} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{loss}} \quad (2.56)$$



### 2.6.6 Directividad

La directividad de una antena es una medida de las propiedades direccionales o de la concentración relativa de potencia radiada en diferentes direcciones y se define como la intensidad de radiación máxima normalizada  $F_{max}$  (que por definición es 1) y el valor medio en toda la esfera de la intensidad de radiación normalizada

$$D = \frac{F_{max}}{F_{av}} = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \iint_{4\pi} F(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_p} \quad (2.57)$$

Donde  $\Omega_p$  es el ángulo solido patrón. Se observa que mientras más angosto sea el ángulo solido patrón, la directividad será mayor.

Usando la relación (2.51) podemos escribir

$$dP_{rad} = r^2 S(r, \theta, \phi) d\Omega \quad (2.58)$$

Donde  $S(r, \theta, \phi)$  es la densidad de potencia. Entonces la  $P_{rad}$  será

$$\begin{aligned} P_{rad} &= r^2 \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} S(r, \theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \\ &= r^2 S_{max} \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} F(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \end{aligned} \quad (2.59)$$



$$P_{rad} = r^2 S_{max} \iint_{4\pi} F(\theta, \phi) d\Omega \quad (2.60)$$

$F(\theta, \phi)$  es la función normalizada de la radiación de potencia. Con la ecuación (2.60) podemos reescribir la ecuación (2.57)

$$D = \frac{4\pi}{\iint_{4\pi} F(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{4\pi}{\frac{P_{rad}}{r^2 S_{max}}} = \frac{4\pi r^2 S_{max}}{P_{rad}} \quad (2.61)$$

Usando las ecuaciones (2.49) (2.50) y (2.61)

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_t} = \frac{\frac{4\pi r^2 S_{max}}{D}}{\frac{4\pi r^2 S_{max}}{G}} = \frac{G}{D} \quad (2.62)$$

$$G = \eta D \quad (2.63)$$



# Capítulo 3

## TEORIA DE RADIO Y TELEVISIÓN



### 3.1 Radio FM

En todo el mundo, la banda de transmisión de FM se encuentra dentro de la parte VHF del espectro de radio. Por lo general, se utilizan de 87,5 a 108,0 MHz, o una parte de ella, con pocas excepciones:

En Japón, se utiliza la banda de 76 a 95 MHz.

En Brasil, hasta fines de la década de 2010, las estaciones de transmisión de FM usaban solo la banda de 88-108 MHz, pero con la eliminación de los canales de televisión analógica, la banda de 76-88 MHz (antigua banda de canales 5 y 6 en la televisión VHF) se asigna para los antiguos MW locales, emisoras que se han trasladado a FM en convenio con ANATEL.

La frecuencia de una estación de radiodifusión de FM (su frecuencia central asignada) suele ser un múltiplo de 100 kHz. En la mayor parte de Corea del Sur, América, Filipinas y el Caribe, solo se utilizan múltiplos impares. Algunos otros países siguen este plan debido a la importación de vehículos, principalmente de los Estados Unidos, con radios que solo pueden sintonizar estas frecuencias. En algunas partes de Europa, Groenlandia y África, solo se usan los múltiplos pares. En el Reino Unido se utilizan pares e impares. En Italia se utilizan múltiplos de 50 kHz.

En la mayoría de los países, se especifica el error de frecuencia máximo permitido de la portadora no modulada, que normalmente debe estar dentro de los 2 kHz de la frecuencia asignada.

Existen otros estándares de transmisión de FM inusuales y obsoletos en algunos países, con espacios no estándar de 1, 10, 30, 74, 500 y 300 kHz. Para minimizar la interferencia entre canales, las estaciones que operan desde los mismos sitios transmisores o cerca de ellos tienden a mantener una separación de frecuencias de al menos 500 kHz, incluso cuando técnicamente se permite una separación de frecuencias más estrecha. La UIT publica gráficos de relación de



protección, que dan el espacio mínimo entre frecuencias. Solo las estaciones de transmisión con separaciones geográficas lo suficientemente grandes entre sus áreas de cobertura pueden operar en frecuencias cercanas.

### 3.1.1 Modulación

La modulación de frecuencia o FM es una forma de modulación que transmite información al variar la frecuencia de una onda portadora. Con FM, la desviación de frecuencia de la portadora asignada en cualquier instante es directamente proporcional a la amplitud de la señal de entrada (audio), determinando la frecuencia instantánea de la señal transmitida. Debido a que las señales de FM transmitidas usan un ancho de banda significativamente grande, esta forma de modulación se usa comúnmente con las frecuencias más altas (VHF o UHF) utilizadas por la televisión y los sistemas de radio móviles terrestres. (Tomasi, Modulación y Demodulación)

La diferencia entre FM y PM se comprende con más facilidad si se definen los cuatro términos siguientes teniendo como referencia a la ecuación (3.1): desviación instantánea de fase, fase instantánea, desviación instantánea de frecuencia y frecuencia instantánea

$$m(t) = V_c \cos[\omega_c t + \theta(t)] \quad (3.1)$$

Donde:

- $m(t)$ : onda con modulación angular
- $V_c(t)$ : amplitud máxima de portadora (volts)
- $\omega_c$ : frecuencia de la portadora en radianes, es decir, velocidad angular,  $2\pi f_c$ , en radianes por segundo



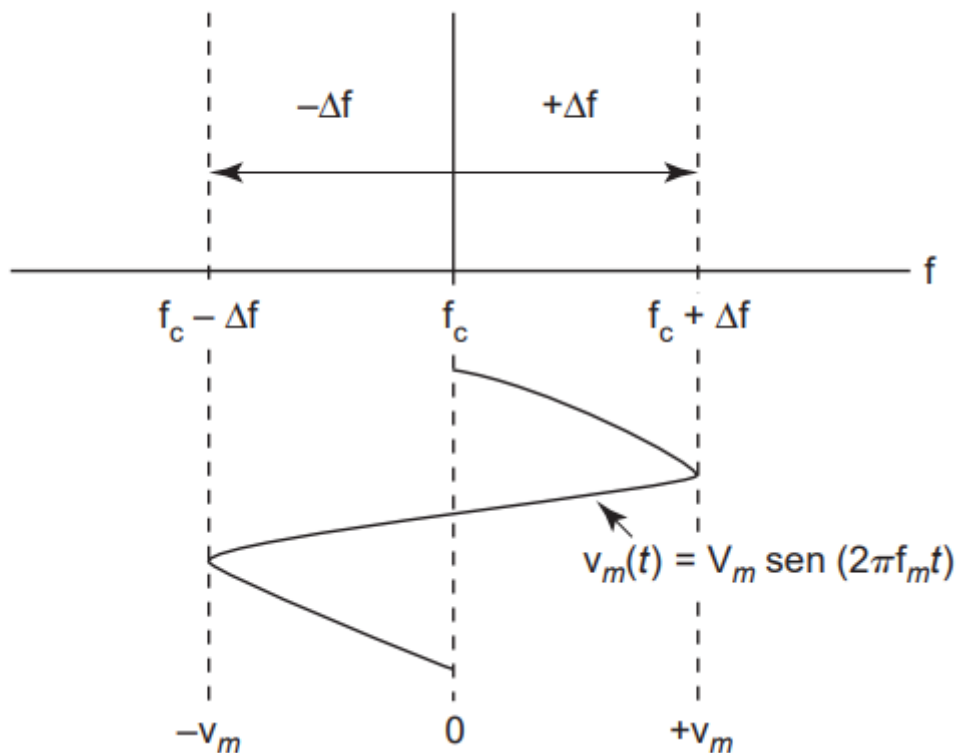
- $\theta(t)$ : desviación instantánea de fase (radianes)

La diferencia entre modulación de frecuencia y modulación de fase es, en esencia, cuál propiedad de la portadora se hace variar en forma directa con la señal moduladora y cuál se hace variar en forma indirecta: la frecuencia o la fase. Siempre que se varía la frecuencia de una portadora también varía la fase, y viceversa. Por consiguiente, la FM y la PM deben estar presentes al mismo tiempo siempre que se hace cualquier forma de modulación angular. Si la frecuencia de la portadora se hace variar directamente de acuerdo con la señal moduladora se obtiene la FM. Si se varía la fase de la portadora en forma directa por la señal moduladora, resulta la PM. Por consiguiente, la FM directa es PM indirecta, y la PM directa es FM indirecta. Se puede definir la modulación de frecuencia como sigue: variar la frecuencia de una portadora de amplitud constante en proporción directa a la amplitud de la señal moduladora, con una rapidez igual a la frecuencia de la señal moduladora.

La **Figura 12** muestra una señal con modulación angular,  $[m(t)]$ , en el dominio de la frecuencia. Se ve allí cómo cambia la frecuencia  $f_c$  de la portadora cuando actúa sobre ella una señal moduladora  $V_m(t)$ . La magnitud y la dirección del desplazamiento de frecuencia,  $\Delta f$ , es proporcional a la amplitud y la polaridad de la señal moduladora,  $V_m$ , y la rapidez con la que se suceden los cambios de frecuencia es igual a la frecuencia  $f_m$  de la señal moduladora.

### **Figura 12**

*Modulación angular de una señal*



La modulación de frecuencia es la modulación angular en la que la desviación instantánea de frecuencia es proporcional a la amplitud de la señal moduladora como la de la ecuación (3.2)

$$v_m(t) = V_m \cos(\omega_m t) \quad (3.2)$$

La que reemplazada en la ecuación (3.1) y operando matemáticamente

$$m(t) = V_c \cos \left[ \omega_c t + \int \theta'(t) \right] \quad (3.3)$$

$$m(t) = V_c \cos \left[ \omega_c t + \int K_1 v_m(t) dt \right] \quad (3.4)$$





$$m(t) = V_c \cos \left[ \omega_c t + \int K_1 V_m \cos(\omega_m t) dt \right] \quad (3.5)$$

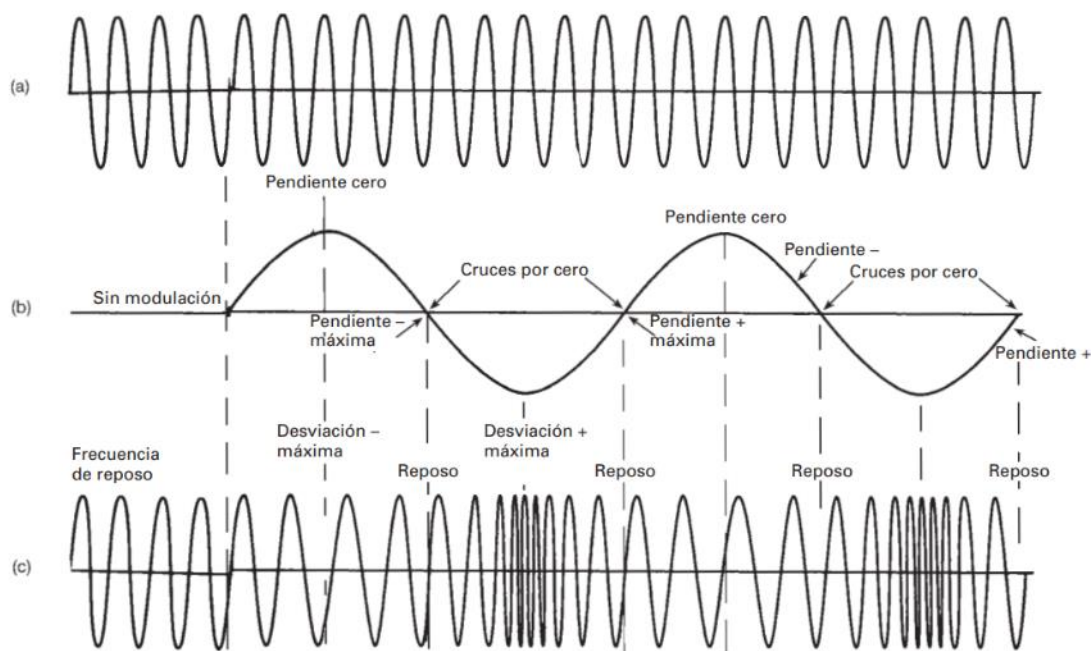
$$m(t) = V_c \cos \left[ \omega_c t + \frac{K_1 V_m}{\omega_m} \text{sen}(\omega_m t) \right] \quad (3.6)$$

Donde:

- $K_1$ : La sensibilidad a la desviación
- $\omega_m$ : frecuencia de la portadora en radianes
- $\theta'(t)$ : derivada primera de la desviación instantánea de fase (radianes), igual a  $K_1 V_m(t)$

La **Figura 13** muestra las señales portadora, modulante y modulada

Figura 13

*Señales portadora, modulante y modulada*

### 3.1.2 Desviación de frecuencia

La desviación máxima de frecuencia de la portadora suele ser especificada y regulada por las autoridades de concesión de licencias de cada país. Para una transmisión en estéreo, la desviación máxima permitida de la portadora es invariablemente de  $\pm 75$  kHz, aunque en los Estados Unidos se permite un poco más cuando se utilizan sistemas SCA. Para una transmisión monofónica, nuevamente la desviación máxima permitida más común es de  $\pm 75$  kHz. Sin embargo, algunos países especifican un valor más bajo para transmisiones monofónicas, como  $\pm 50$  kHz. La desviación máxima de fase, en radianes se llama índice de modulación. Para una portadora con frecuencia modulada, el índice de modulación es directamente proporcional a la



amplitud de la señal moduladora, e inversamente proporcional a la frecuencia de la señal moduladora, la cual se desprende de la ecuación (3.6)

$$m = \frac{K_1 V_m}{\omega_m} \quad (3.7)$$

Se puede ver que, según la ecuación (3.7), el índice de modulación es una relación adimensional para la FM, y sólo se usa para describir la profundidad de modulación lograda en una señal moduladora con determinada amplitud máxima y frecuencia en radianes.

### 3.1.3 Ancho de banda

J. R. Carson demostró, en 1922, que, para determinada frecuencia de señal moduladora, una onda de frecuencia modulada no puede caber en una banda más angosta que una onda de amplitud modulada. Se puede ver que el ancho de banda de una onda de modulación angular es una función de la frecuencia de la señal moduladora y del índice de modulación. En la modulación de ángulo se producen varios conjuntos de bandas laterales y, en consecuencia, el ancho de banda puede ser bastante mayor que el de una onda de amplitud modulada con la misma señal moduladora. En general, las formas de onda con modulación angular se clasifican como de índice bajo, medio o alto. Para el caso de bajo índice, el índice de modulación es menor que 1, y el caso de índice alto se da cuando el índice de modulación es mayor que 10. Los índices de modulación mayores que 1 y menores que 10 se clasifican como índice medio. Se ve que, con modulación angular de bajo índice, la mayor parte de la información de la señal está contenida en el primer conjunto de bandas laterales, y que el ancho mínimo de banda requerido es aproximadamente igual a dos veces la frecuencia máxima de la señal moduladora. Por esta



razón, a los sistemas de FM de bajo índice se les llama de FM de banda angosta. Para una señal de índice alto se puede usar un método llamado cuasi estacionario para determinar el ancho de banda. En ese método se supone que la señal moduladora cambia con mucha lentitud. Por ejemplo, para un modulador de FM con sensibilidad a la desviación  $K_1=2$  kHz/V y una señal moduladora de 1 Vp, la desviación máxima de frecuencia es 2000 Hz. Si la frecuencia de la señal moduladora es muy baja, el ancho de banda queda determinado por la desviación de frecuencia pico a pico. Por consiguiente, para grandes índices de modulación, el ancho mínimo de banda requerido para propagar una onda de frecuencia modulada es aproximadamente igual a la desviación de frecuencia pico a pico:  $2 \Delta f$ .

Así, para una modulación de bajo índice, el espectro de frecuencias se asemeja al de la AM de banda lateral doble, y el ancho mínimo de banda es aproximadamente igual a (Tomasi, Modulación y Demodulación)

3.8

$$B = 2f_m \quad \text{Hz} \quad (3.9)$$

y para modulación de índice alto, el ancho mínimo de banda aproximado es

$$B = 2\Delta f \quad \text{Hz} \quad (3.10)$$

El ancho de banda real, necesario para pasar todas las bandas laterales significativas para una onda con modulación angular es igual a dos por el producto de la máxima frecuencia de señal moduladora, por la cantidad de bandas laterales significativas determinadas por una tabla de



funciones Bessel. La ecuación para determinar el ancho mínimo de banda de una onda con modulación angular, usando la tabla de funciones de Bessel, es

$$B = 2(n \times f_m) \text{ Hz} \quad (3.11)$$

Donde:

- $n$  es la cantidad de bandas laterales significativas
- $f_m$  es la frecuencia de la señal moduladora en Hz

Carson estableció una regla general para estimar el ancho de banda de todos los sistemas con modulación angular, independiente del índice de modulación. A esto se llama regla de Carson. Enunciada en forma sencilla, esta regla establece el ancho de banda necesario para transmitir una onda con modulación angular, como igual a dos veces la suma de la desviación máxima de frecuencia por la frecuencia máxima de señal moduladora. Es decir

$$B = 2(\Delta f + f_m) \text{ Hz} \quad (3.12)$$

Donde:

- $\Delta f$  máxima desviación en frecuencia en Hz
- $F_m$  frecuencia de la señal moduladora



La regla de Carson define un ancho de banda que abarca aproximadamente 98% de la potencia total en la onda modulada. El ancho real de banda necesario es una función de la forma de onda de la señal moduladora y de la calidad de transmisión deseada.

### 3.1.4 Ruido – Preénfasis y De énfasis

La relación de señal a ruido en la salida de un demodulador de FM, debida a desviación no deseada de frecuencia por una senoidal de interferencia, es la relación de la desviación máxima de frecuencia debida a la señal de información, entre la desviación máxima de frecuencia debida a la señal de interferencia

$$\frac{S}{N} = \frac{\Delta f_{debida\ a\ la\ se;al}}{\Delta f_{debida\ al\ ruido}} \quad (3.13)$$

El ruido aleatorio tiene una distribución espectral triangular en un sistema FM, con el efecto de que el ruido ocurre predominantemente en las frecuencias de audio más altas dentro de la banda base. Esto se puede compensar, hasta cierto punto, aumentando las frecuencias altas antes de la transmisión y reduciéndolas en la cantidad correspondiente en el receptor. La reducción de las altas frecuencias de audio en el receptor también reduce el ruido de alta frecuencia. Estos procesos de aumentar y luego reducir ciertas frecuencias se conocen como pre-énfasis y de-énfasis, respectivamente. (Tomasi, Modulación y Demodulación)

La cantidad de preénfasis y de énfasis utilizada se define por la constante de tiempo de un circuito de filtro RC simple. En la mayor parte del mundo se utiliza una constante de tiempo de 50  $\mu$ s. En las Américas y Corea del Sur, se utilizan 75  $\mu$ s. Esto se aplica tanto a transmisiones mono como estéreo. Para estéreo, se aplica preénfasis a los canales izquierdo y derecho antes de la multiplexación. El uso del preénfasis se convierte en un problema porque muchas formas de música contemporánea contienen más energía de alta frecuencia que los estilos musicales que prevalecían en el nacimiento de la radiodifusión FM. Pre-enfatizar estos sonidos de alta



frecuencia causaría una desviación excesiva de la portadora de FM. Los dispositivos de control de modulación (limitador) se utilizan para evitar esto. Los sistemas más modernos que la radiodifusión FM tienden a utilizar preénfasis variable dependiente del programa; por ejemplo, dbx en el sistema de sonido BTSC TV, o ninguno.

### **3.2 Televisión Analógica**

El espectro radioeléctrico, o sea la sumatoria de todas las bandas de frecuencia utilizables, es un recurso natural limitado y no pueden utilizarse libremente, caso contrario habría siempre interferencia entre los servicios de una misma región.

Existe un organismo de la ONU, ITU (International Telecommunication Union), UIT en español, especializado en telecomunicaciones, encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras. Se encarga del estudio y asignación del espectro radioeléctrico, lo que es tratado en el CCIR o Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones, actualmente conocido como ITU-R, que a través de grupos de estudio, emite estándares, normas y recomendaciones que generalmente son aceptadas por los países miembros participantes.

Si bien las recomendaciones de la CCIR carecen de peso legal en los países miembros de la ITU, una buena parte son incorporados en la legislación nacional en lo concerniente a las comunicaciones adecuándolas a cada realidad particular. Son las agencias de comunicaciones de cada país las responsables de administrar el espectro radioeléctrico.

Las normas de TV definen aspectos como el ancho de banda del canal, la cantidad de líneas de imagen y cuadros por segundo, así como el tipo de modulación de audio y video, entre otras cosas, o sea, define las características de la señal de luminancia, la que produce la imagen en



blanco y negro y codifica las señales de color que se insertan en la señal de TV convencional para que haya compatibilidad con los TV en blanco y negro. Se buscó la forma de que la señal de TV color se pueda ver a la vez en TV color o blanco y negro sin alterar la distribución de canales existentes. Para eso los sistemas de color se adaptan a las normas locales de la TV en blanco y negro.

Argentina escogió entre 3 sistemas de color planteados: PAL, SECAM y NTSC. Se eligió el que en su momento y con la tecnología de la época daba mejor calidad de imagen y garantizaba mejor compatibilidad (además de ciertas cuestiones comerciales) y surge una combinación que en nuestro caso resultó ser sistema PAL, norma N. Es importante separar el tema de las normas, de los sistemas de TV color.

Normas de TV hay muchas, desde la A hasta la N (algunas ya no se usan, como las normas A, C y E), pero sistemas de TV color analógica, sólo hay tres. La elección de una norma no es trivial, depende de cosas como la frecuencia de la red eléctrica del país donde se implanta y de la distribución de frecuencias de radio del lugar. En Argentina es el ENACOM (Ente Nacional de Comunicaciones) quien se encarga de regular la asignación de frecuencias. Para TV analógica se asignó de acuerdo con la **Tabla 2**

**Tabla 2**

CANAL	LÍMITES DE FRECUENCIA (MHz)
BANDA I – VHF	
2	54 - 60
3	60 - 66
4	66 - 72
5	76 - 82
6	82 – 88

CANAL	LÍMITES DE FRECUENCIA (MHz)
BANDA II – VHF	
7	174 - 180
8	180 - 186
9	186 - 192
10	192 - 198
11	198 - 204





CANAL	LÍMITES DE FRECUENCIA (MHz)
12	204 - 210
13	210 - 216
<b>BANDA III – UHF</b>	
21	512 - 518
22	518 - 524
23	524 - 530
24	530 - 536
25	536 - 542
26	542 - 548
27	548 - 554
28	554 - 560
29	560 - 566
30	566 - 572
31	572 - 578
32	578 - 584
33	584 - 590
34	590 - 596
35	596 - 602
36	602 - 608
38	614 - 620
39	620 - 626
40	626 - 632
41	632 - 638
42	638 - 644
43	644 - 650
44	650 - 656

CANAL	LÍMITES DE FRECUENCIA (MHz)
45	656 - 662
46	662 - 668
47	668 - 674
48	674 - 680
49	680 - 686
50	686 - 692
51	692 - 698
52	698 - 704
53	704 - 710
54	710 - 716
55	716 - 722
56	722 - 728
57	728 - 734
58	734 - 740
59	740 - 746
60	746 - 752
61	752 - 758
62	758 - 764
63	764 - 770
64	770 - 776
65	776 - 782
66	782 - 788
67	788 - 794
68	794 - 800
69	800 - 806

El canal 37 (608MHz a 614MHz) corresponde a Radioastronomía, razón por la cual no se asigna para este tipo de servicio.



La señal PAL-N se compone de una parte de video y otra de audio, producidas por separado y luego combinadas de tal forma que no produzcan interferencia entre sí. La porción de video, a su vez, son dos señales distintas, luminancia (compatibilidad con TV blanco y negro) y crominancia, que modulan la misma portadora en AM. Dicha modulación es de banda lateral vestigial (o residual), de un sólo canal con información analógica, que se la conoce como emisión C3F. La modulación es con polaridad negativa, lo quiere significa que para máximo brillo de la imagen corresponderá la mínima amplitud de portadora. La señal de audio modula una portadora en FM de un solo canal con información y es conocida como F3E. La notación está dada por ITU de la siguiente forma:

**Tabla 3**

Tipo de modulación	Señal modulante	Tipo de información transmitida
<ul style="list-style-type: none"><li>• C (Banda Lateral Vestigial o Residual)</li><li>• F (Frecuencia modulada, Radiodifusión FM)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3 (un canal que contiene información analógica)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• E (telefonía, radiodifusión de voz o música)</li><li>• F (televisión, señales de video)</li></ul>

En la **Tabla 4** se resumen algunas características de la señal PAL-N.

**Tabla 4**

Frecuencia de la portadora de crominancia (MHz)	+3.58
Ancho de banda nominal del canal de radiofrecuencia (MHz)	6
Portadora de sonido relativa a la portadora de video (MHz)	+4.5

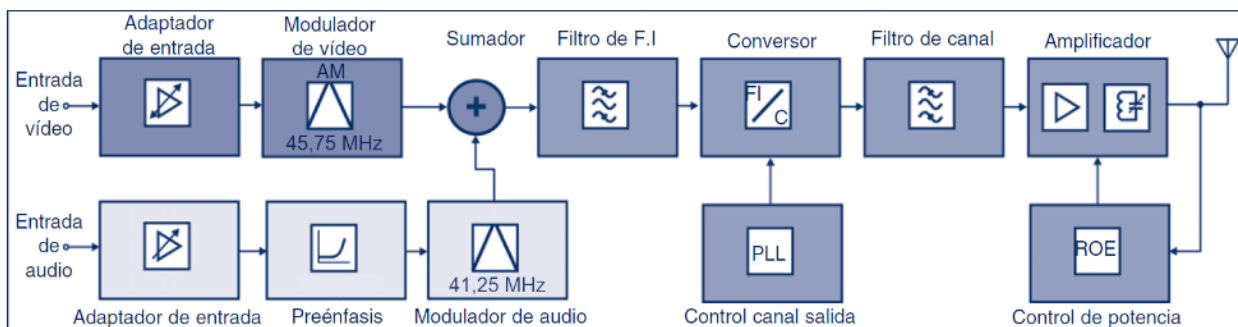


Limite más cercano relativo a la portadora de video (MHz)	-1.25
Ancho nominal de la banda lateral principal (MHz)	4.2
Ancho nominal de la banda lateral vestigial (MHz)	0.75
Atenuación mínima de la banda lateral vestigial (dB en MHz)	20(-1.25) 42(-3.58)
Tipo de polaridad de las modulaciones de video	C3F negativo
Tipo de modulación de sonido	F3E

Tanto la señal de video como la de audio se combinan en una sola onda que es modulada en la frecuencia del canal a emitir, se filtra y se amplifica para luego ser transmitida por la antena. En la **Figura 14** se muestra un diagrama en bloques de un emisor PAL.

**Figura 14**

*Diagrama en bloques de un transmisor PAL*

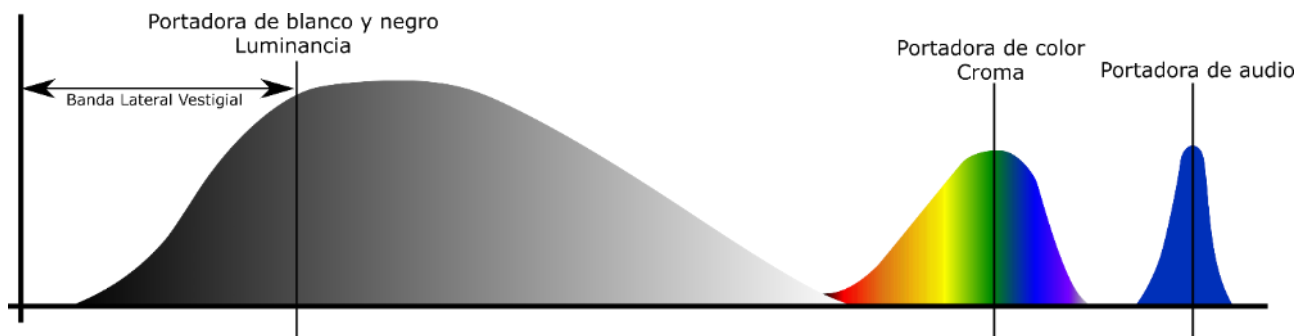


La forma de onda de la señal PAL-N se muestra en la **Figura 15**



Figura 15

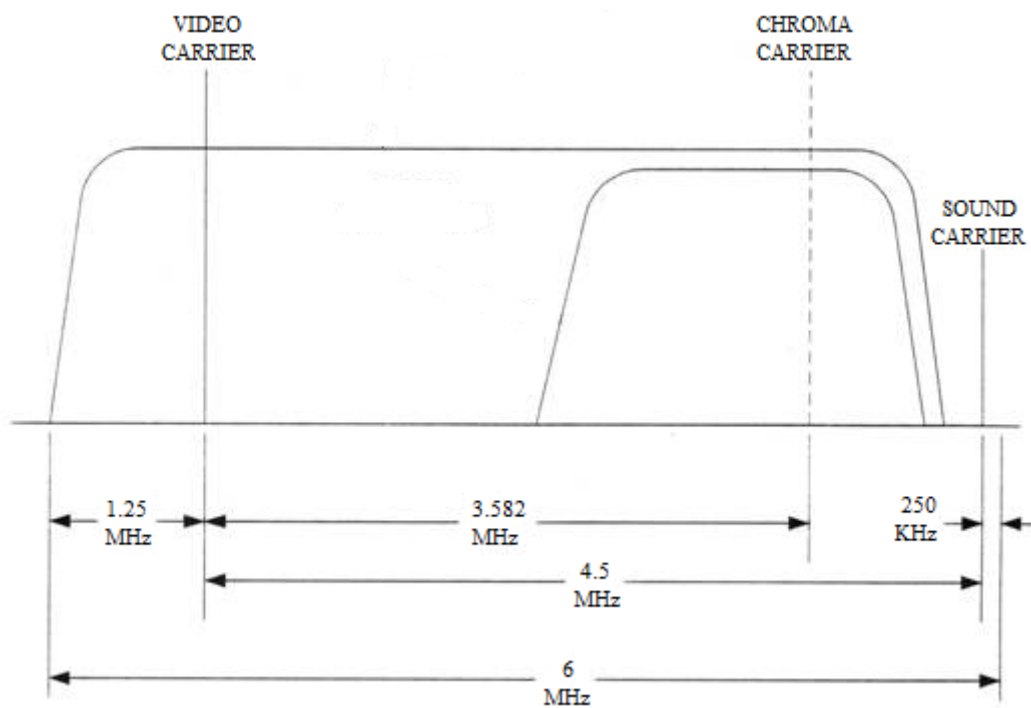
Forma de onda de una señal PAL



En la Figura 16 se muestra la forma típica de diagramar la transmisión, donde solo se aprecian los límites de las bandas con respecto a la portadora de video.

Figura 16

Envoltentes de una señal PAL





|Es el ENACOM quien recomienda la potencia de transmisión y determina el área primaria de servicio.

### 3.3 Televisión Digital

A principios de los años noventa, en plena expansión económica de los países desarrollados, el panorama de la televisión se encontraba en absoluta renovación, con diferentes grupos de trabajo elaborando nuevos sistemas de televisión que aumentaran las prestaciones de los clásicos NTSC, PAL y SECAM, creando un estándar único.

Distintos países adoptaron distintos estándares, siendo los mayores los siguientes:

- ATSC: Advanced Television Standards Committee, de Estados Unidos
- DVB: Digital Video Broadcasting, de Europa
- ISDB: Integrated Services Digital Broadcasting, de Japón

Estados Unidos presento a comienzos de la década de 1990 los primeros planteamientos de un sistema basado en la compresión digital de las imágenes. Así se crea el sistema ATSC, que se implantó como estándar de televisión digital terrestre. Transmite señales de 720 x 480 puntos en su versión estándar, aunque también permite el envío de televisión en alta definición. Utiliza compresión MPEG- 2 y modula su trama digital en QAM 64, con un ancho de banda de 6 MHz, el mismo que se empleaba en el sistema NTSC analógico.

El proyecto DVB comienza en 1993 como resultado de la asociación de varias empresas dedicadas a la investigación y desarrollo de TV que buscaban unificar sus técnicas. Este estándar utiliza diferentes sistemas para distribuir datos, cuyos alcances son: DVB-S (por satélite); DVB-C



(por cable); DVB-T (terrestre por radiofrecuencia); microondas. Entre los sistemas solo cambia el tipo de modulación debido a las complicaciones inherentes a cada sistema que puede ser PSK o QAM y sus respectivas variantes. Para todos los sistemas es común el tipo de compresión, la cual es MPEG.

En Japón fue en el año 2003 que recién se comenzó a transmitir televisión digital, empezando por la transmisión satelital. La dificultad para usar la tecnología que poseían en ese momento para cumplir con las exigencias de los proveedores derivó en la creación de ISDB-S. La versión para emisión terrestre, ISDB-T, tiene una historia más larga que data de las primeras propuestas de televisión de alta definición al CCIR en la década de 1960 que solo se materializó hasta que se definió la versión satelital del estándar. También existe la versión por cable, ISDB-C. Cada versión utiliza un tipo de modulación, así por ejemplo ISDB-T usa PSK y ISDB-T utiliza PSK/QAM en conjunto con COFDM. Es común para todas las versiones el uso de MPEG para la compresión de datos.

En Argentina el tema de la televisión digital se insertó en la agenda de gobierno en 1997 de la mano de los radiodifusores privados a través de la Asociación de Teleradiodifusores Argentinos (ATA), liderada por Canal 13 y Canal 11, y el Estado que de manera prematura, adoptó la norma norteamericana ATSC como producto del consenso entre los privados y el Estado. Pero la ruptura del consenso entre los radiodifusores privados, luego que Canal 11 fuera vendido al Grupo Telefónica, promotor de DVB, paralizó cualquier intento de inversión pública o privada. Pero Canal 13 comenzó a efectuar transmisiones experimentales con cierta regularidad en televisión Digital bajo la norma ATSC. Este canal continuó realizando las emisiones de prueba en la frecuencia 12 (200MHz) de la banda VHF entre 2000 y 2009, año en el que se crea el Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre (SATVD-T), basado en el estándar ISDB-T, el cual ya había sido adoptado por Brasil (donde se lo denomina ISDB-Tb) incorporando varias mejoras implementadas por técnicos brasileños al combinarse con el ya existente estándar SBTVD.



Mediante un decreto publicado el 28 de marzo de 2022, el Gobierno nacional confirmó el apagón analógico en todo el país y aprobó un cronograma con el fin de realizar el proceso de transición de la televisión analógica al SATVD-T. Según detalla el anexo del decreto, las estaciones repetidoras de titularidad de Radio y Televisión Argentina S. E. (TV y Radio pública) deberán cesar sus emisiones analógicas con fecha 30 de junio de 2022, independientemente de la región donde se encuentren emplazada, mientras que las estaciones de origen privado tendrán fases dependiendo la zona.

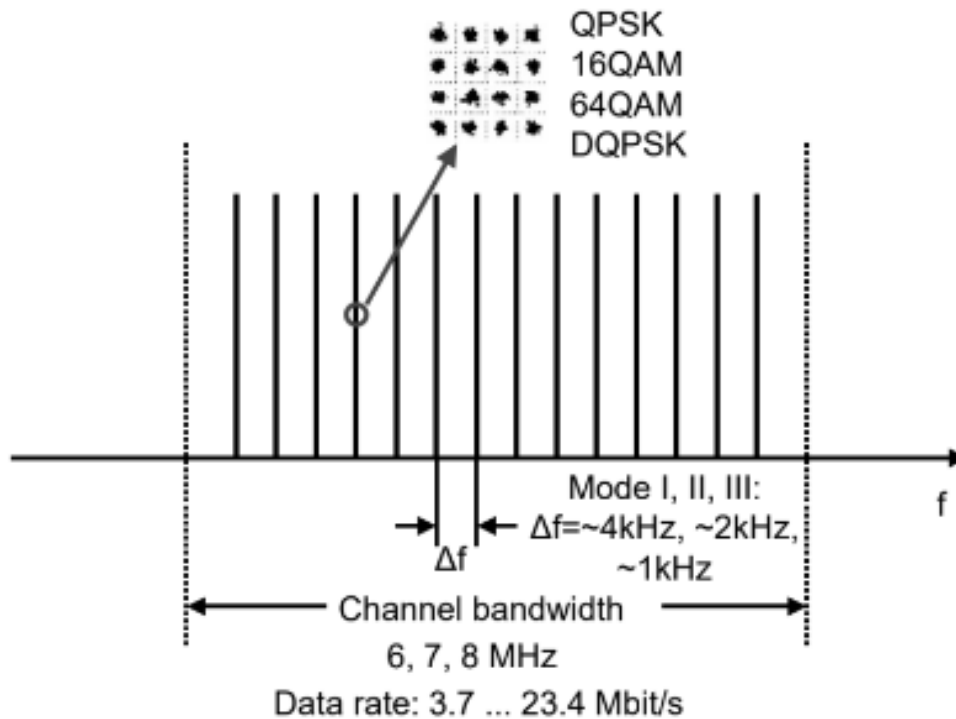
La TDT se transmite mediante radiofrecuencias a través del espacio terrestre de la misma forma que los antiguos sistemas de televisión analógica, con la principal diferencia del uso de transmisores multiplexados que permiten la recepción de múltiples servicios (TV, emisoras de radio o datos) en una única frecuencia (como como un canal UHF o VHF). El esquema de multiplexado empleado es el COFDM (coded orthogonal frequency-division multiplexing), en la Figura 17 se muestra el espectro típico.

Conceptualmente el canal, que puede ser por ejemplo 6MHz, se subdivide en 13 sub-bandas en las cuales diferentes parámetros de modulación pueden ser elegidos. El entrelazado en el tiempo puede ser conmutado en diferentes etapas. Con el canal elegido de ejemplo, el ancho de banda útil sería solo de 5.57MHz ya que existe un canal de seguridad de 200kHz tanto para la parte alta como baja de los canales adyacentes. Una sub-banda de canal tiene 430kHz de ancho.



Figura 17

Forma de onda de una onda codificada en COFDM



Hay tres posibles modos:

- Modo 1: 108 portadoras por sub-banda; 3,968kHz de espacio entre subportadoras; 1404 portadoras dentro del canal; IFFT de 2018 puntos.
- Modo 2: 216 portadoras por sub-banda; 1,9841kHz de espacio entre subportadoras; 2808 portadoras dentro del canal; IFFT de 4196 puntos.
- Modo 3: 432 portadoras por sub-banda; 0,99206kHz de espacio entre subportadoras; 5616 portadoras dentro del canal; IFFT de 8192 puntos.

No todas las 2048, 4192, 5616 portadoras de COFDM en los modos 1, 2 y 3 respectivamente son usadas para el uso exclusivo de datos. En ISDB-T también hay portadoras cero (que no son





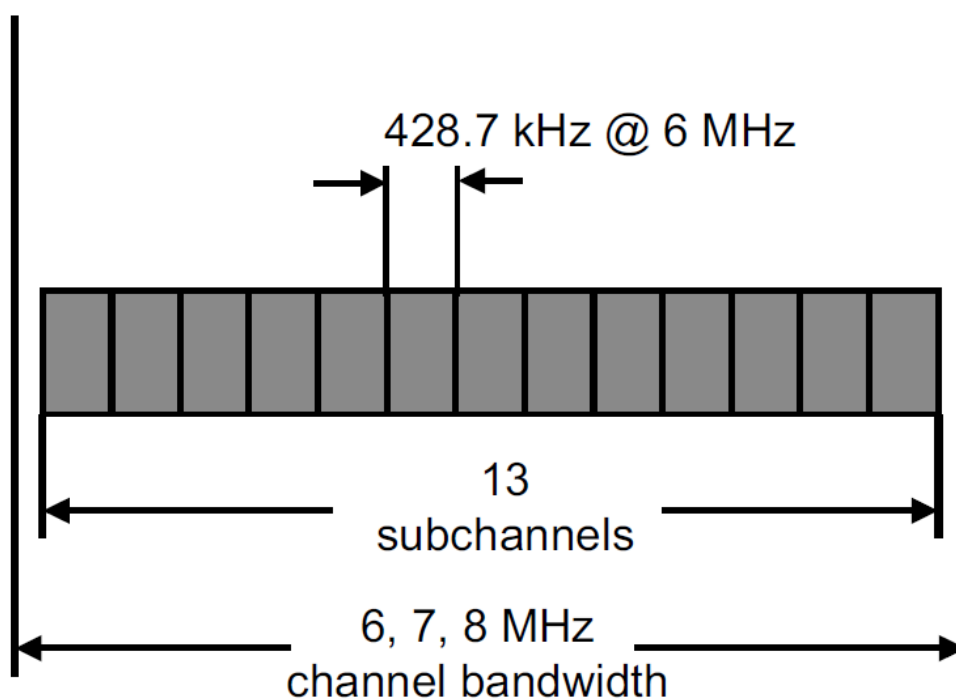
usadas), portadoras de datos (las que llevan la información útil), pilotos dispersos, pilotos continuos, portadoras de control y portadoras auxiliares.

Gracias al concepto de canales o sub-bandas es posible construir receptores de banda estrecha, que pueden recibir una o algunas bandas, o banda amplia, que reciben el canal completo. En la

**Figura 18** se muestra el esquema de un canal y sus segmentos

**Figura 18**

*Segmentos de un canal digital*

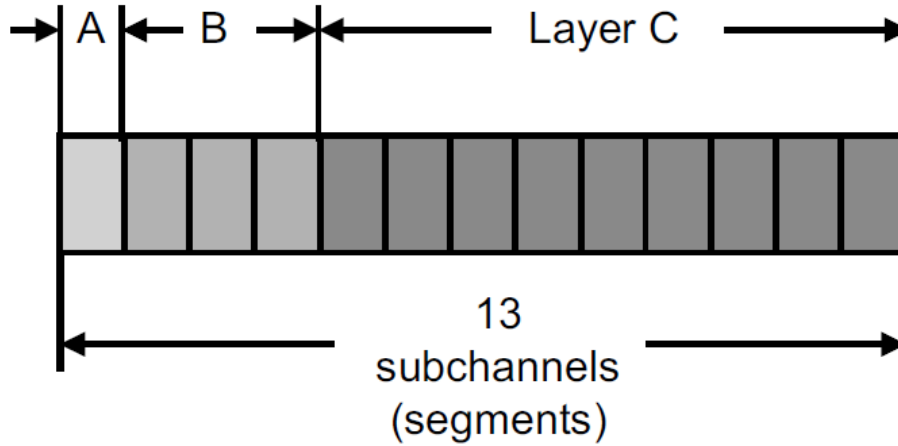


Es posible combinar segmentos para formar hasta 3 capas donde distintos tipos de parámetros de transmisión pueden ser elegidos. El número de segmentos que puede combinarse para cada capa es seleccionable pero esos segmentos tendrán los mismos parámetros en dicha capa.



Figura 19

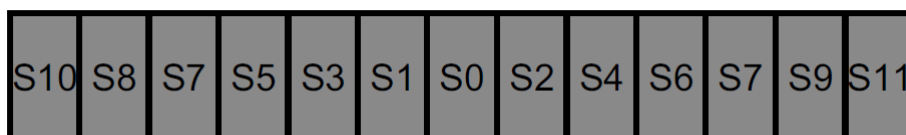
Segmentos combinados de un canal digital



El orden de los segmentos no es de izquierda a derecha, o de comienzo de canal a su final, si no que se hace desde el centro con el segmento  $s_0$ . El segmento  $s_1$  se haya a la izquierda,  $s_2$  a la derecha de  $s_0$ .  $s_0$  es el segmento usado en el modo 1-SEG. Ese es el orden antes del entrelazador, después de él las portadoras de cada segmento se distribuyen en todo el canal para evitar problemas de selectividad en frecuencia. Ver la Figura 20 donde se aprecian los segmentos distribuidos en el canal

Figura 20

Distribución de los segmentos de un canal digital





ISDB-T, por su naturaleza, puede formar redes de una sola frecuencia, esto es, todos los transmisores funcionan en la misma frecuencia radiando una señal idéntica, todo esto trae un ahorro económico. ISDB-T es un estándar flexible y gracias a la posibilidad de entrelazado de tiempos largos, uno de los más robustos también.

La ITU tiene entre sus recomendaciones a ISDB-T, ITU-R BT.1833 (multimedia system f) e ITU-R BT.2052.



# Capítulo 4

## ANÁLISIS DE MEDICIONES – TRABAJO DE CAMPO



## 4.1 FM – Analizador de Espectro

Para la realización del trabajo de campo se contó con la colaboración de la Institución perteneciente al gobierno de la Provincia de La Rioja “Radio Y Televisión Riojana”, quienes generosa y desinteresadamente nos proporcionaron a modo de préstamo el instrumental necesario para la toma de mediciones.

En la **Figura 21** se puede apreciar el equipamiento en cuestión, qué es un analizador de espectro marca Instek GSP-827.

**Figura 21**

*Analizador de espectro marca Instek GSP-827*



Este analizador de espectro tiene un ancho de banda de 2.7GHz y cuenta con las funciones de detección de amplitud máxima de la señal que se está observando, posibilidad de congelar la imagen; estas funciones fueron las más utilizadas entre las muchas otras con las que cuenta el instrumento.

Tal como se ha explicado en la sección de Preparación de las Mediciones, dada la necesidad de trasladarnos y la imposibilidad de disponer de alimentación de 220VAC, adquirimos un inversor de voltaje de tensión continua a 220VAC ya que el analizador de espectro tampoco contaba con



una batería interna; este inversor, conectándolo mediante su “toma para encendedor” (salida 12V del automóvil) nos proporciona los 220VAC necesarios para energizar el instrumental. El inversor mencionado es de la marca Pronext modelo INV400, de 400W de potencia y onda sinusoidal modificada.

Las mediciones se realizaron mediante el uso de antenas comerciales de las siguientes características: una antena dipolo telescópica para la banda de FM entre 88MHz-1000MHz y televisión analógica (**Figura 22**) y una antena tipo dipolo cerrado para las mediciones de TV digital (**Figura 23**); también se utilizó de manera esporádica y de forma aleatoria la antena del tipo Discono (**Figura 24**) diseñada y fabricada de manera casera por el alumno Mariano Orquera para su Práctica Profesional Supervisada. Como el analizador de espectros usa de manera estándar conectores RF tipo N hembra, se adquirieron los adaptadores necesarios para ser usados con las antenas, las cuales poseen de manera estándar conectores tipo F. No se usaron redes adaptadoras de impedancia debido a que todos los conectores y cables tienen la misma impedancia característica de  $50\Omega$ .

**Figura 22**

*Antena dipolo telescópica*



**Figura 23**



*Antena dipolo cerrado*



**Figura 24**

*Antena Discono Casera*





Para la captura de imagen de las mediciones se usó una cámara de 20MPx, equipada en el teléfono celular del alumno Orquera Jorge Raúl.

Como medio de transporte para trasladarnos a las locaciones seleccionadas se utilizaron los vehículos particulares de los participantes de este proyecto final de carrera.

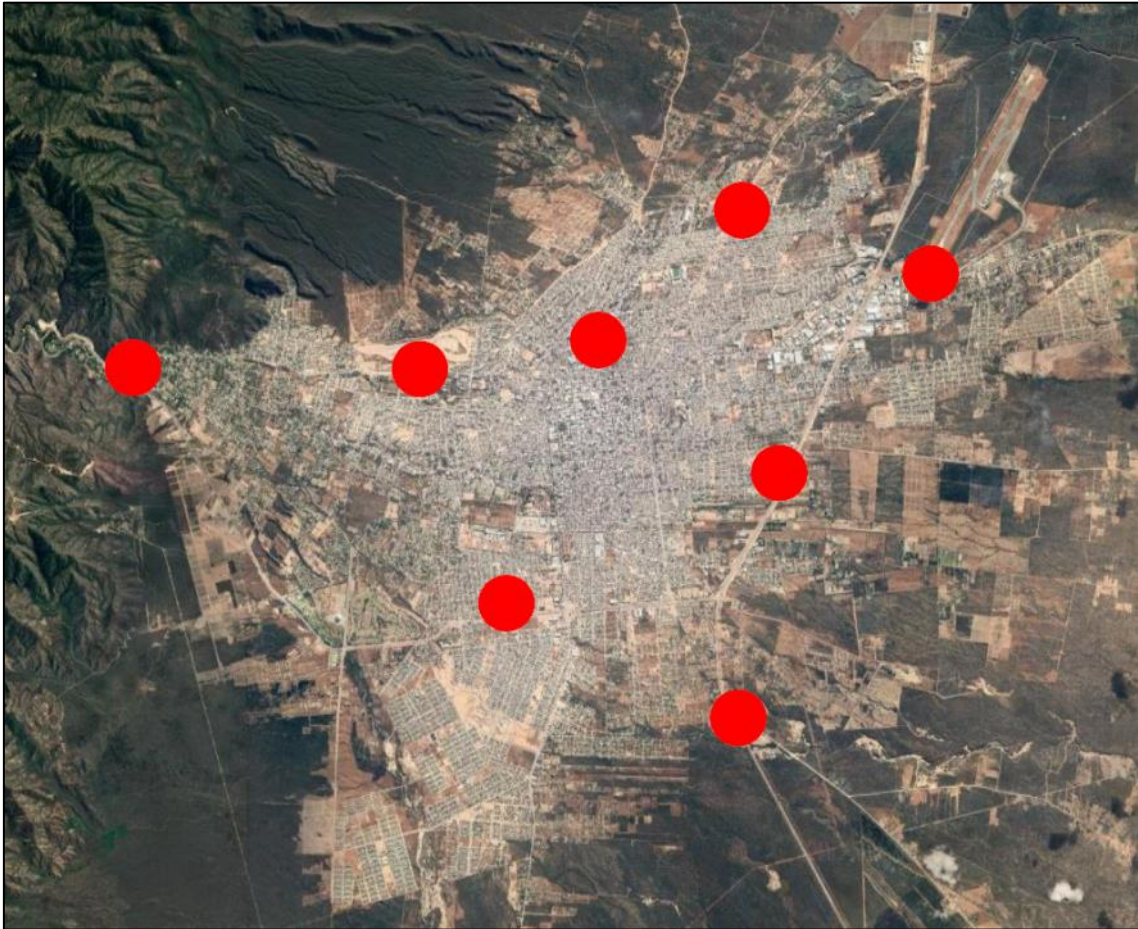
Lo primero que se tuvo en cuenta para planificar la toma de mediciones fue determinar puntos estratégicos en donde realizar dichas lecturas bajo el criterio de abarcar la mayor cobertura geográfica posible de la ciudad capital de La Rioja, independientemente de la ubicación de las estaciones emisoras y/o repetidoras (si las hubiera). Se seleccionaron ubicaciones distantes hacia los puntos cardinales Norte, Sur, Este y Oeste; y luego puntos centrales intentando que la separación entre todas las ubicaciones sea lo más equidistante posible para tener la mayor cobertura alcanzable en una cantidad de puntos acotada. En la **Figura 25** se muestran las ubicaciones de los puntos seleccionados.





Figura 25

*Puntos seleccionados para toma de mediciones*



Seguidamente, el horario fue el segundo criterio, que fue acordado entre las 18hs y 21hs, ya que la mayoría de las emisoras funcionan después del mediodía, la circulación vehicular no es tan elevada y las condiciones climáticas facilitan el trabajo a la intemperie sin incidencia de rayos solares sobre el equipamiento y sobre nosotros, los operadores de este.

Habiendo concluido esta etapa de planificación, se procedió al trabajo de campo propiamente dicho.

Ya en el sitio donde se realiza la medición, se lleva a cabo la preparación del instrumental, de la siguiente manera:



- De acuerdo con el instructivo del inversor, se apaga el vehículo, se conecta el inversor al conector auxiliar de 12V.
- Se monta el Analizador de espectros sobre una mesa.
- Se conecta el analizador de espectros al inversor mediante su cable interlock y una extensión (alargador).
- Se posiciona y conecta la antena a utilizar; si es la antena telescópica se ajusta el largo de los elementos para la banda de frecuencias a analizar.
- Se enciende el vehículo, se prende el inversor y por último se enciende el analizador de espectros.

El analizador de espectro necesita una mínima configuración para poder realizar las mediciones necesarias, las que se describen a continuación:

- Se elige el nivel de referencia, en nuestro caso -30dBm.
- Se configuran los parámetros de ancho de banda, RBW=3kHz y VBW=10kHz.
- Se determina el valor de start/stop del span, dado por la frecuencia central a medir.

Con todo ya configurado, las mediciones se llevan a cabo eligiendo la frecuencia central a medir, empezando por la más baja y concluyendo en la más alta, con la finalidad de mantener un orden y facilitar el registro y la documentación. En el momento en el que una señal es detectada en la pantalla del instrumento, se congela mediante una de las funciones del equipo y se realiza una captura de fotografía digital de resolución suficiente para distinguir todos los detalles de la pantalla del analizador de espectros. Seguidamente se incrementa el valor de la frecuencia central, de tal forma que la nueva frecuencia central coincida con la que se debe medir, se congela el barrido del analizador y se hace una nueva captura fotográfica. El procedimiento se



repite hasta completar todo el ancho de banda de interés tanto para radio FM como para TV analógica y digital.

Una vez finalizadas las mediciones, se desmonta todo el equipamiento en orden inverso a como se conectó, y al día siguiente se repite esta metodología en una nueva locación. No se realizan mediciones en más de una ubicación por día debido a que la cantidad de mediciones es bastante alta (mayor a 100) y esto demanda un tiempo considerable. Al haber seleccionado 8 locaciones distintas para analizar, se concluyó con el proceso de toma de mediciones luego de 8 días.

Cabe destacar que todo el proceso fue condicionado y demorado por la situación socio-sanitaria global declarada localmente en marzo del año 2020. Dicha situación impidió realizar el trabajo de campo con normalidad. En el tiempo que realizamos las mediciones la circulación estaba restringida pudiendo hacerlo solo en días y horarios especiales por lo que la coordinación entre de horarios de todos los integrantes del equipo se hizo complicada. Además de ello todas las tutorías tuvieron que realizarse de manera virtual e incluso el personal de Canal 9 de manera muy generosa y desinteresada abrió sus instalaciones para nosotros en aquella época difícil.

Ya con todas las capturas de las mediciones realizadas, las mismas se resguardan digitalmente en un espacio de almacenamiento en la nube, compartido por el tutor del proyecto y los alumnos participantes.

En este momento se comienza con el análisis de las señales. Este proceso de análisis y discusión se lleva a cabo teniendo en cuenta los criterios para la naturaleza de cada señal, ya que es distinto para radio FM que para TV. Para radio FM se usaron como parámetros de criterio la ocupación del ancho de banda permitida, la potencia de recepción y la existencia de modulación en la banda analizada.



Para mantener un estándar en la calidad de mediciones, se diagramo un procedimiento que se anexa a este informe, lo que garantiza que cualquier nueva medición, ya sea para corrección o ampliación de este trabajo se realice siempre de la misma manera.


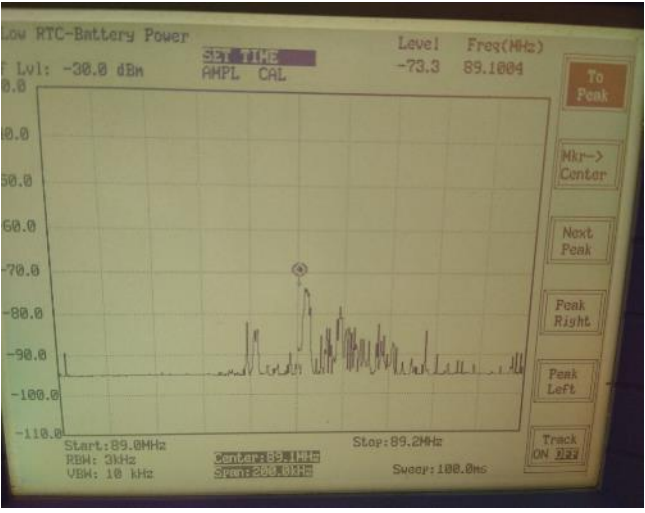
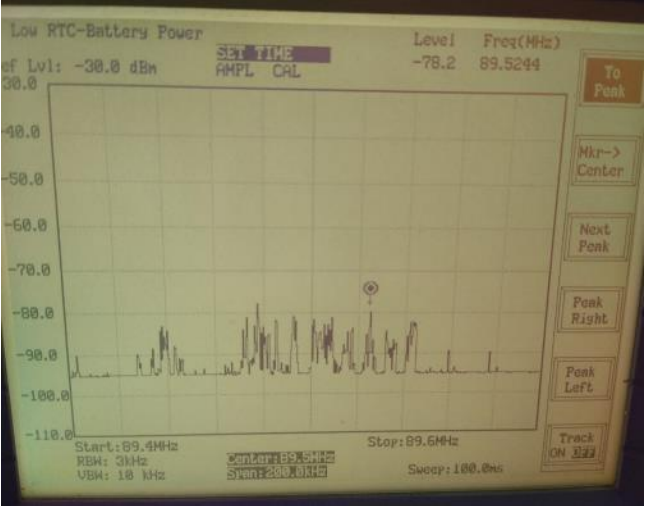
El análisis se realiza sobre las capturas ya mencionadas, pero no sobre el total; se hace tomando en cuenta las mediciones que presenten merito analítico, o sea, aquellas que no sean ruido, señales de baja potencia, etc. Esta discriminación no solo produce un ahorro de espacio sino también de tiempo a la hora de analizar.

Para las mediciones de FM los análisis resultantes se presentan en una tabla con la imagen del espectro analizado y las observaciones correspondientes. Las tablas están ordenadas por locación.

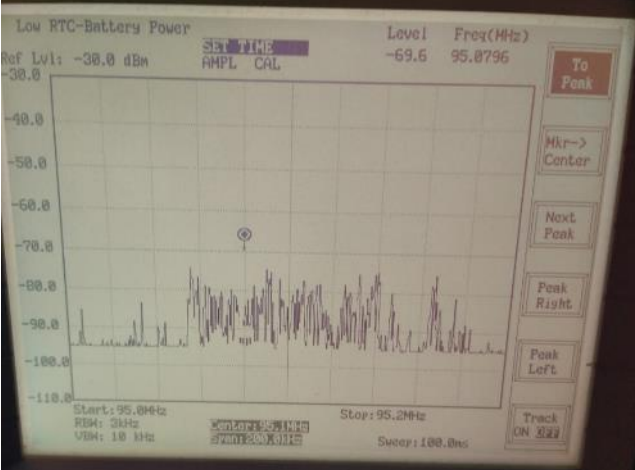

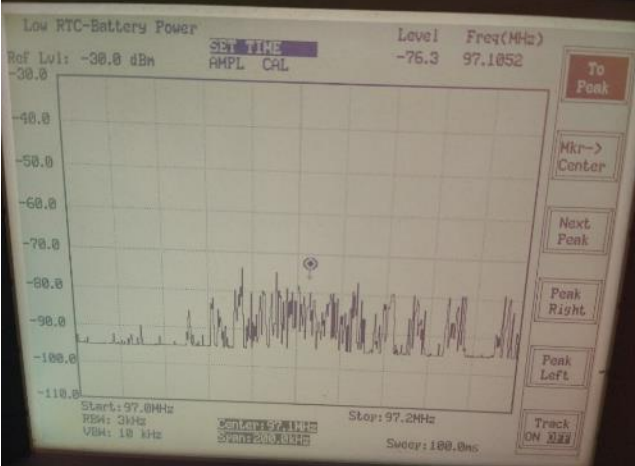
En las siguientes secciones se presentan los datos más significativos de los puntos elegidos, en tablas, el total de las mediciones se entrega en formato digital.



### 4.1.1 YPF – 2 de abril

Banda frecuencia [MHz]	Captura del Espectro	Descripción de las características de onda
88.3		Sin portadora central, bandas estero presentes, Uso de banda del 80%
89.1		Portadora presente, mala modulación
89.5		Buena modulación, poco aprovechamiento del ancho de banda

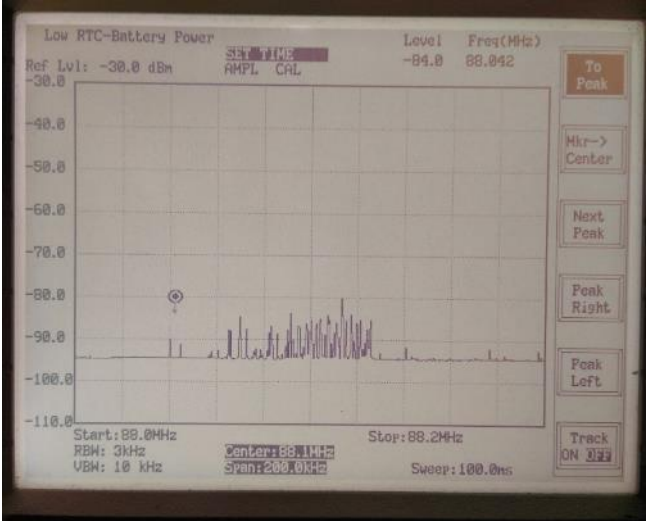
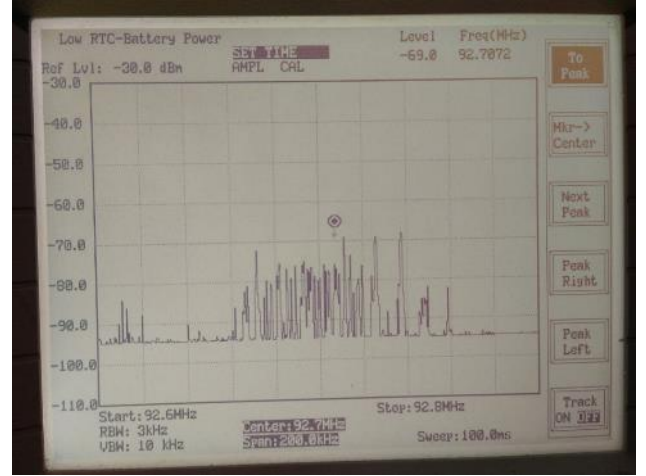


95.1		Buena modulación, potencia aceptable, baja ocupacion del ancho de banda 65% concentrada alrededor de la portadora
95.5		Buena modulación, potencia baja, ocupacion del ancho de banda 45%
97.1		Buena modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 50%



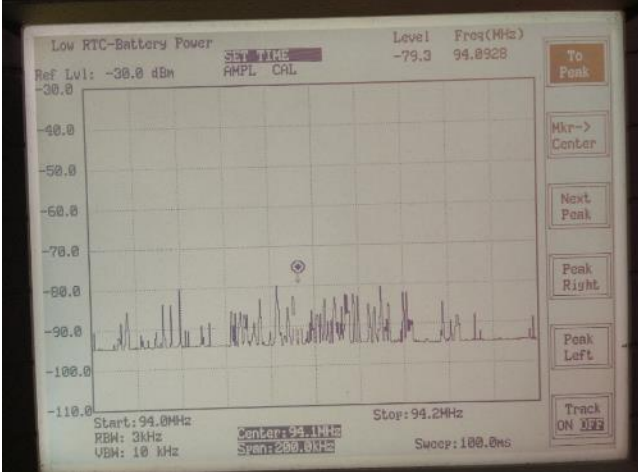




### 4.1.2 Estrecho San Carlos esquina las Virreinas

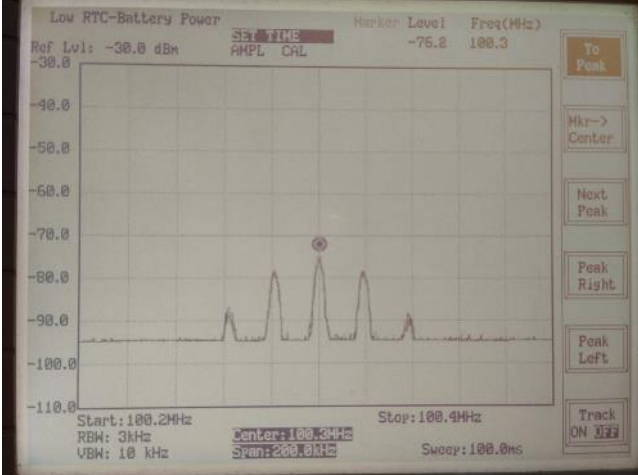

Banda frecuencia [MHz]	Captura del Espectro	Descripción de las características de onda
88.1		Modulación aceptable, baja potencia, ocupación del ancho de banda 35%
92.7		Buena modulación, buena potencia, ocupación del ancho de banda 50%





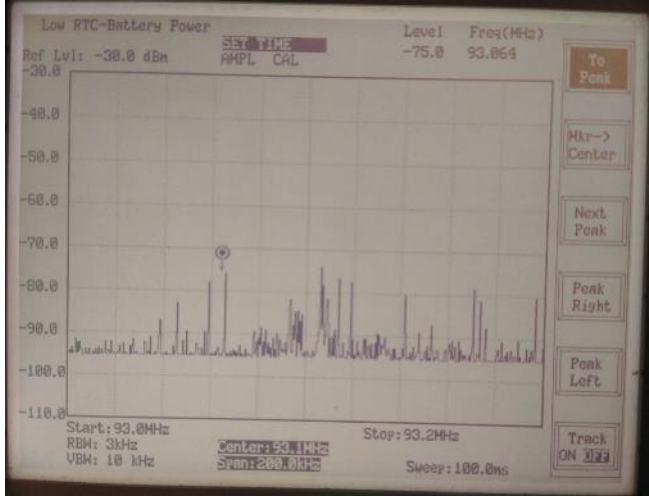
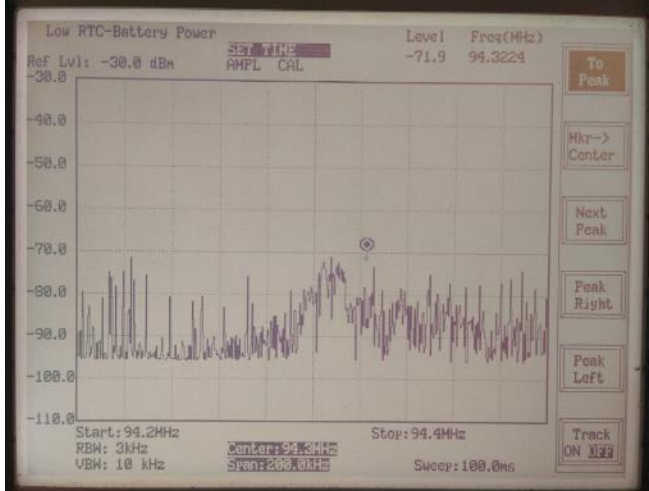
94.1		Buena modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 80%
95.1		Buena modulación, alta potencia de portadora, ocupación del ancho de banda 95%
98.5		Buena modulación, alta potencia de portadora, ocupación del ancho de banda 65%






<p>100.3</p>		<p>Sin modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 35%</p>
<p>101.1</p>		<p>Buena modulación, buena potencia, ocupación del ancho de banda 85%</p>





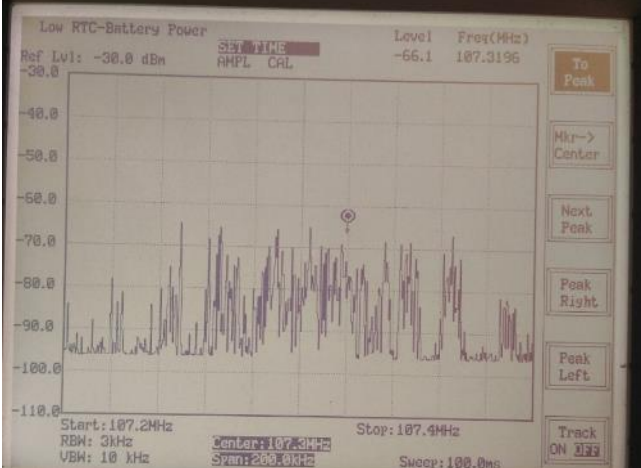
### 4.1.3 Ruta 38 Y 25

Banda frecuencia [MHz]	Captura del Espectro	Descripción de las características de onda
93.1		Mala modulación, muy baja potencia, ocupación del ancho de banda 55%
94.3		Buena modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 70%



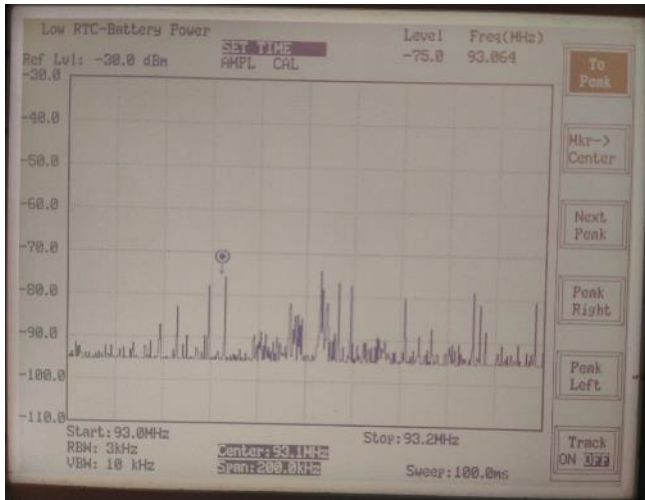
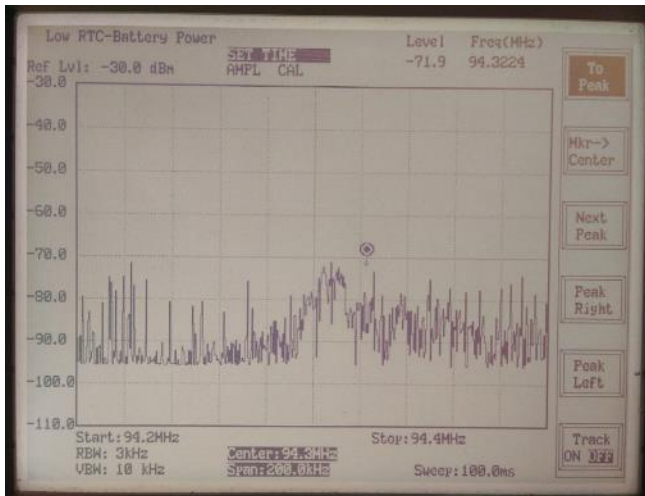
94.7		Modulación pobre, muy potencia, ocupacion del ancho de banda 70%
95.1		Sin modulación, muy baja potencia, ocupacion del ancho de banda 30%
96.5		Mala modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 70%



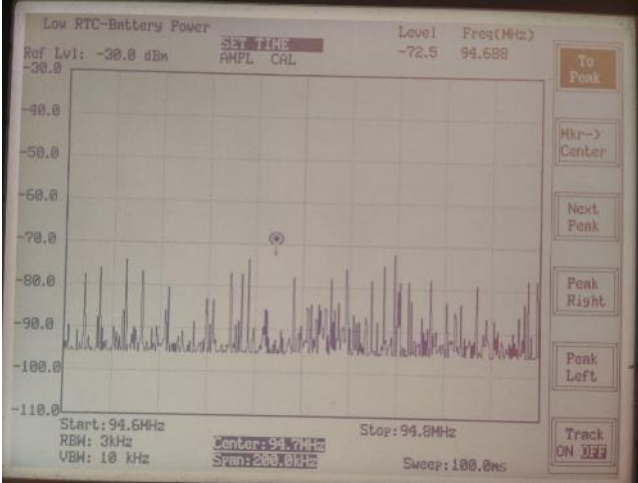


96.9		Buena modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 70%
104.5		Mala modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 40%
107.3		Alta potencia, invadienco los canales adyacentes, buena modulación




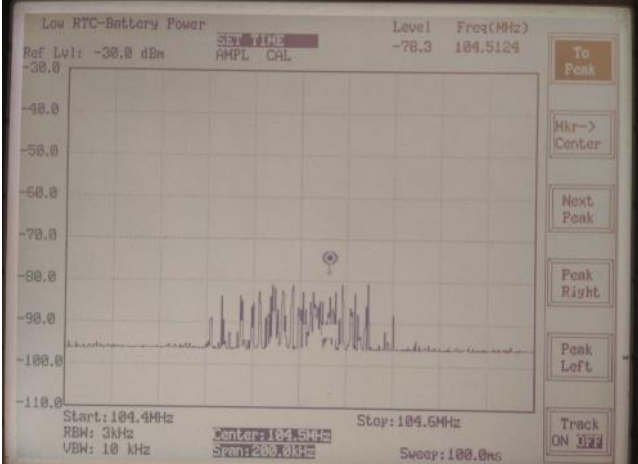
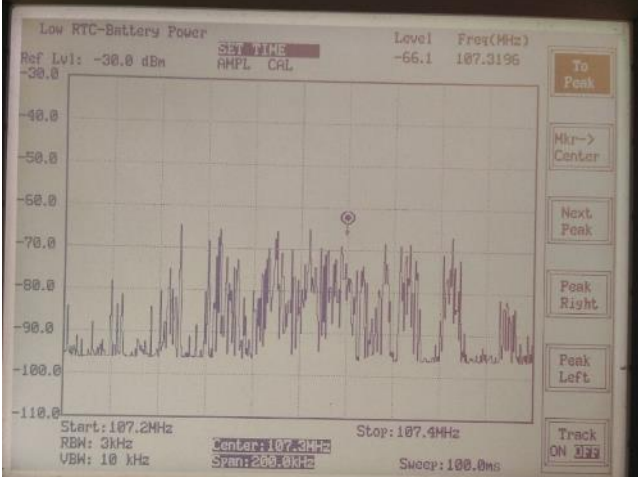
### 4.1.4 Pedro Bazan 415

Banda frecuencia [MHz]	Captura del Espectro	Descripción de las características de onda
93.1		Mala modulación, muy baja potencia, ocupación del ancho de banda 55%
94.3		Buena modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 70%



94.7		Modulación pobre, muy potencia, ocupacion del ancho de banda 70%
95.1		Sin modulación, muy baja potencia, ocupacion del ancho de banda 30%
96.5		Mala modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 70%

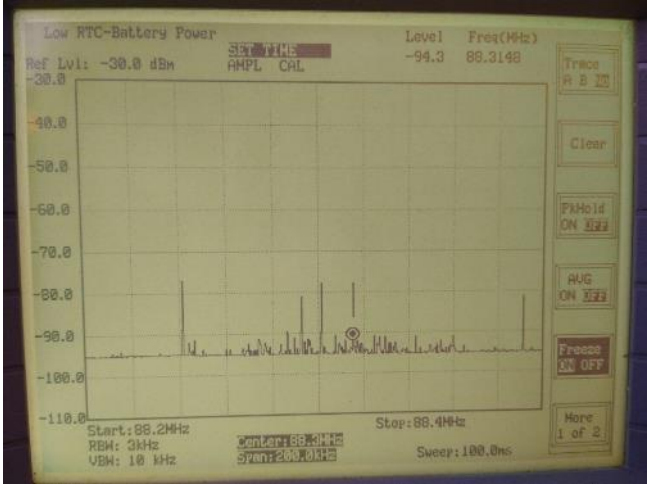
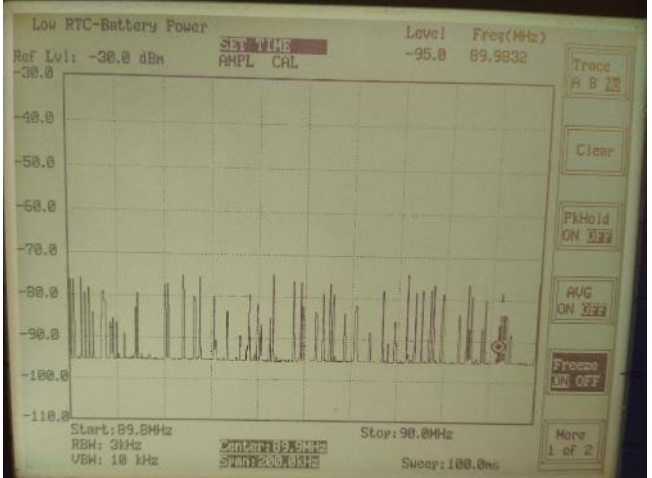


96.9		Buena modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 70%
104.5		Mala modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 40%
107.3		Alta potencia, invadiendo los canales adyacentes, buena modulación

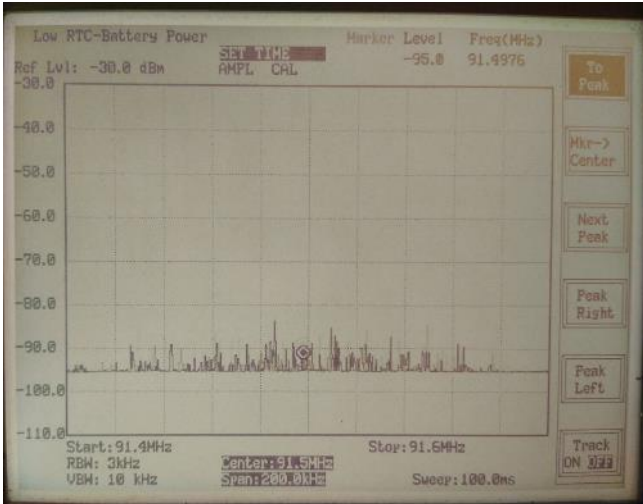
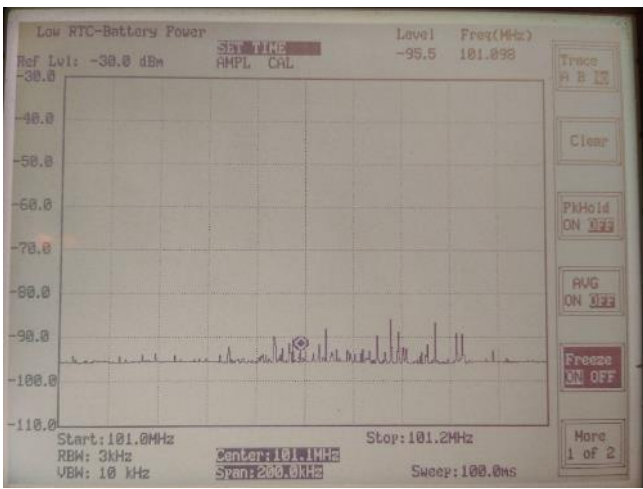





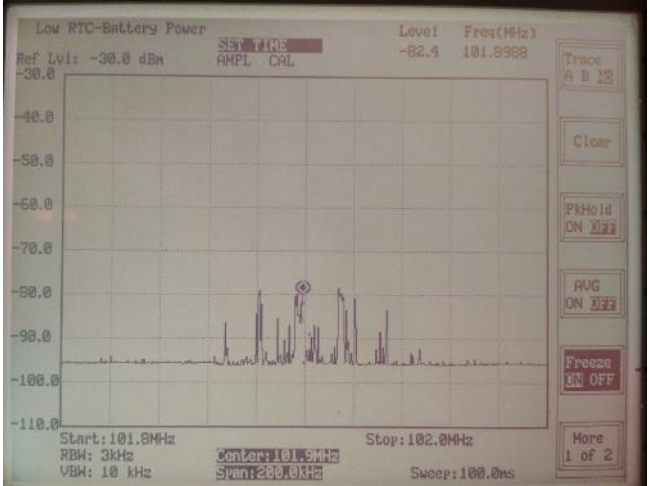
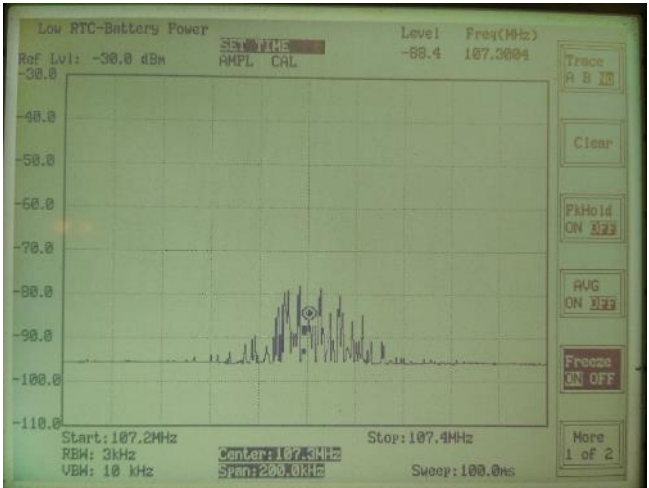
### 4.1.5 Padercitas

Banda frecuencia [MHz]	Captura del Espectro	Descripción de las características de onda
88.3		Mala modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 40%
89.9		Modulación pobre, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 70%




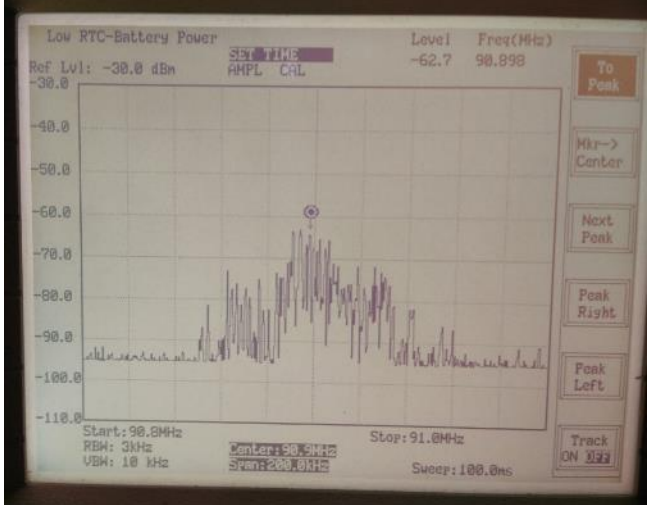
91.5		Modulacion pobre, muy baja potencia, ocupacion del ancho de banda 60%
101.1		Mala modulacion, muy baja potencia, ocupacion del ancho de banda 30%
101.5		Modulacion aceptable, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 70%



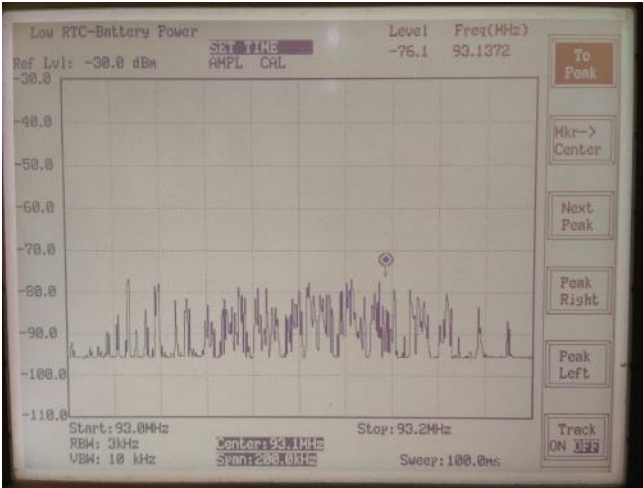

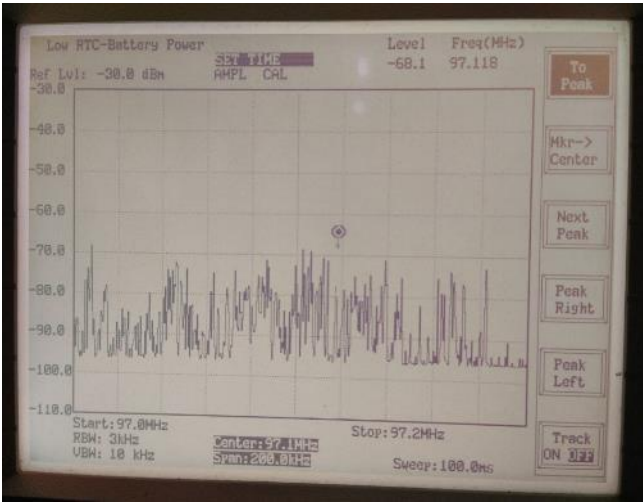
<p>101.9</p>		<p>Mala modulación, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 35%</p>
<p>107.3</p>		<p>Mala modulación, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 35%</p>



### 4.1.6 Diarco

Banda frecuencia [MHz]	Captura del Espectro	Descripción de las características de onda
88.1		Modulación aceptable, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 55%
90.9		Modulación aceptable, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 55%

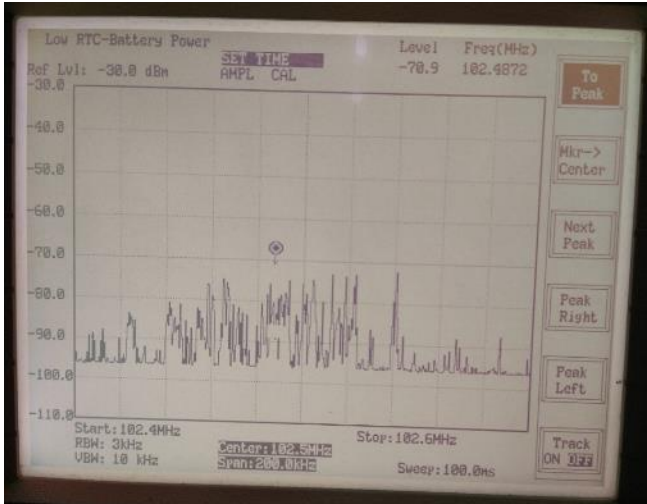
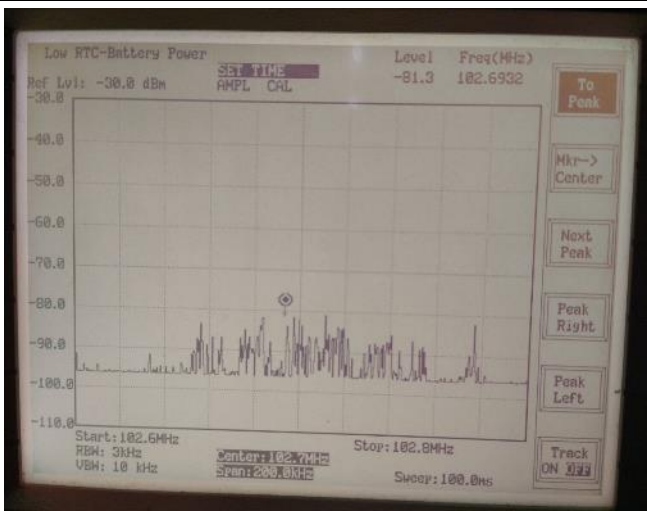
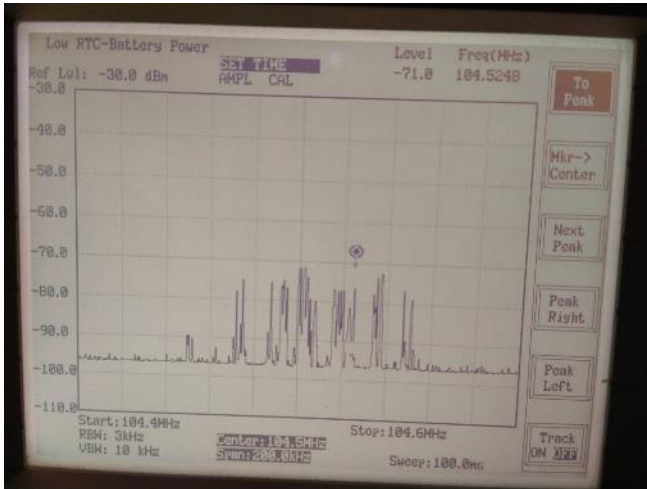


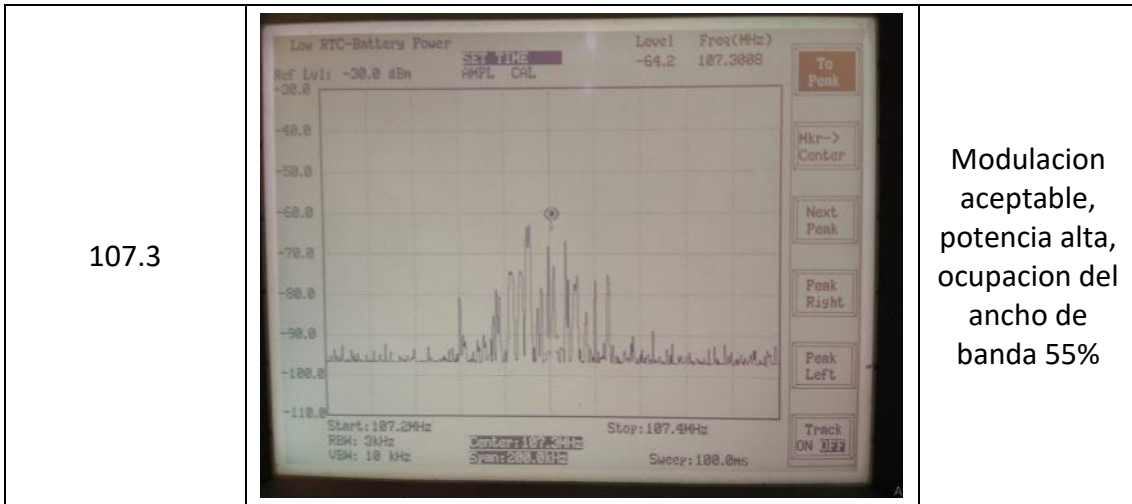
93.1		Mala modulación, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 55%
96.9		Mala modulación, potencia muy alta, ocupación del ancho de banda 95%
97.1		Modulación aceptable, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 95%



97.5		Sin modulación, potencia aceptable, ocupacion del ancho de banda 30%
101.1		Mala modulación, potencia aceptable, ocupacion del ancho de banda 75%
101.9		Mala modulación, potencia alta, ocupacion del ancho de banda 65%





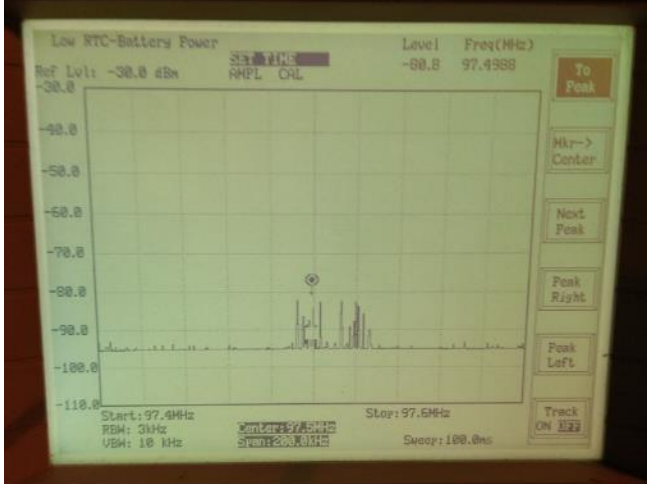
102.5		Modulación aceptable, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 85%
102.7		Modulación aceptable, potencia baja, ocupación del ancho de banda 65%
104.5		Modulación aceptable, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 55%



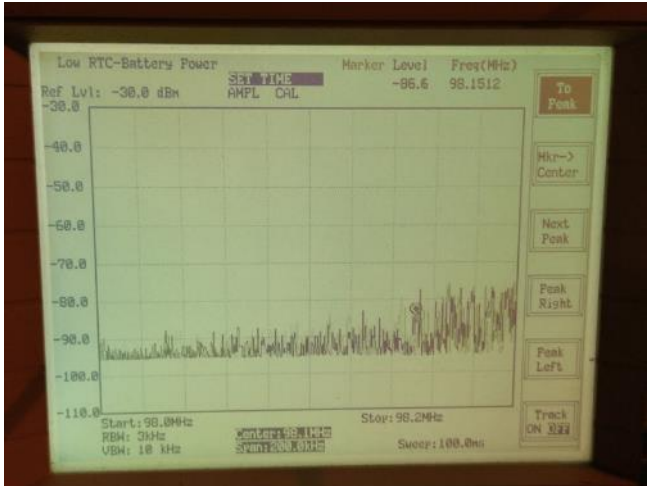
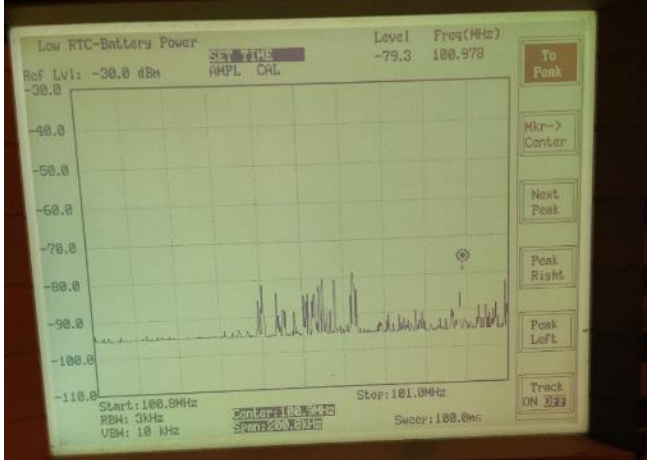





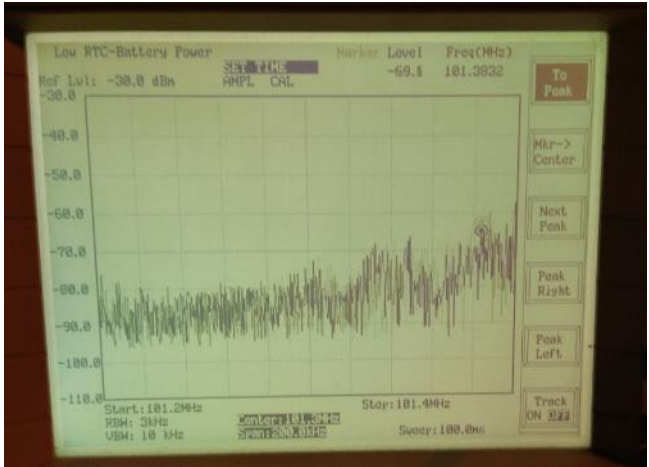
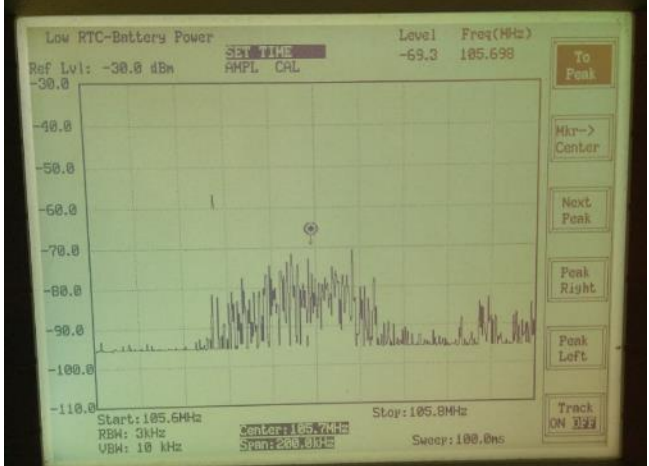
### 4.1.7 Autódromo

Banda frecuencia [MHz]	Captura del Espectro	Descripción de las características de onda
90.3		Mala modulación, potencia aceptable, ocupacion del ancho de banda 100%
93.9		Mala modulación, potencia aceptable, ocupacion del ancho de banda 100%
97.5		Sin modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 10%



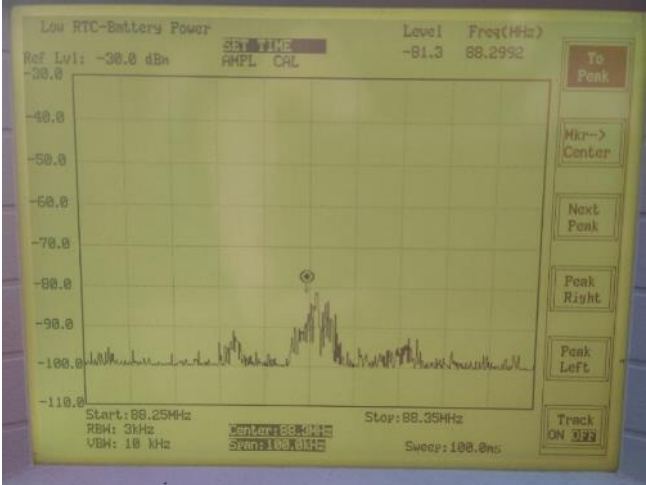
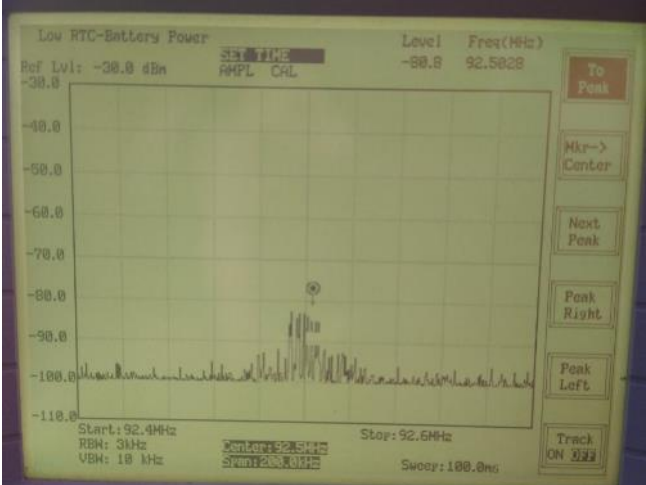
98.1		Mala modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 100%
100.9		Mala modulación, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 30%
101.1		Mala modulación, alta potencia, ocupación del ancho de banda 100%



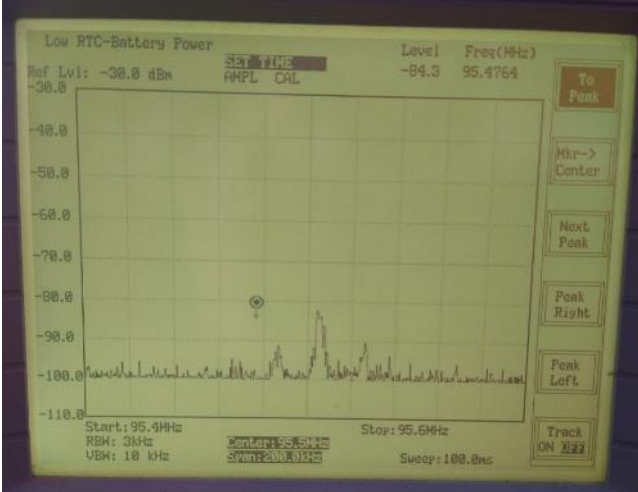
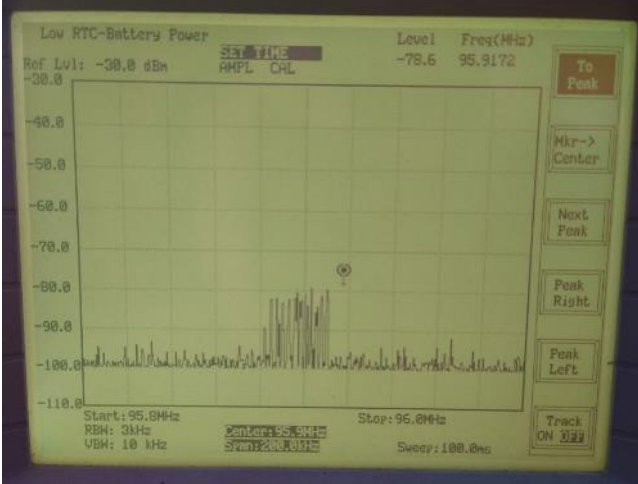
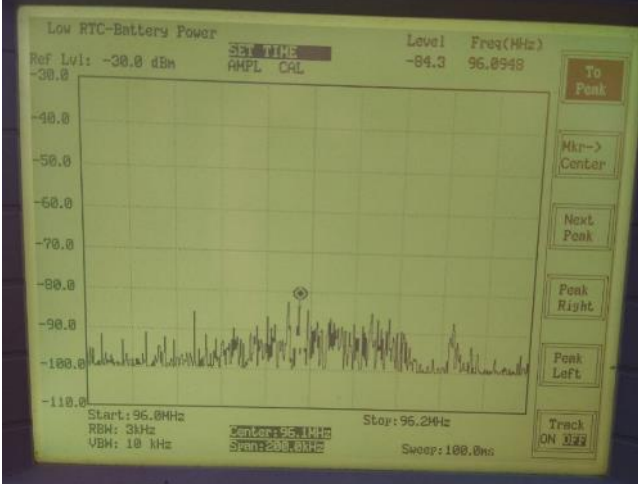
<p>101.3</p>		<p>Mala modulación, potencia alta, ocupación del ancho de banda 100%</p>
<p>105.7</p>		<p>Mala modulación, potencia aceptable, ocupación del ancho de banda 80%</p>



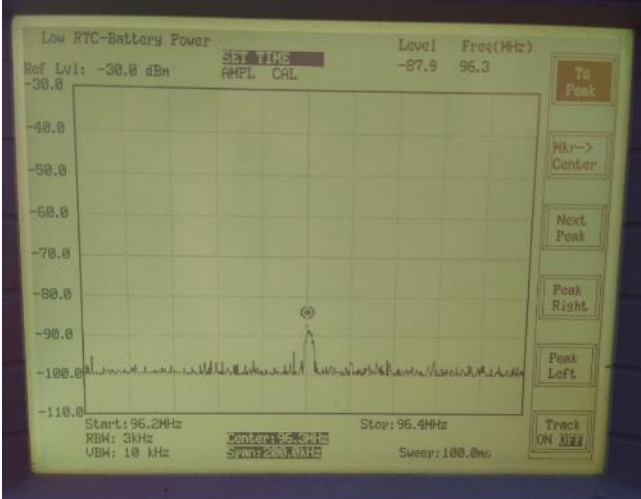
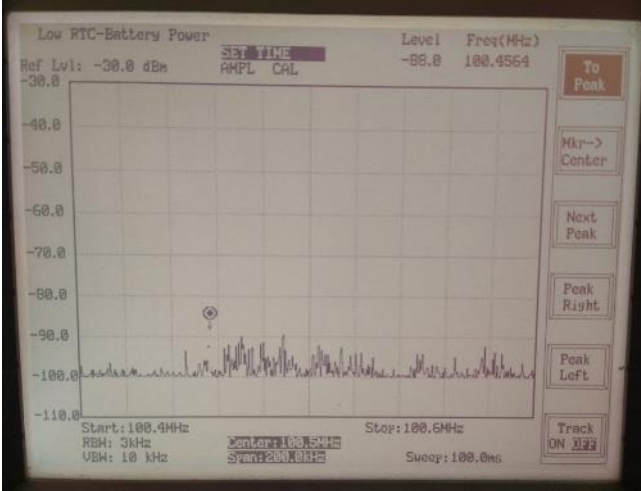
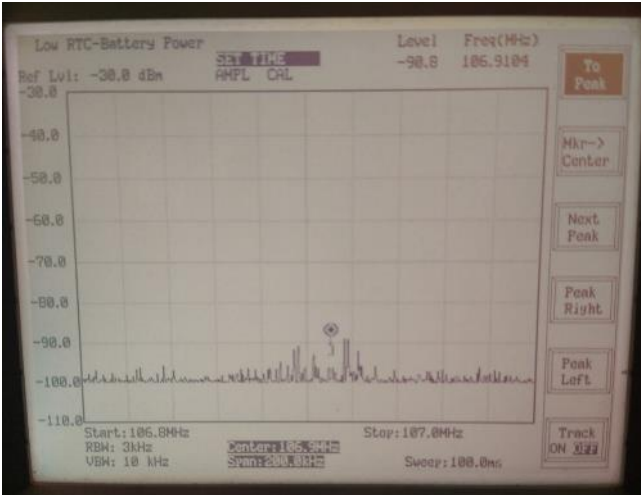
### 4.1.8 Aeropuerto

Banda frecuencia [MHz]	Captura del Espectro	Descripción de las características de onda
88.3		Sin modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 20%
92.5		Sin modulación, baja potencia, ocupación del ancho de banda 20%



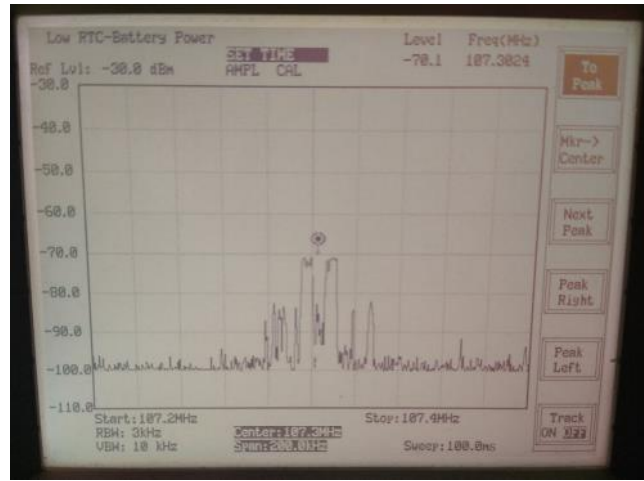
95.5		Sin modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 20%
95.9		Sin modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 15%
96.1		Mala modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 90%



96.3		Sin modulación, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 10%
100.5		Mala modulacion, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 70%
106.9		Mala modulacion, baja potencia, ocupacion del ancho de banda 40%



107.3



Mala  
modulacion,  
potencia  
aceptable,  
ocupacion del  
ancho de banda  
50%



#### 4.1.9 Análisis

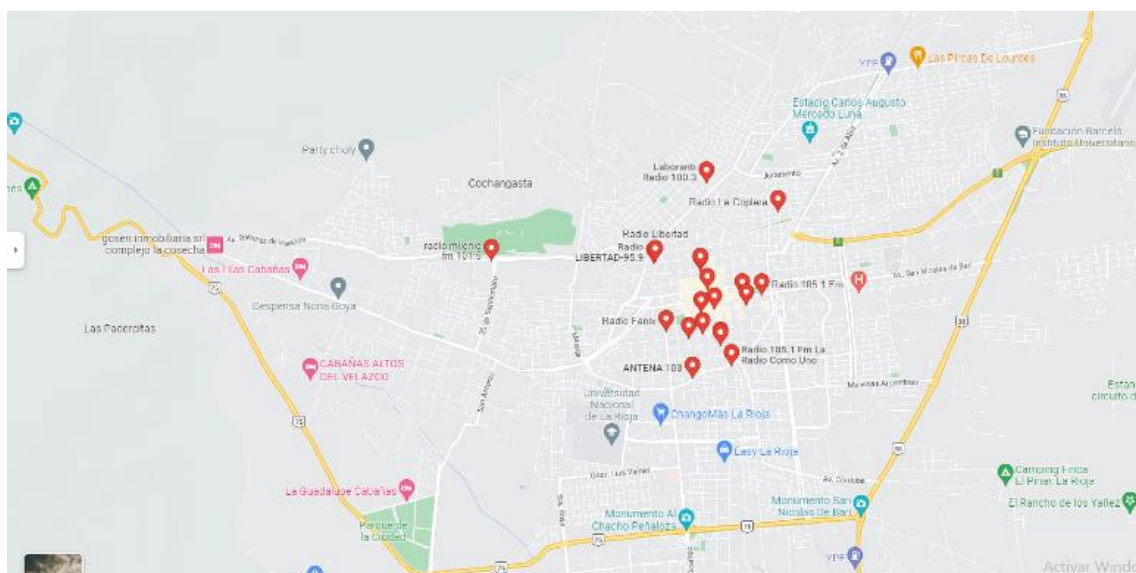
Como se puede apreciar anteriormente en las tablas, en general, las señales de FM presentan buena modulación, una potencia transmitida aceptable y ocupación del ancho de banda entre el 25% y el 100%. Hay frecuencias que no fueron analizadas ya que en las mismas no se detectó señal alguna, pudiendo tratarse de que en esa frecuencia central no se estaba transmitiendo en ese momento o no existe emisora asignada a dicha frecuencia.

A su vez, muchas de esas transmisoras si tienen asignadas frecuencias de transmisión, pero su nivel de potencia es tan bajo, no pudiendo distinguirse del ruido y, por lo tanto, no aportando información de relevancia al análisis realizado en este trabajo.

Por otro lado, las causas de ese resultado se atribuyen a la distancia del lugar donde se realizaron las mediciones con respecto a la planta transmisora, debido a que la gran mayoría de éstas se ubican en el centro de la ciudad, como se aprecia en la **Figura 26**.

**Figura 26**

*Ubicación de transmisoras de FM*







Cabe mencionar, que al estar ubicadas las transmisoras mayoritariamente en el centro de la Ciudad, y dada la potencia transmitida, la recepción de las señales en las locaciones más distantes se ve afectada severamente.

Se podría decir entonces que, aquellas señales que se distinguen del ruido lo hacen con una potencia comprendida entre -65dBm y -80dBm. En su mayoría, las emisoras de FM respetan el ancho de banda asignado de 200KHz, en donde la ocupación de este es entre un 45% y un 100%.

Es de destacar, que existen casos específicos de emisoras, donde la señal modulada en frecuencia ocupa entre 20% y 65% del ancho de banda asignado; en cambio, en otras emisoras las señales exceden el canal asignado, invadiendo los canales adyacentes. Este último caso, se produce debido a que la transmisión se realiza con una potencia muy elevada.

En cuanto al analizador de espectro, se puede mencionar que debido a la naturaleza constructiva (conversión A/D), la forma de onda no es una campana de Gauss perfecta como se esperaría de la teoría, sino que presenta pequeñas desviaciones; es un detalle importante a tener en cuenta para no caer en falsas conclusiones.

La resolución de ancho de banda, RBW, utilizada fue de 3kHz, para todas las mediciones. Tan alta resolución nos permitió discernir con detalle la modulación de las señales.

Para todas las mediciones el nivel de referencia en amplitud fue de -30dBm, con la escala en 1dB. Esa configuración fue considerada adecuada para los propósitos de nuestras mediciones lo que ofrece valores más exactos. Esto tiene que ser de este modo, debido a que un error en la medición de potencia nos daría conclusiones erróneas.

A continuación, se analizarán algunas señales que calificamos como casos especiales medidas en cada uno de los puntos geográficos.

#### **YPF 2 de abril**



En esta locación se destaca la frecuencia de 93.5MHz, la cual tiene una señal que invade a los canales adyacentes.

#### **ESTRECHO SAN CARLOS ESQUINA LAS VIRREINAS**

De este lugar se observan las siguientes situaciones:

- 90.9MHz invade los canales adyacentes, teniendo a su vez una potencia muy alta, del orden de los -60dB
- 94.3MHz es una transmisión con portadora de aproximadamente -65dB y con modulación de un solo tono
- 95.1MHz invade los canales adyacentes
- 96.1MHz señal con una modulación excesiva y una potencia cercana a los -60dB
- 100.3MHz modulación de un solo tono
- 107.3MHz señal con una modulación excesiva y una potencia cercana a los -60dB que invade los canales adyacentes

#### **RUTA 38 Y 25**

- 100.3MHz modulación de un solo tono
- 106.9 MHz señal con una modulación excesiva y una potencia cercana a los -60dB que invade el canal adyacente izquierdo

#### **PEDRO BAZÁN 415**

- 91.3 MHz señal con una gran potencia y amplitud excesiva
- 91.9 MHz portadora sin modulación



- 97.3 MHz modulación de un solo tono

#### **PADERCITAS**

- 89.1 MHz señal interferente en el canal, de amplitud constante y sin modulación

#### **DIARCO**

- 96.9 MHz señal con una gran potencia, invadiendo los canales adyacentes

#### **AUTODROMO**

- 90.9 MHz señal con una gran potencia, invadiendo los canales adyacentes
- 96.1 Mhz señal con una gran potencia, invadiendo los canales adyacentes
- 98.3 MHz señal con una gran potencia, invadiendo los canales adyacentes
- 99.5 MHz señal con una gran potencia invadiendo los canales adyacentes
- 101.1 MHz señal con una gran potencia invadiendo los canales adyacentes
- 101.5 MHz señal con una gran potencia invadiendo los canales adyacentes
- 104.7 MHz señal con una gran potencia invadiendo los canales adyacentes
- 107.3 MHz señal con una gran potencia invadiendo los canales adyacentes

#### **AEROPUERTO**

- 94.3 MHz portadora sin modulación



## 4.2 Televisión Analógica – Analizador de Espectro

Al momento de llevar a cabo las mediciones, era sabido de la existencia de 2 emisoras en la banda de VHF, Canal 9 de La Rioja entre 186MHz y 192MHz, y canal 13 entre 210MHz y 216MHz.

Para todas las ubicaciones la portadora de video y de audio presentan buena calidad, por lo que mostramos una imagen representativa para todas ellas.

**Figura 27**

*Portadora de video de Canal 9 de La Rioja*

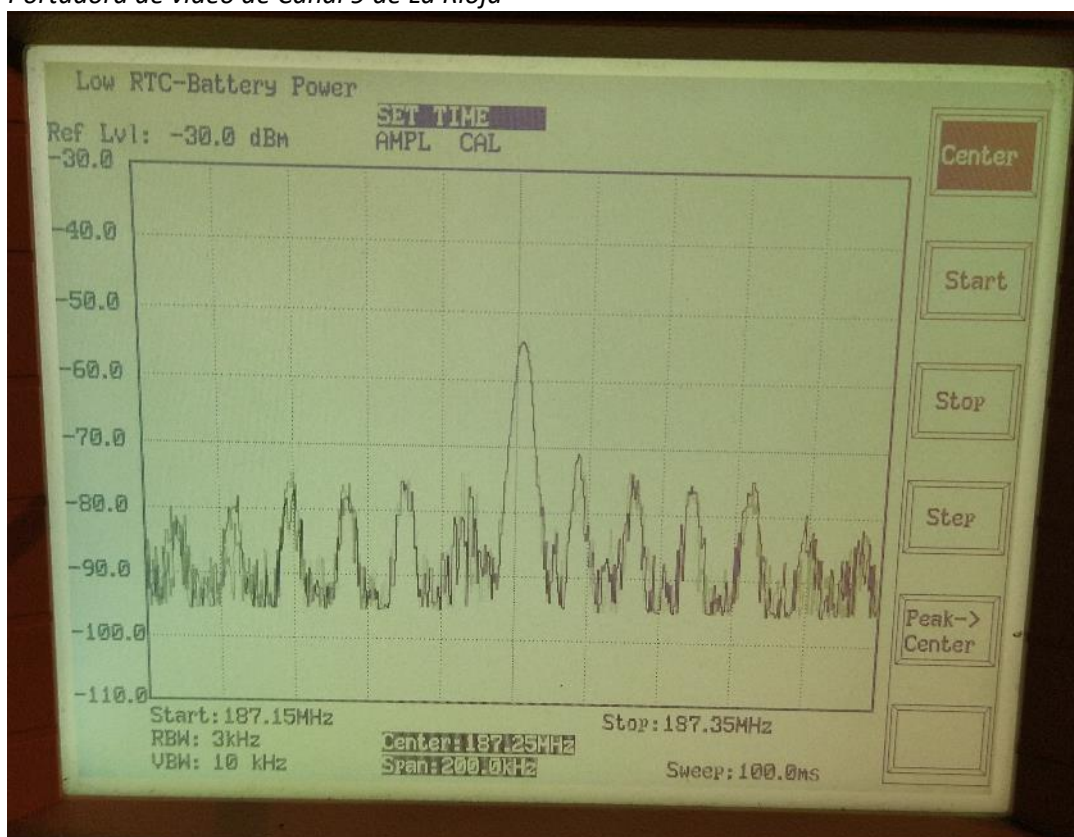




Figura 28

Portadora de audio de Canal 9 de La Rioja

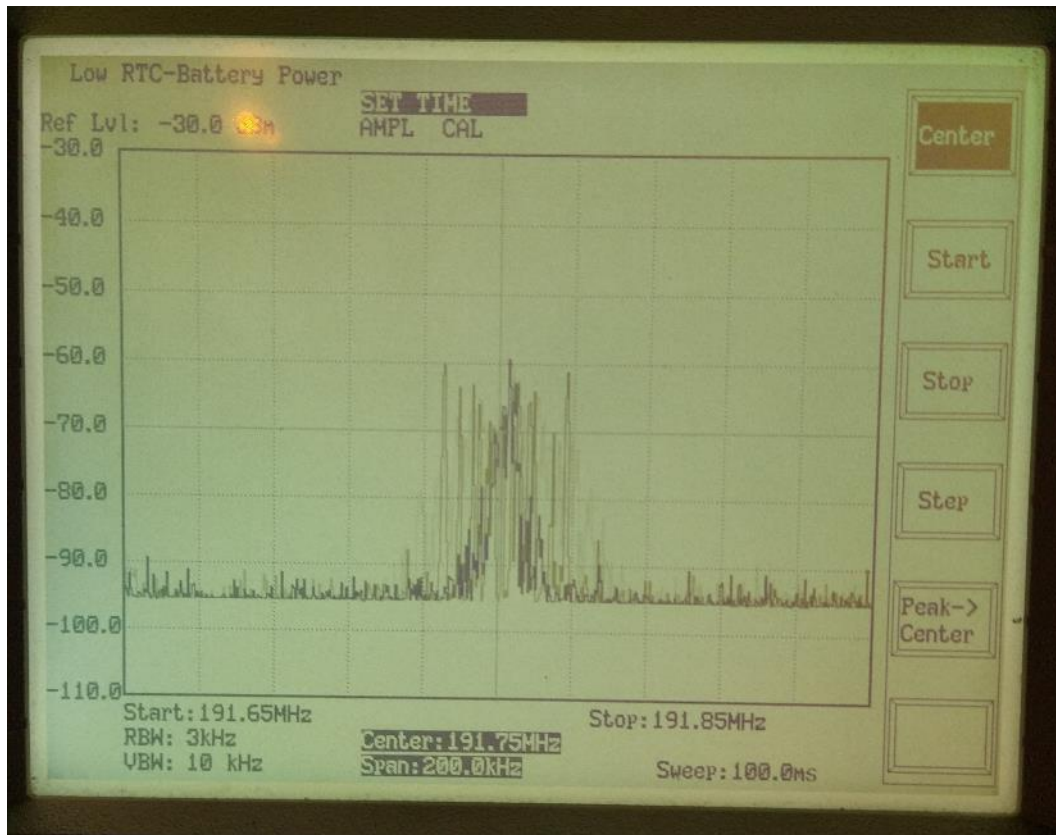




Figura 29

Portadora de video de canal 13



### 4.3 TDT – Analizador de Espectro

Para el caso de la Televisión Digital Terrestre encontramos buena potencia recibida en todos los puntos de medición y dejamos como ejemplo aquí las capturas tomadas en una sola ubicación para explicar lo observado.

Las frecuencias en las cuales se transmiten los canales de TDA (Televisión Digital Abierta – nombre que recibe la TDT en Argentina) se listan en la **Tabla 5**.



**Tabla 5**

*Frecuencias de Canales de TDA*

Canal 14: 473.143 MHz.
Canal 15: 479.143 MHz.
Canal 16: 485.143 MHz.
Canal 17: 491.143 MHz.
Canal 18: 497.143 MHz.
Canal 19: 503.143 MHz.
Canal 20: 509.143 MHz.
Canal 21: 515.143 MHz.
Canal 22: 521.143 MHz.
Canal 23: 527.143 MHz.
Canal 24: 533.143 MHz.
Canal 25: 539.143 MHz.
Canal 26: 545.143 MHz.
Canal 27: 551.143 MHz.
Canal 28: 557.143 MHz.
Canal 29: 563.143 MHz.
Canal 30: 569.143 MHz.
Canal 31: 575.143 MHz.
Canal 32: 581.143 MHz.
Canal 33: 587.143 MHz.
Canal 34: 593.143 MHz.
Canal 35: 599.143 MHz.
Canal 36: 605.143 MHz.

(el canal 37 esta reservado para radioastronomia).

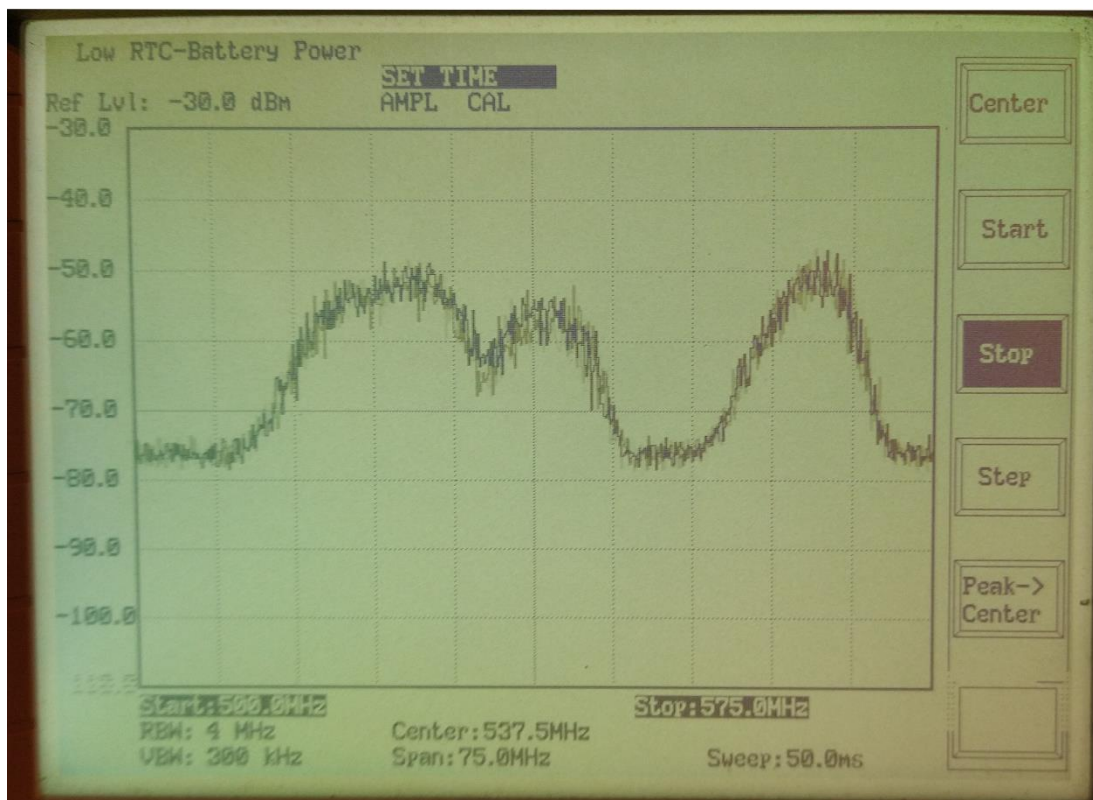
Analizando la **Figura 30** observamos claramente que hay recepción en 3 bloques de frecuencia:

- De 515MHz a 533MHz (aprox.)
- De 533MHz a 545MHz (aprox.)
- De 557MHz a 563MHz (aprox.)

De este análisis podemos concluir que los canales para los cuales se encontró señal transmitida en el momento de las mediciones fueron los canales: 21, 22, 23, 25, 28 y 29.

**Figura 30**

*Espectro en frecuencia de señales de TDA*



Para la televisión digital, dentro de cada canal hay sub canales y al momento de decodificarlos en un equipo para este fin, los mismos se sintonizan indicando el N° de canal y separado con un punto (.) el sub canal a ver.

#### 4.4 Telefonía Celular

Al igual que en el caso de la Televisión Digital, la telefonía celular también presentaba buena señal en todas las locaciones debido a la gran densidad de antenas distribuidas en todo el territorio de la ciudad.

Analizaremos una captura (**Figura 31**) para explicar lo concluido.

En esta captura vemos en el sector izquierdo de la imagen las señales de TDT que analizamos con anterioridad y desde la frecuencia central hacia la derecha 2 bandas de transmisión muy marcadas, una de ellas comenzando aproximadamente a los 760MHz finalizando en los 800MHz

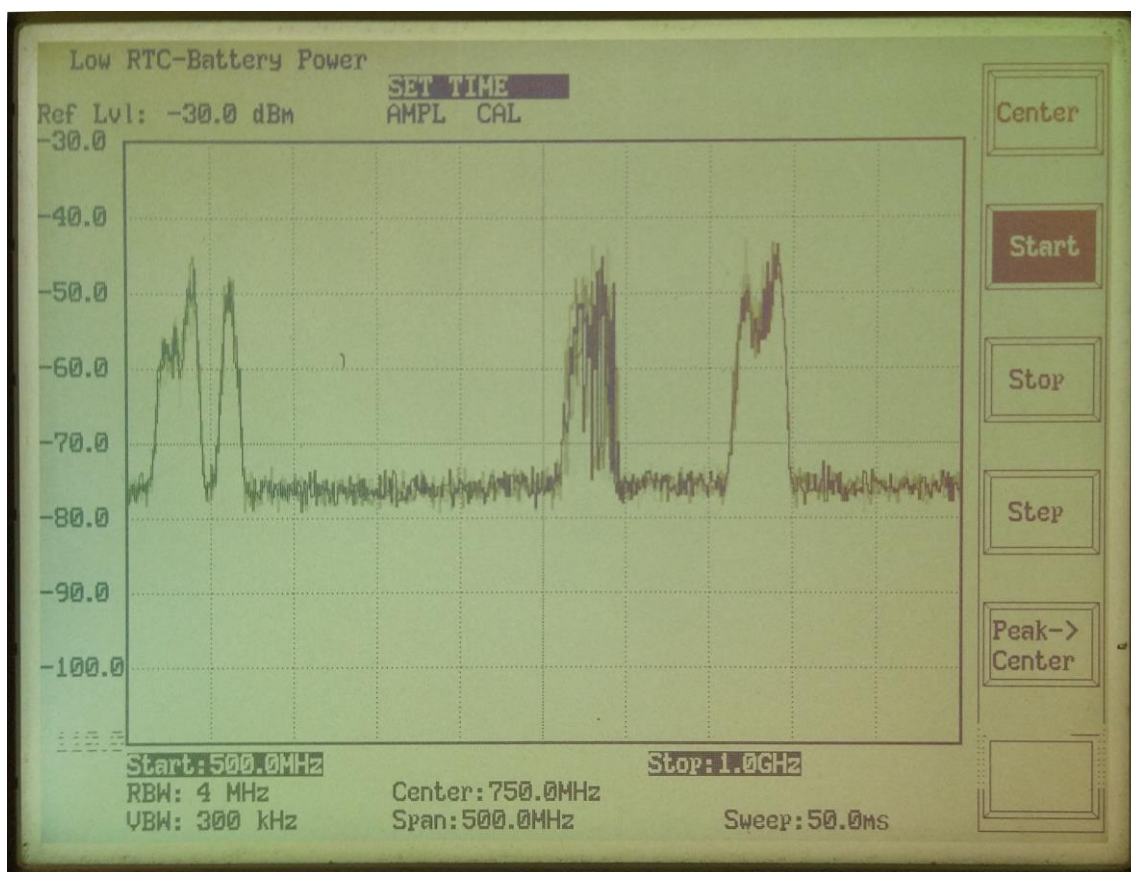




y la otra de ellas comenzando en los 870 MHz y finalizando en los 900MHz. La potencia de señal es muy buena y estas bandas corresponden a las tecnologías de comunicación 4G para la banda más baja y, 2G y 3G para la banda más alta. Estas no son las únicas bandas donde se transmiten comunicaciones de estas tecnologías ya que también lo hacen en las bandas de 1700MHz, 1900MHz y 2100MHz pero no contamos con las antenas apropiadas para tomar lectura de estas señales y que sean representativas para el trabajo.

**Figura 31**

*Espectro desde 500MHz hasta 1GHz*



Las transmisiones de tecnología 5G se realizan en frecuencias desde los 1500 MHz en adelante y tampoco pueden ser analizadas con el equipamiento dispuesto para este estudio.

Tan solo pueden analizarse las bandas de transmisión para la telefonía celular como un bloque debido a que dentro de estas bandas se encuentran muchísimos canales de transmisión que se



van asignando a los usuarios a medida que hacen uso de la red y de esta manera se van ocupando y desocupando paulatinamente.



## 4.5 SDR

### 4.5.1 Introducción

SDR significa "Software Defined Radio" (Radio Definida por Software) y se refiere a un tipo de dispositivo de radio que utiliza software para controlar su funcionamiento en lugar de circuitos y componentes de hardware dedicados. Estos dispositivos SDR son capaces de recibir, decodificar, procesar y transmitir señales de radio en una amplia gama de frecuencias, desde muy bajas frecuencias (VLF) hasta frecuencias de microondas.

Los dispositivos SDR son muy versátiles y se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones de telecomunicaciones, desde la radioafición hasta las aplicaciones militares y de defensa. También se utilizan en aplicaciones de investigación científica como la que realizamos aquí en específico para la medición del espectro radioeléctrico.

La capacidad de medir el espectro radioeléctrico es una de las principales ventajas de los dispositivos SDR. Los SDR permiten analizar el espectro de frecuencias en tiempo real y detectar interferencias y otras anomalías en el espectro. Esto es especialmente útil en aplicaciones de comunicaciones inalámbricas, donde las interferencias pueden causar problemas graves en la calidad de la señal y la fiabilidad de la comunicación.

Además, los dispositivos SDR también son muy útiles para la monitorización de la banda ancha y la identificación de señales de radio desconocidas o no autorizadas. En estos casos, los SDR pueden utilizarse para analizar las características de la señal y determinar su origen y propósito.

En resumen, los dispositivos SDR son una herramienta muy valiosa para los ingenieros orientados a las telecomunicaciones y los investigadores científicos que necesitan medir y analizar el espectro radioeléctrico en una amplia gama de frecuencias.



#### 4.5.2 Trabajo de campo – Mediciones con SDR

En este apartado realizaremos un análisis sobre las mediciones más relevantes tomadas mediante el uso de un dispositivo SDR comercial adquirido para este proyecto (**Figura 32**). El dispositivo en cuestión cuenta con las siguientes bondades:

- Banda Aérea
- Recibir tráfico aéreo estilo radar
- Recibir FM comercial
- Recepcionar Satélites
- Recibir imágenes de satélites NOAA
- Escuchar servicios de emergencia
- Recibe AM-FM-LSB-CW-RAW

**Figura 32**

*Dispositivo SDR comercial*

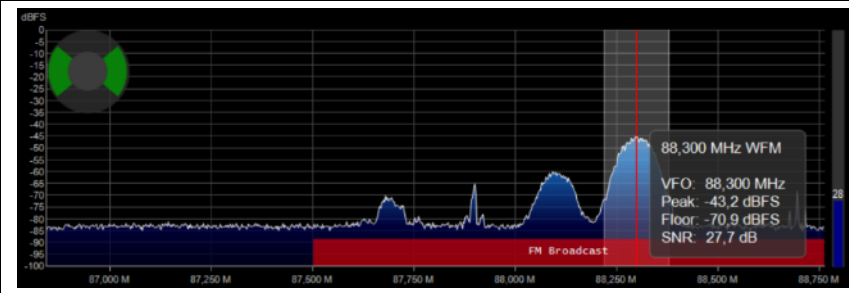
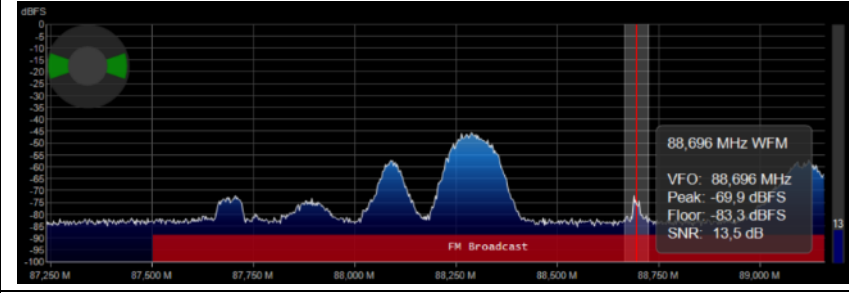
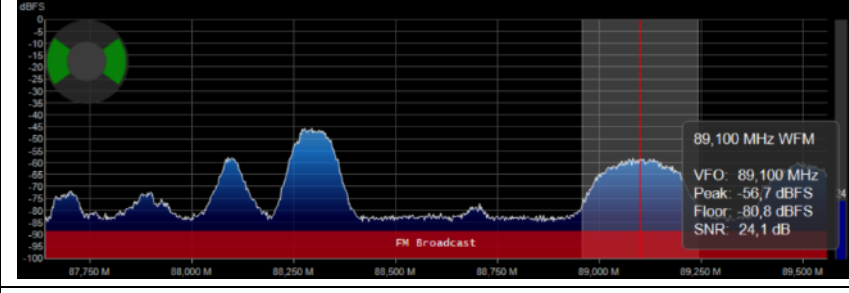
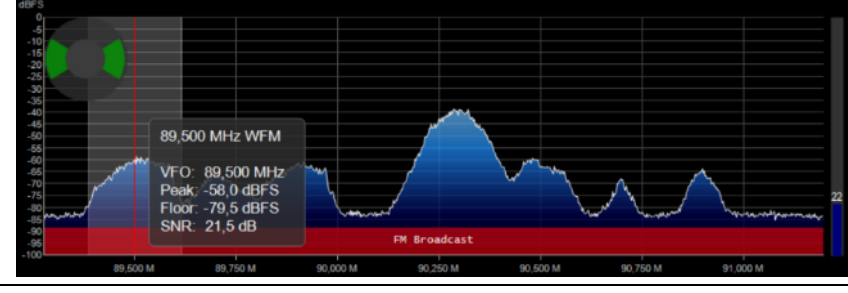




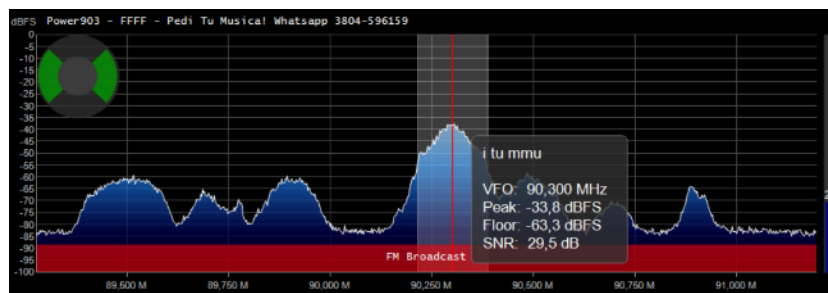
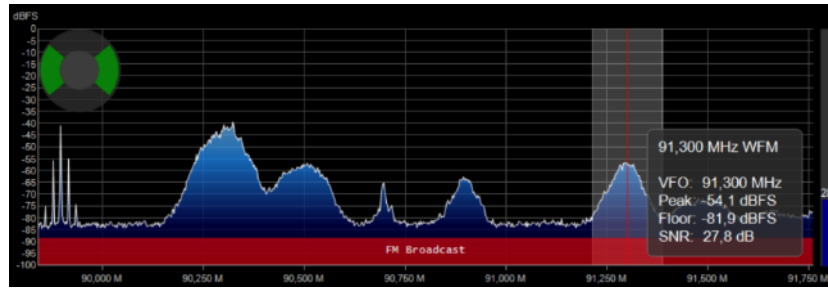
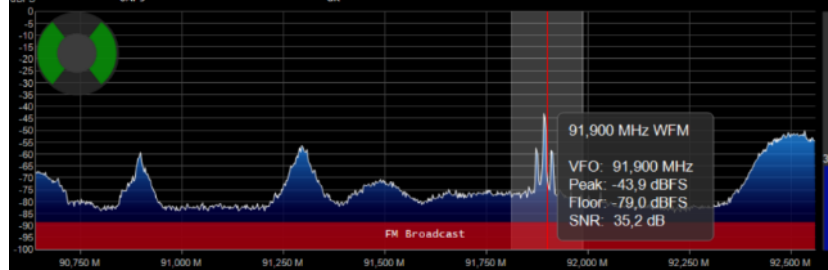
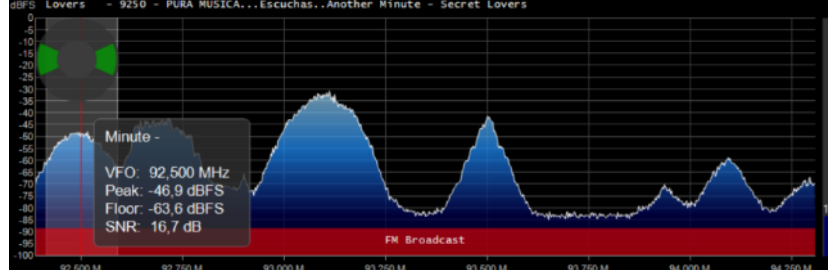
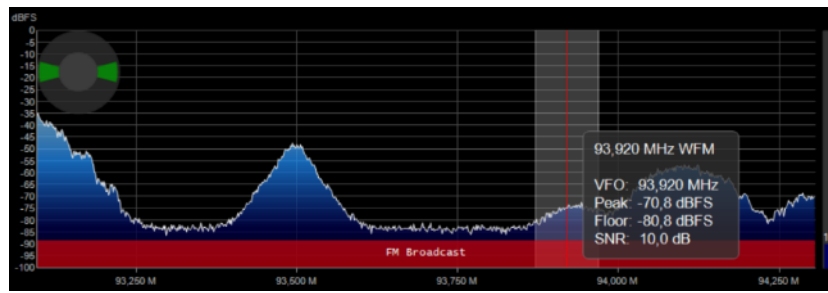
Todas las mediciones realizadas con este dispositivo fueron realizadas en una ubicación céntrica de la ciudad; específicamente en la intersección de calles Rivadavia y Güemes en inmediaciones de una emisora de radio comercial llamada POWER HIT FM que transmite su señal en la frecuencia central 90.3MHz.

A continuación, en la **Tabla 6**, se muestran capturas de pantalla tomadas con la PC que se utilizó para realizar las lecturas, llevadas a cabo con el software provisto al adquirir el dispositivo cuyo nombre es Airspy, ampliamente difundido para este tipo de dispositivos.

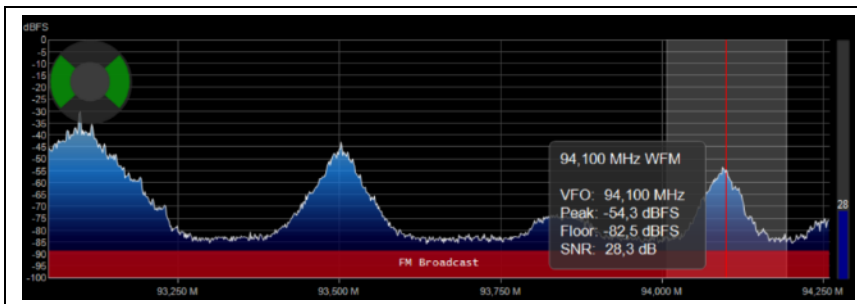
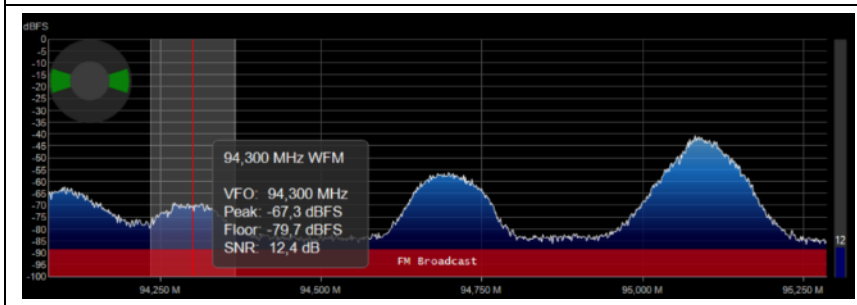
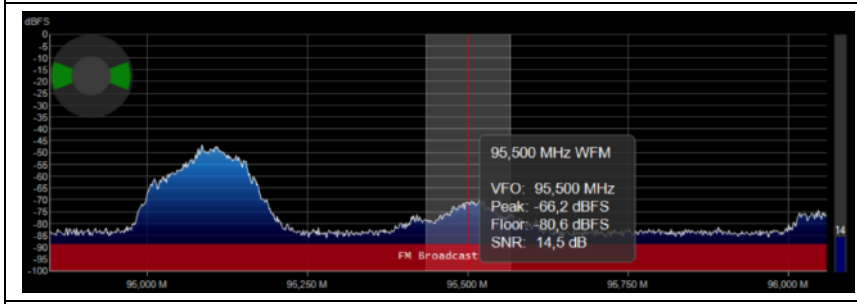
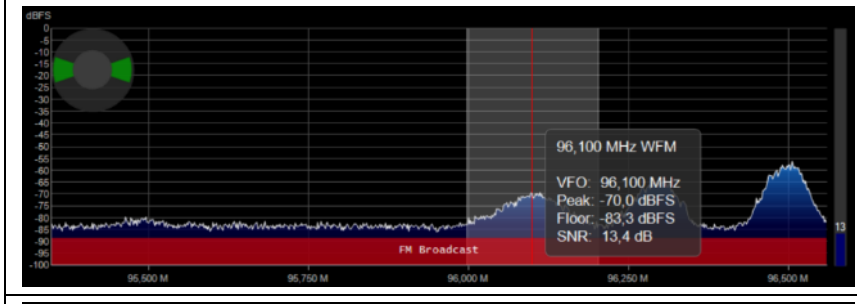
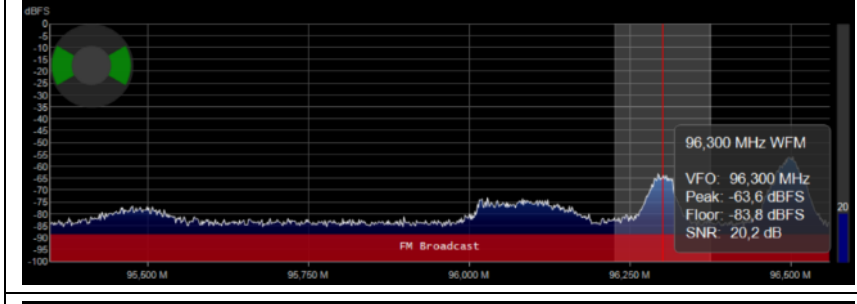
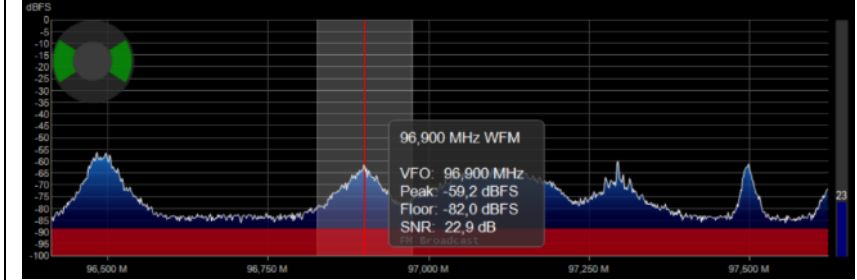
Tabla 6

	Pico: -43.2 dBFS Buena potencia
	Pico: -69.9 dBFS Baja Potencia
	Pico: -56.7 dBFS Buena Potencia
	Pico: -58 dBFS Buena potencia



	<p>Pico: -33.8 dBFS</p> <p>Muy buena potencia</p> <p>Lectura a 30 metros de planta transmisora</p>
	<p>Pico: -54.1 dBFS</p> <p>Buena potencia</p>
	<p>Pico: -43.9 dBFS</p> <p>Buena potencia</p> <p>Sin modulación</p>
	<p>Pico: -46.9 dBFS</p> <p>Buena potencia</p>
	<p>Pico: -70.8 dBFS</p> <p>Baja potencia</p> <p>Se aprecia intermodulación con banda adyacente</p>



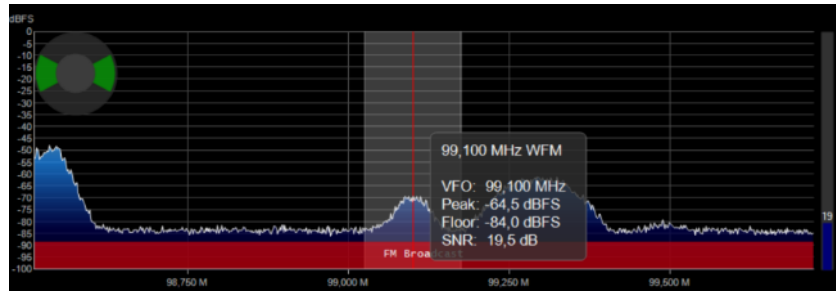
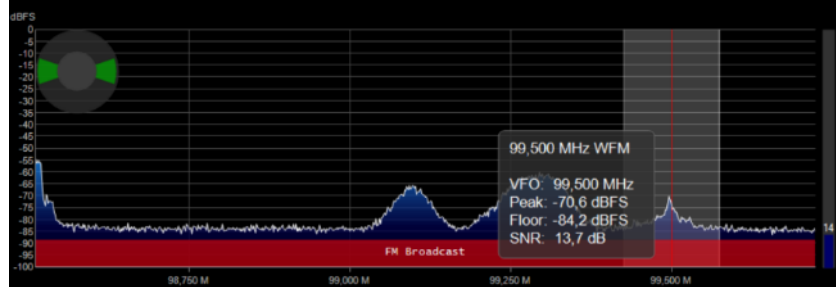
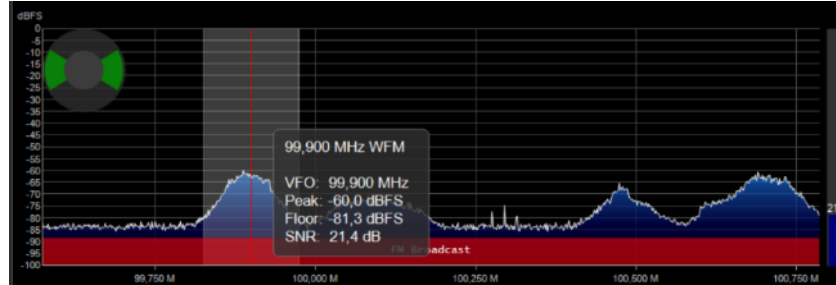
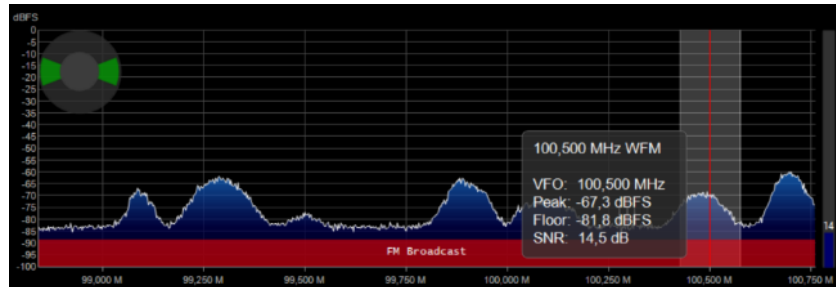
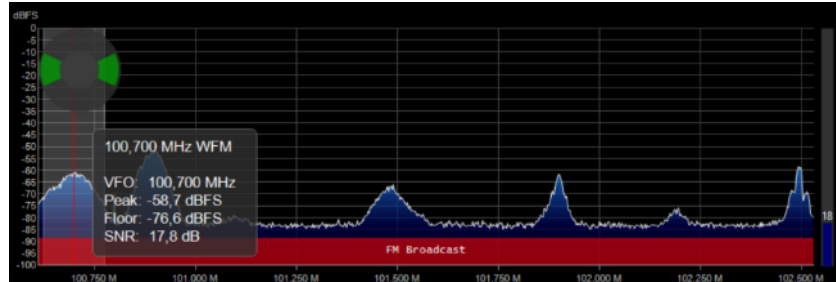
	<p>Pico: -54.3 dBFS Buena potencia</p>
	<p>Pico: -67.3 dBFS Baja potencia</p>
	<p>Pico: -66.2 dBFS Potencia media</p>
	<p>Pico: -70 dBFS Baja Potencia</p>
	<p>Pico: -63.6 dBFS Baja Potencia</p>
	<p>Pico: -59.2 dBFS Buena potencia</p>



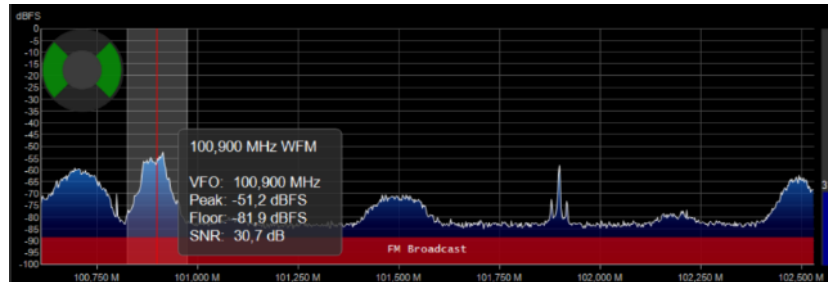
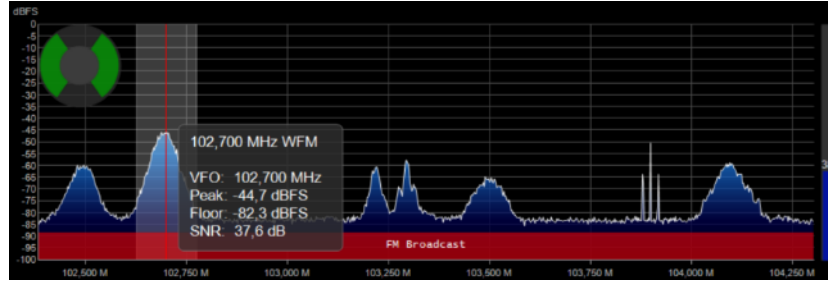
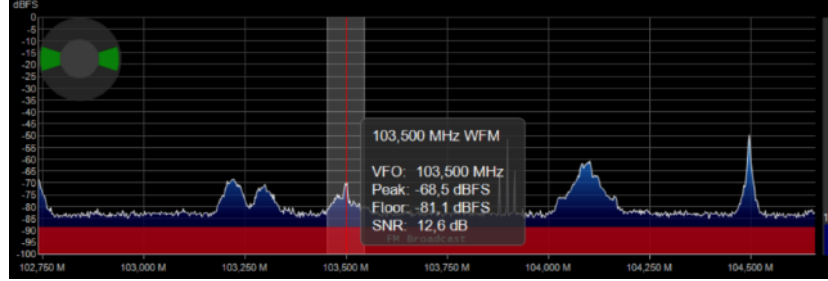
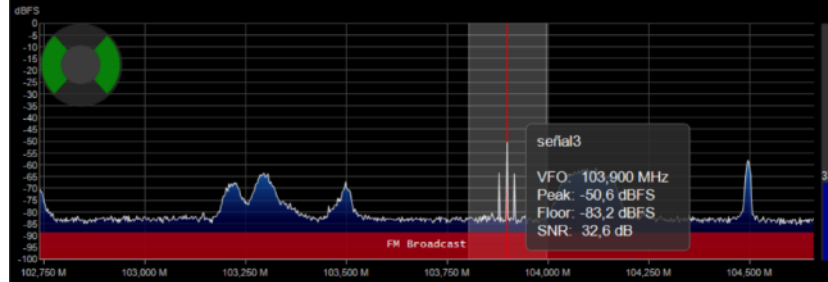
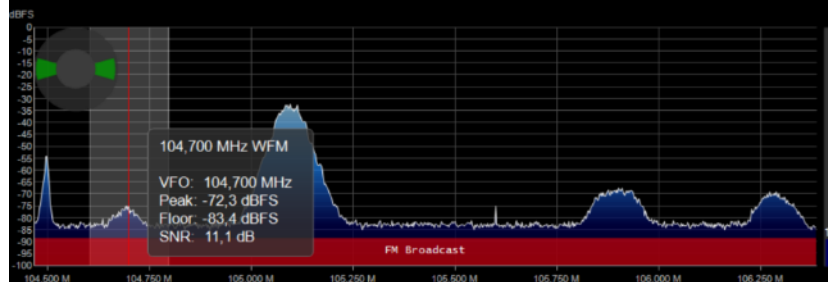
	<p>Pico: -58.2 dBFS Buena potencia</p>
	<p>Pico: -48.6 dBFS Buena potencia</p>
	<p>Pico: -67.6 dBFS Baja potencia</p>
	<p>Pico: -39 dBFS Muy buena potencia</p>
	<p>Pico: -72.7 dBFS Baja potencia</p>



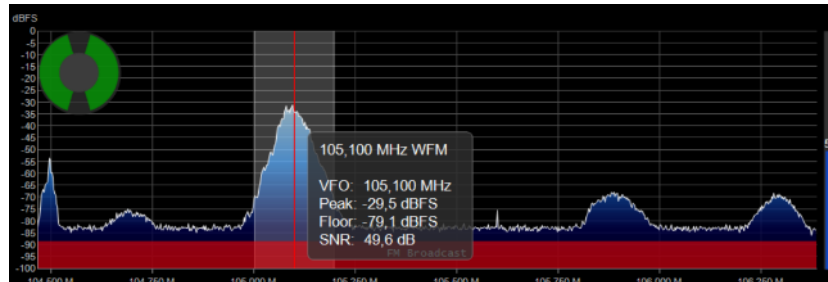
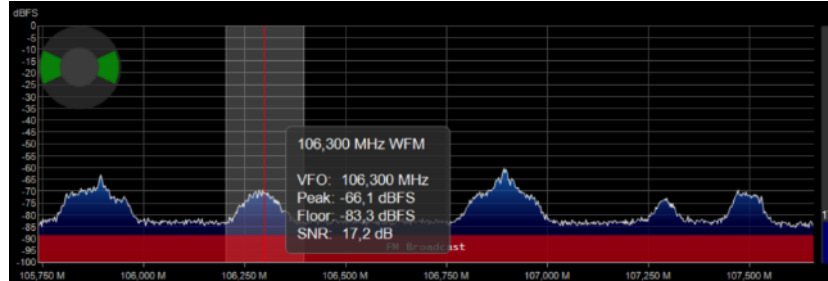
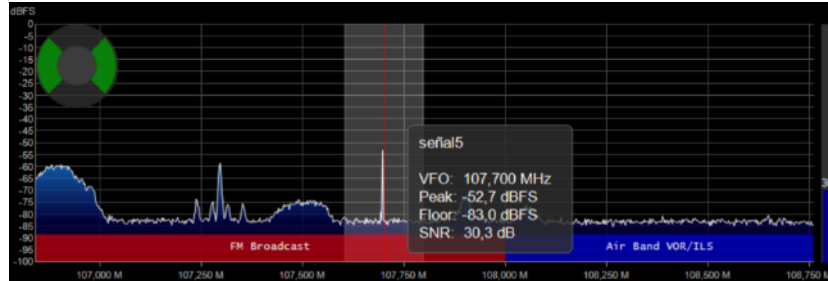
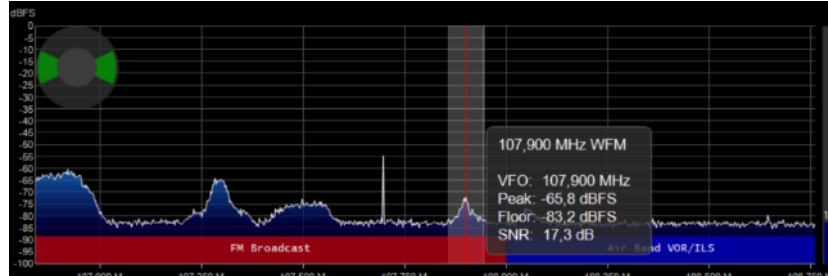


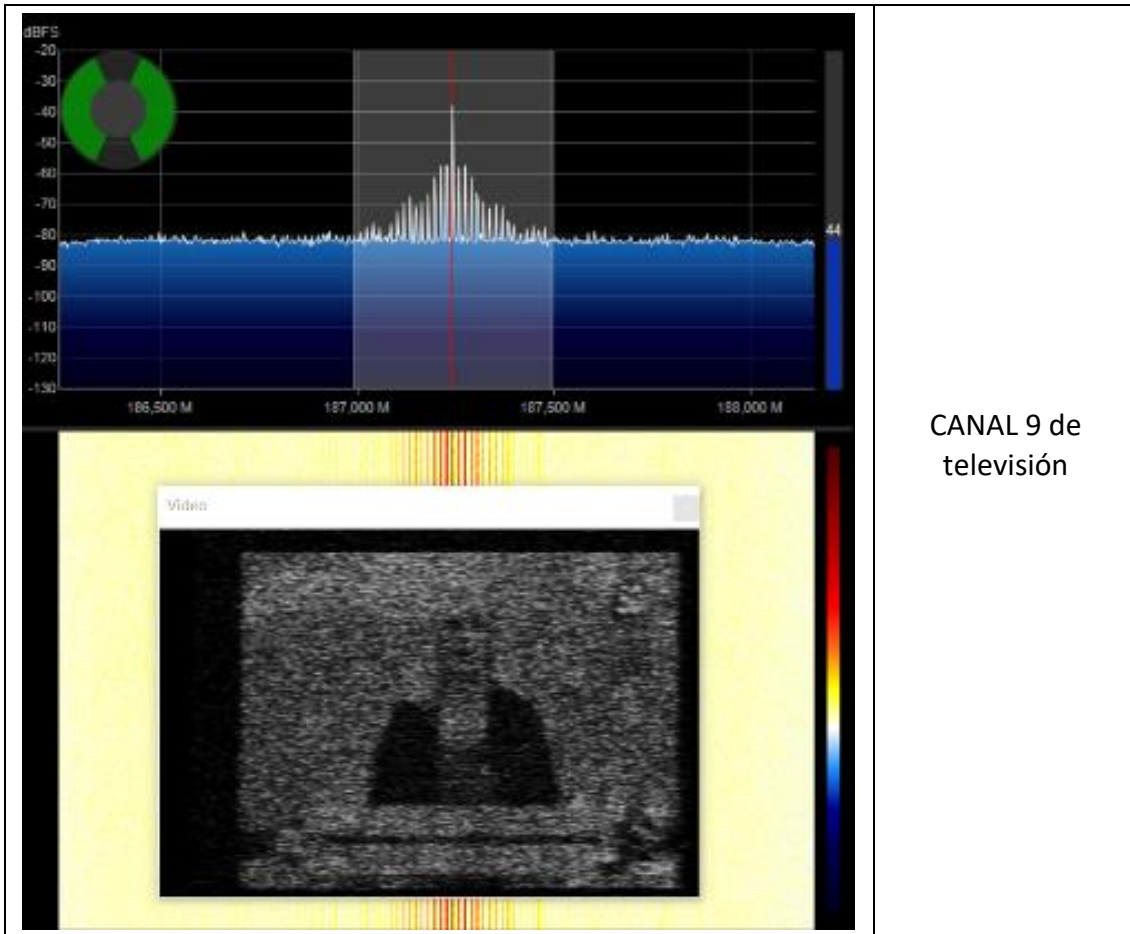
	<p>Pico: -64.5 dBFS Buena potencia</p>
	<p>Pico: -70.6 dBFS Baja potencia</p>
	<p>Pico: -99.9 dBFS Muy baja potencia</p>
	<p>Pico: -67.3 dBFS Baja potencia</p>
	<p>Pico: -58.7 dBFS Buena potencia</p>



	<p>Pico: -51.2 dBFS Buena potencia</p>
	<p>Pico: -44.7 dBFS Buena potencia</p>
	<p>Pico: -68.5 dBFS Baja potencia</p>
	<p>Pico: -50.6 dBFS Buena potencia Sin modulación</p>
	<p>Pico: -72.3 dBFS Baja potencia</p>



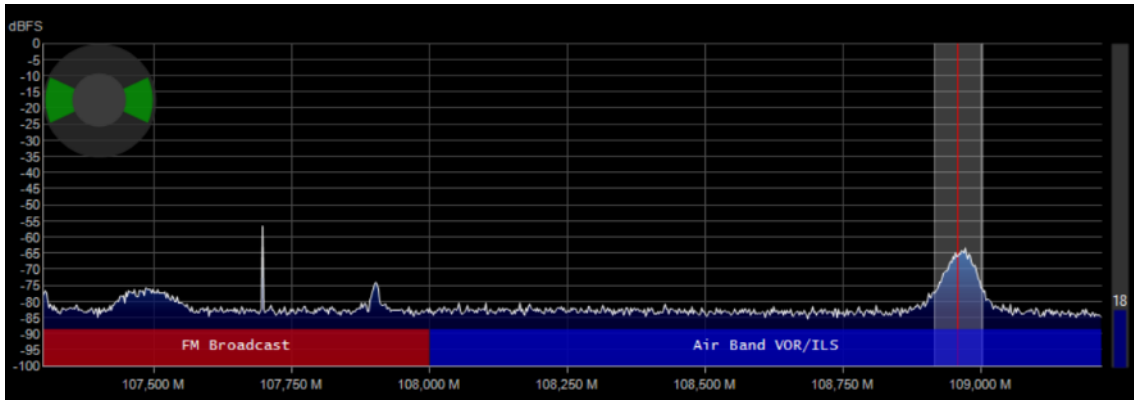
	<p>Pico: -29.5 dBFS</p> <p>Muy buena Potencia</p>
	<p>Pico: -66.1 dBFS</p> <p>Baja potencia</p>
	<p>Pico: -52.7 dBFS</p> <p>Buena potencia</p> <p>Sin modulación</p>
	<p>Pico: -65.8 dBFS</p> <p>Baja potencia</p>



Como particularidad se encontró una señal de audio siendo transmitida en la frecuencia 109.1 MHz (Figura) y al ser demodulada y escuchada se encontró que era la misma transmisión presente en la frecuencia 105.1 MHz. Se desconoce el origen de esta transmisión y su naturaleza, pudiendo deberse a productos de intermodulación o a una repetición siendo llevada a cabo por alguien fuera del espectro de FM comercial que, como se mencionó con anterioridad, llega hasta los 108 MHz.

**Figura 33**

*Repetición de señal presente en frecuencia 105.1 MHz*





### 4.5.3 Comparación SDR vs Analizador de Espectro

A continuación, presentamos la comparación entre los datos obtenidos de una misma señal tomada con el dispositivo SDR y con el analizador de espectro.

**Figura 34**

*Captura de pantalla portadora 88.3MHz*

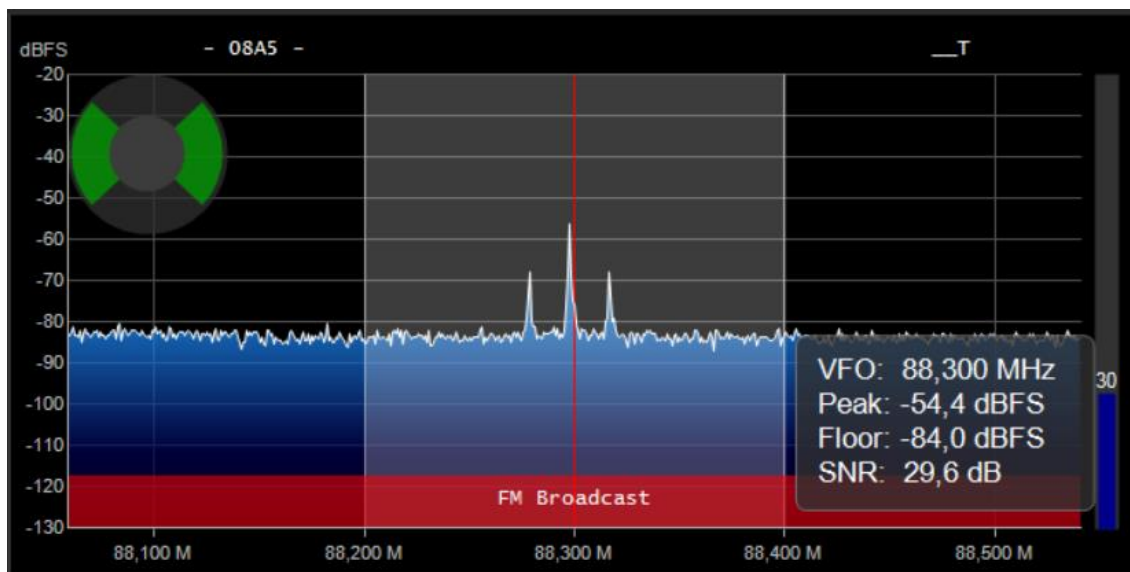
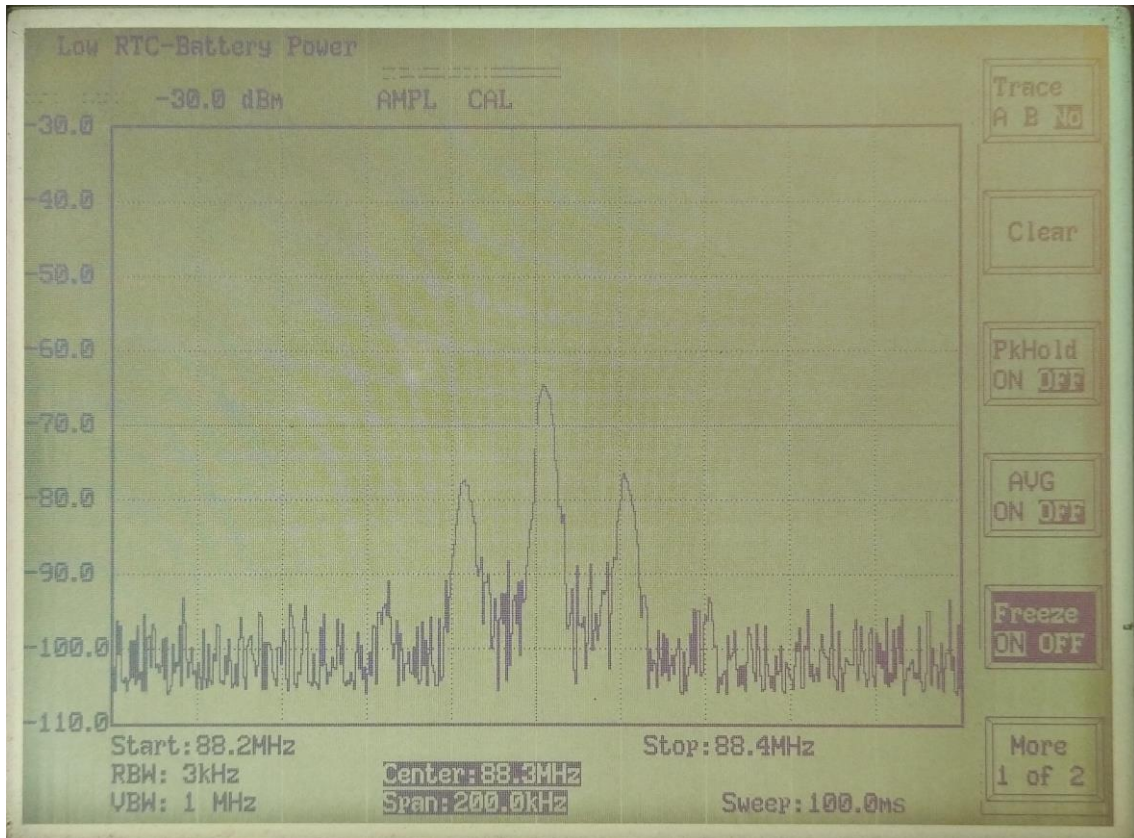




Figura 35

Medición con analizador de espectro portadora 88.3MHz





# Capítulo 5

## Aplicativo en Excel





## 5.1 Aplicativo en Excel

Para facilitar el análisis de las mediciones se decidió hacer uso de gráficos. De la discusión se determinó que un gráfico de burbujas era el adecuado. Como condición se impuso que debía ser representado sobre la región medida, de la forma más exacta posible y que el radio de las burbujas representen las magnitudes de las medidas realizadas.

Para la realización de este aplicativo se optó por la utilización del programa de ofimática Excel perteneciente al paquete Office de la empresa de software Microsoft. Este software es de alcance masivo y se cuenta con mucha documentación e información en línea a modo de soporte.

Como criterio se definió que cada burbuja debe ser de color distinto para las distintas locaciones, para su mejor apreciación y distinción.

Excel soporta por defecto la creación de gráficos de burbuja, pero solo muestra lo que la hoja de cálculo le pase como datos. De esa limitación surge que sería mejor poder tener cargados todos los datos y el usuario elegir cual dato mostrar, transformando el gráfico estático en un gráfico interactivo.

En primer lugar, se carga en una planilla los datos principales, los que surgieron del análisis hecho en este proyecto. Luego se elige la opción de gráfico de burbujas, a la cual se le inserta como fondo una imagen fija de la región medida (obtenida de Google maps) que grafica el mapa completo de la ciudad Capital de La Rioja, Argentina.

Para poder ubicar las burbujas en el mapa se procedió de la siguiente manera: cada punto de medición tiene una coordenada de GPS que fue introducida en Google maps para que mostrara el símbolo de ubicación. Luego se realizó la descarga de la imagen con dicho símbolo. En un programa de edición de imágenes (Gimp) se abre la imagen y simplemente se ubica el puntero



del mouse en el símbolo, para así obtener las coordenadas en pixeles, que son introducidas en una hoja de cálculos auxiliares para ser usadas en el grafico Excel y le dan la ubicación a cada burbuja. De esta manera se obtiene una localización equivalente en coordenadas X:Y en una imagen estática representativa de las coordenadas GPS de la geolocalización tomada.

Para crear el grafico se llena la planilla principal con las amplitudes de las potencias de cada frecuencia central medidas en cada ubicación. Luego en la planilla auxiliar a cada frecuencia se le asigna la coordenada en pixeles. En este punto empieza la codificación.

El programa fue escrito en Visual Basic para Aplicaciones (VBA), ya incluido en Excel pudiendo ser accesible incorporando las funciones de Programador desde las opciones del mismo programa. Cuando se ejecuta VBA se observa que ya tiene reconocidos los objetos de Excel, en este caso las dos planillas de cálculo. Para poder crear los elementos interactivos hace falta crear dentro del proyecto de VBA un formulario UserForm, haciendo click derecho en la ventana del proyecto debajo de la lista de objetos. Una vez hecho esto aparecen dos ventanas, una llamada toolbox, que contiene los controles disponibles al usuario para crear la forma, y otra que se llama UserForm1 que es donde se colocarán los controles deseados, que conformarán la Interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés) cuando se ejecute el programa. La forma que se presentará al usuario constará de los siguientes controles

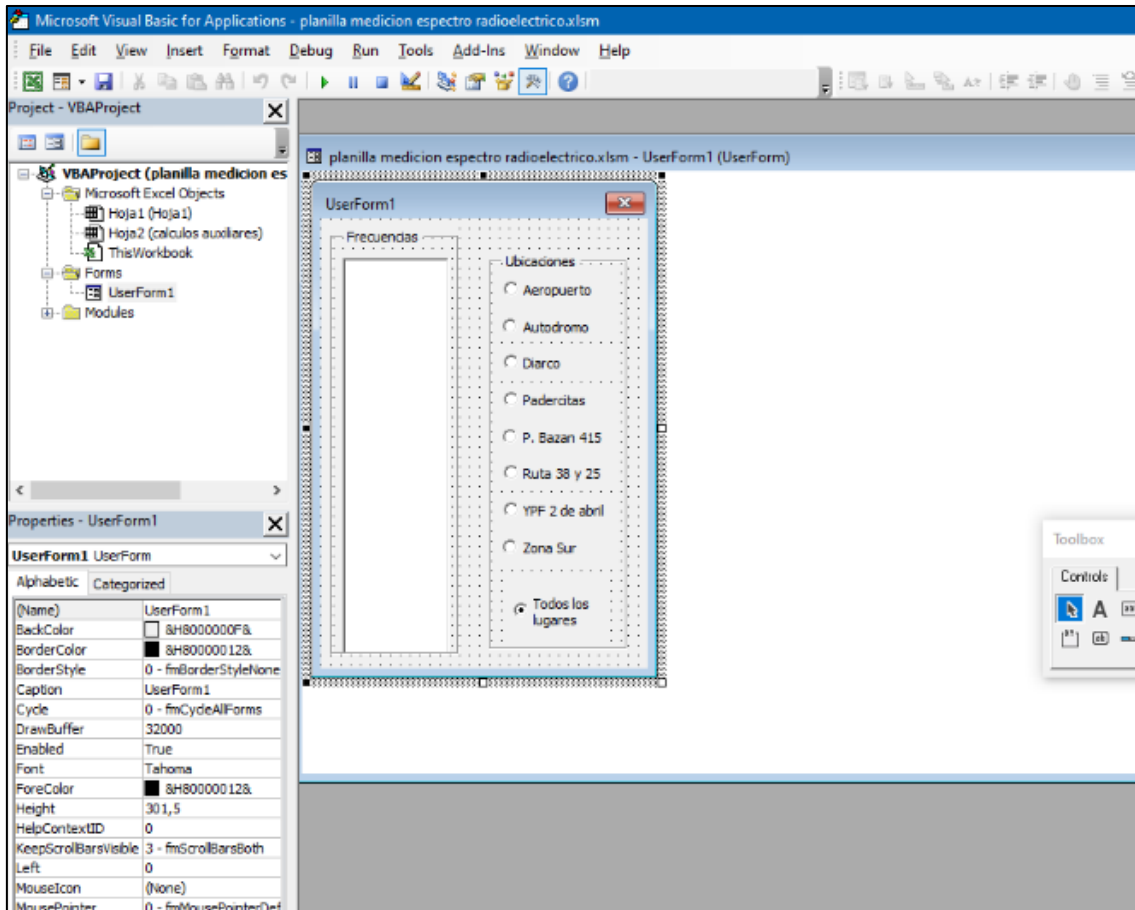
- Un espacio a modo de marco llamado Frecuencias.
- Una lista del tipo listbox que lleva todas las frecuencias centrales, estará incluido dentro del marco anterior.
- Un espacio a modo de marco llamado Ubicaciones.
- 8 botones seleccionables del tipo optionbutton con los nombres de cada ubicación medida y un optionbutton con el nombre “todos los lugares” para visualizar todas las



ubicaciones al mismo tiempo; todos ellos incluidos en el marco creado en el punto anterior.

Figura 36

Captura de pantalla mostrando las etapas iniciales de la creación de la aplicación



Cada parte de UserForm1 es un objeto (o subfunción) que puede, o no, tener eventos asignados. Los eventos son interacciones con algún periférico, como por ejemplo el mouse.

Se creó en la hoja de cálculo principal un control con la forma de un botón, llamado mostrar, cuya única función es invocar la ventana del UserForm1 para poder ser usada por el usuario. La ventana solo permitirá interactuar con las listas de las frecuencias y los botones de los lugares.

La forma de usar el programa es la siguiente:



1. Primero elegir una ubicación o “todos los lugares”.
2. Luego elegir la frecuencia central o “todas las frecuencias”

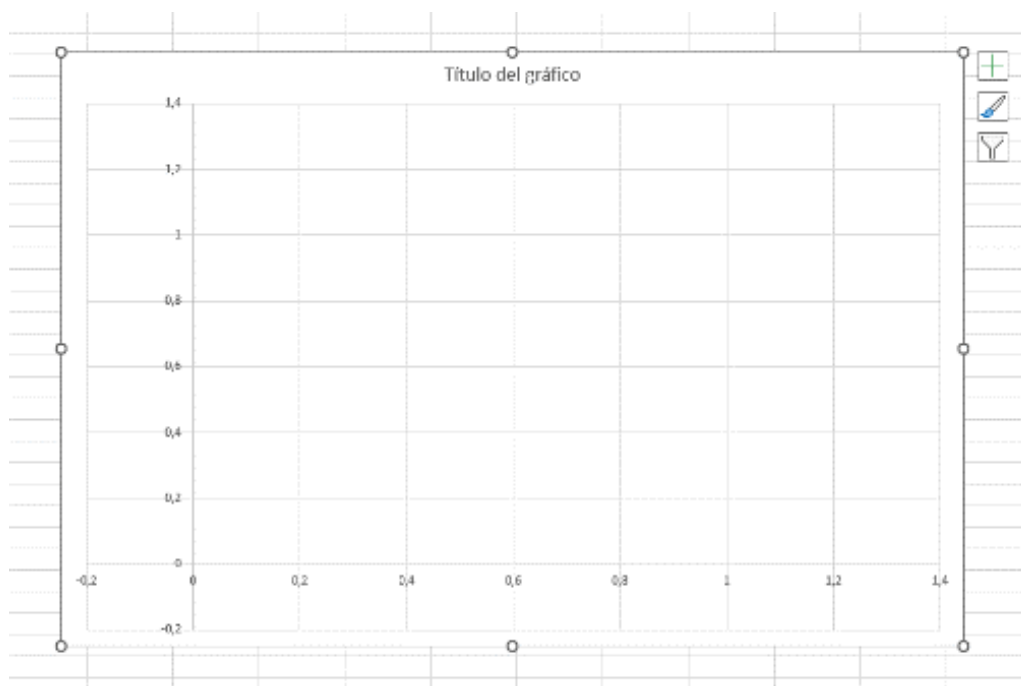
A medida que se vayan eligiendo las frecuencias las burbujas con una amplitud determinada y color único se irán posicionando en el mapa. Elegir primero las frecuencias y luego el lugar no muestra ninguna burbuja.

El código empieza con la subfunción inicial, que primero posiciona la ventana del UserForm1 en un lugar para que cuando la macro se ejecute no entorpezca al gráfico; también se dedica a borrar celdas específicas para el uso de cálculos posteriores y crear en la lista el ítem “TODAS” y los ítems con los valores de las frecuencias centrales, que son obtenidos directamente de la hoja de cálculo principal. Luego deselecciona el optionbutton 9, “todos los lugares”, lo que asegura mostrar un gráfico limpio en el inicio. Continúa con la creación del gráfico de burbujas, su posición en la planilla de cálculo, la carga de la imagen de fondo de la Capital de La Rioja y crea también una burbuja “invisible”, ya que los gráficos de burbujas comparan los tamaños de las burbujas entre sí para mostrarlas y de no haber ninguna, el tamaño de la primera burbuja sería incorrecto. Inicialmente un gráfico de burbujas predeterminado tendrá la siguiente apariencia, ver **Figura 37**.



Figura 37

Captura de pantalla mostrando como Excel crea por defecto un grafico



El código luego crea tantas series de datos como ubicaciones se midieron, asignando los valores x de la serie, que son las coordenadas horizontales en pixeles, los valores y de la serie, que son las coordenadas verticales en pixeles, y el tamaño de la burbuja que son las amplitudes calculadas a partir de los datos medidos que serán celdas (que por ahora están vacías) llenadas por el programa. seguidamente se edita el área del grafico para que no muestre ni la cuadrícula, ni los títulos o leyendas. Luego al área del grafico es agrandada para que coincida con la del recuadro que la contiene, quedando como se muestra en la **Figura 38**. Especial atención se puso en los ejes de la figura, los cuales, partiendo de 0 en cada eje, se les asignó como valores máximos los del tamaño total de la imagen del mapa (en pixeles), para así tener una relación 1:1 con las coordenadas obtenidas y que sean de orden inverso, ya que los gráficos Excel no usan la convención del origen de imágenes en la esquina superior derecha.



**Figura 38**

*Captura de pantalla mostrando el grafico con el mapa*



En ese punto el código espera a que un control con acción se active y como la manera correcta es que primero sea un objeto optionbutton se seguirá la codificación a partir de allí. Cada optionbutton genera una subfunción que llama a otra de nombre "tilde\_box". Esta subfunción solo se dedica a trabajar en la lista para que el usuario pueda elegir la/las frecuencias. Esto tiene que ser así ya que el control listbox mantiene su estado después de generar un evento, por lo que provoca la situación incómoda de tener que tildar y destildar alguna casilla dependiendo que se quiera mostrar. Cuando esta subfunción termina, el código queda en espera a que una acción se active, y en este caso debería ser una frecuencia central del control del listbox. Cuando eso ocurre se entra en la función asociada al control, que inicialmente pregunta si la opción "TODAS" esta activa, cuyo caso tilda automáticamente todas las casillas, y de no ser así recorre la lista para averiguar cuál casilla fue seleccionada (una o más de una). Seguidamente se averigua



qué botón de ubicación se eligió y se llama a la subfunción “cargar datos” con los argumentos correspondientes a la posición de la tabla principal (para obtener el valor de amplitud a usar) y a la de la hoja de cálculo auxiliar (para guardar el resultado) asignada a cada ubicación en particular. En esa subfunción inicialmente se borra la columna que se pasó como argumento y que se va a usar para los cálculos. Luego se recorre toda la lista para averiguar qué casilla se eligió y de encontrar alguna activa, lleva a cabo un cambio de escala con el valor que encuentre en la hoja de cálculo principal. Esto tiene que ser así ya que los valores de la hoja principal son negativos y el grafico de burbuja trabaja con valores positivos. El resultado se guarda en la casilla de la hoja “cálculos auxiliares” que se pasó como argumento. Luego pregunta si la opción “TODAS” se activó, si es afirmativo se borran todas las celdas del rango que guardan los datos auxiliares y se cargan en ellas los resultados del cambio de escala para ser mostrados todos a la vez. En este punto el programa termina y queda en espera a que algún control de acción se active.

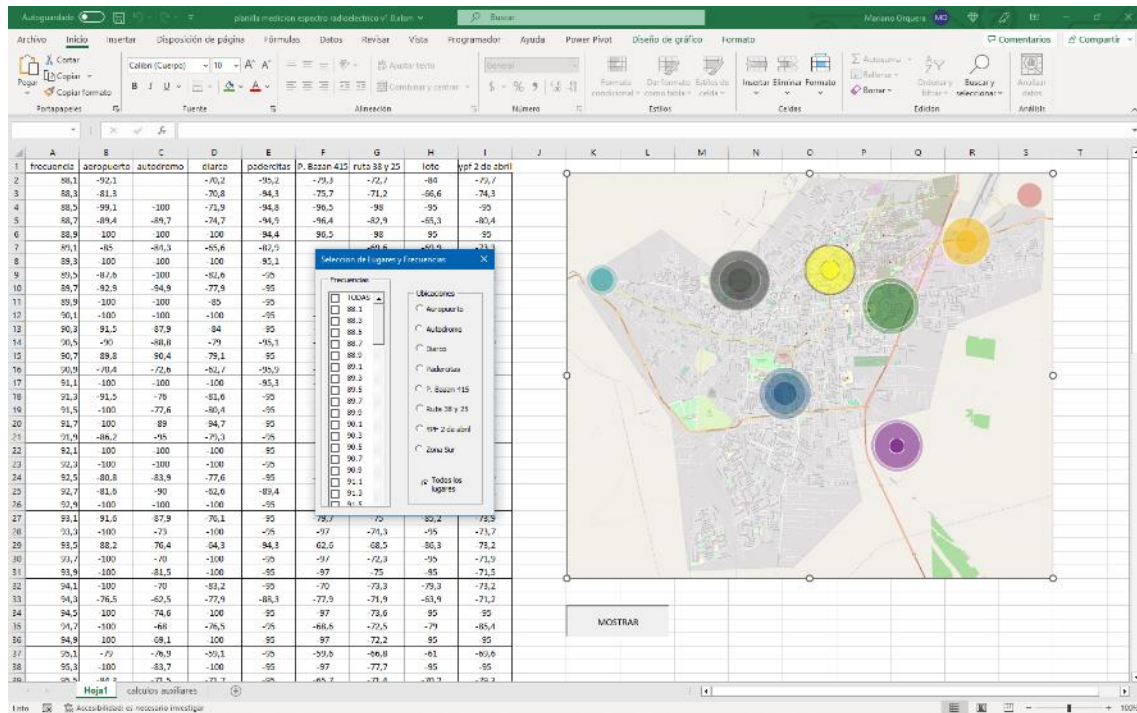
Debido a que los controles de acción pueden activarse indistintamente entre sí, es que se tomó la precaución de siempre preguntar si un elemento optionbutton está activo para luego borrar las celdas correspondientes a dicho optionbutton, razón por la cual es que en el código son tan recurrentes las líneas de borrado de celdas.

El archivo Excel que incluye el código y la imagen del área medida se adjuntan como copias digitales y son de libre uso y edición.



Figura 39

Captura de la aplicación funcionando







# Capítulo 6

## Conclusiones



En base al trabajo realizado sobre la “Ocupación del espectro radioeléctrico en la Ciudad Capital de La Provincia de La Rioja”, se concluye que es el espectro radioeléctrico está distribuido de manera equitativa, abarcando toda el área de la Ciudad Capital.

Cabe destacar, que para las emisoras FM, existen puntos que por sus características geográficas atenúan las señales de algunas emisoras. Por otro lado, la mayoría de las emisoras encontradas cumplen con las disposiciones y reglamentaciones de la ENACOM, en lo que respecta a su potencia y frecuencia.

Existen casos puntuales en el que algunas emisoras FM exceden su banda de frecuencia asignada, interfiriendo los canales adyacentes.

Por otra parte, se visualiza en una de las mediciones efectuadas un caso específico donde la emisora se reproduce en su frecuencia asignada y paralelamente en un canal más alto.

Se puede evidenciar que, en una locación geográfica, como es el aeropuerto “Capitán Vicente Almandos Almonacid” de la Ciudad Capital, ante la gran rigurosidad que exige las normativas que regulan el uso del espectro, no se presentan señales que alteren el correcto funcionamiento del equipamiento del aeropuerto.

Del análisis de televisión podemos decir que se encontró una única transmisión analógica y cumple a la perfección con las normativas de ENACOM.

Como conclusión podemos decir, que la gran mayoría de emisoras FM locales transmiten adecuadamente, cumpliendo lo establecido por ENACOM.

Para tv digital y telefonía celular solo se pudieron identificar los comienzos y finales de las bandas correspondientes, no pudiendo medir cada una de ellas.

Cómo se ha podido ver, mediante el uso del dispositivo SDR se pueden obtener resultados sumamente aceptables en un rango de frecuencias amplio, con un bajo monto de inversión y



contando con una gran comodidad ya que el dispositivo se puede utilizar con una computadora portátil sin la necesidad de una fuente de alimentación externa.

Si bien el espectro radioeléctrico es mucho más amplio de lo que se pudo abarcar en este trabajo de investigación, el rango de frecuencias que más análisis merece es el que tiene más impacto comercial y mayor implicancia en seguridad como son las bandas de FM que pudieran llegar a interferir con comunicaciones de aviación civil. Todas estas frecuencias fueron abarcadas en este trabajo.

Obviamente, lo que se concluye de este trabajo es solo una instantánea en el tiempo de lo que sucede con estas frecuencias, dado que estas transmisiones pueden o no estar presentes en distintos momentos del día, transmitiendo solo en ciertas bandas horarias como lo hacen las comunicaciones de radioaficionados que no fueron contempladas en este proyecto justamente por esa razón.

Tenemos conocimiento que a nivel país, en la provincia de Córdoba, más precisamente en la Universidad Nacional de Córdoba, existe el Laboratorio de Investigación Aplicada y Desarrollo (LIADE), que entre sus funciones y servicios realiza mediciones de densidad de potencia de radiación electromagnética en antenas de telefonía celular, emisoras de radio, entre otras cosas. El presente proyecto final también puede ser tenido en cuenta como el puntapié inicial de una iniciativa similar, en menor escala, del LIADE y si la Facultad Regional La Rioja desea continuar con este proyecto, realizando mejoras de instrumental y dedicando un espacio físico específico, se podría llegar a prestar un servicio equivalente a dicho laboratorio en lo concerniente a las mediciones del campo electromagnético para particulares interesados.

Lo que se pretendió conseguir con este trabajo con fines científicos es demostrar la manera en la cual pueden realizarse las mediciones planteadas para quien quiera conocer el estado de una



porción del espectro en un momento determinado y poder también ser visualizadas en un aplicativo como el aquí propuesto.



# Bibliografía



- (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_\(telecomunicaci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_(telecomunicaci%C3%B3n))
- (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n>
- (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_\(telecomunicaci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_(telecomunicaci%C3%B3n))
- Antenas. (s.f.). En V. L. Rodríguez, *Electromagnetismo II*.
- Areny, R. P. (s.f.). Introducción a los instrumentos de medida electrónicos. En *Instrumentos Electrónicos Básicos*. Marcombo.
- Balanis. (s.f.). En *Antenna Theory Analysis and Design*.
- Bolton, W. (s.f.). Capítulo 1 Medida y test. En *Mediciones y Pruebas Eléctricas y Electrónicas*. Marcombo.
- Electronics Notes*. (s.f.). Obtenido de <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/spectrum-analyzer/spectrum-analyser-overview.php>
- Jofre, C. y. (s.f.). En *Antenas*.
- Montijo, A. (s.f.). *EDN*. Obtenido de <https://www.edn.com/weigh-the-alternatives-for-spectral-analysis/>
- Oppenheim, A. (s.f.). Representación de Señales Periódicas En Serie de Fourier. En *Señales y Sistemas*.
- Sanchis, E. (s.f.). Líneas de transmisión. En *Fundamentos y electrónica de las comunicaciones*.
- Tomasi, W. (s.f.). Antenas y guía de ondas. En *Sistemas de comunicaciones Electrónicas - Cuarta edición*.
- Tomasi, W. (s.f.). Modulación y Demodulación. En *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*.
- Tomasi, W. (s.f.). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*.
- Tomasi, W. (s.f.). Transmisión por modulación angular. En *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*.
- Ulaby, F. (s.f.). Radiation and Antennas. En *Fundamentals of Applied Electromagnetics*. Pearson.
- William Cooper, A. H. (s.f.). Medición y error. En *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*. Prentice Hall.
- Wolfram Mathworld*. (s.f.). Obtenido de <https://mathworld.wolfram.com/FourierSeries.html>



# Apéndice



## A.1 Código aplicativo Excel

```
Option Explicit
Public eventos As Boolean
Dim bandera As Boolean
Dim bandera1 As Boolean

Private Sub OptionButton1_Click()

Call tilde_box

End Sub

Private Sub OptionButton2_Click()

Call tilde_box

End Sub

Private Sub OptionButton3_Click()

Call tilde_box

End Sub

Private Sub OptionButton4_Click()

Call tilde_box

End Sub

Private Sub OptionButton5_Click()

Call tilde_box

End Sub
```





```
Private Sub OptionButton6_Click()
```

```
Call tilde_box
```

```
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton7_Click()
```

```
Call tilde_box
```

```
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton8_Click()
```

```
Call tilde_box
```

```
End Sub
```

```
Private Sub OptionButton9_Click()
```

```
Call tilde_box
```

```
bandera = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ListBox1_Change()
```

```
Dim r As Integer
```

```
Dim g As Integer
```

```
Dim i As Integer
```

```
If eventos = True Then Exit Sub
```

```
If Me.ListBox1.Selected(0) Then
```

```
    eventos = True
```

```
    bandera1 = True
```



```
    For i = 0 To ListBox1.ListCount - 1
        ListBox1.Selected(i) = True
    Next i
End If

eventos = False

If eventos = True Then Exit Sub

If Me.ListBox1.Selected(0) = False And bandera1 = True Then
    bandera1 = False
    eventos = True
    For i = 0 To ListBox1.ListCount - 1
        ListBox1.Selected(i) = False
    Next i
End If

eventos = False

Select Case True
    Case OptionButton1.Value
        Call cargar_datos("b", "r")
    Case OptionButton2.Value
        Call cargar_datos("c", "s")
    Case OptionButton3.Value
        Call cargar_datos("d", "t")
    Case OptionButton4.Value
        Call cargar_datos("e", "u")
    Case OptionButton5.Value
        Call cargar_datos("f", "v")
    Case OptionButton6.Value
        Call cargar_datos("g", "w")
    Case OptionButton7.Value
        Call cargar_datos("h", "x")
    Case OptionButton8.Value
        Call cargar_datos("i", "y")
End Select
```



```
If OptionButton9.Value = True Then
Worksheets("calculos auxiliares").Range("r1:y101").ClearContents

    For r = 1 To ListBox1.ListCount - 1
        If ListBox1.Selected(r) = True Then
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("r" & r + 1).Value = 100 -
Abs(Sheets("hoja1").Range("b" & r + 1))
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("s" & r + 1).Value = 100 -
Abs(Sheets("hoja1").Range("c" & r + 1))
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("t" & r + 1).Value = 100 -
Abs(Sheets("hoja1").Range("d" & r + 1))
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("u" & r + 1).Value = 100 -
Abs(Sheets("hoja1").Range("e" & r + 1))
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("v" & r + 1).Value = 100 -
Abs(Sheets("hoja1").Range("f" & r + 1))
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("w" & r + 1).Value = 100 -
Abs(Sheets("hoja1").Range("g" & r + 1))
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("x" & r + 1).Value = 100 -
Abs(Sheets("hoja1").Range("h" & r + 1))
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("y" & r + 1).Value = 100 -
Abs(Sheets("hoja1").Range("i" & r + 1))
        Else
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("r" & r + 1).Value = ""
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("s" & r + 1).Value = ""
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("t" & r + 1).Value = ""
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("u" & r + 1).Value = ""
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("v" & r + 1).Value = ""
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("w" & r + 1).Value = ""
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("x" & r + 1).Value = ""
            Worksheets("calculos auxiliares").Range("y" & r + 1).Value = ""
        End If
    Next r
End If
Application.ScreenUpdating = True
End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()

Dim i As Integer
Dim c As Chart
```



```
Sheets("hoja1").Activate

Application.ScreenUpdating = False

Me.ListBox1.ColumnWidths = 1

ActiveSheet.Cells(34, 15).Select
ActiveSheet.Buttons("boton").Top = Range("k34").Top

With UserForm1
    .StartupPosition = 0
    .Top = Application.Top + 275
    .Left = Application.Left + 340
End With

Worksheets("calculos auxiliares").Range("r1:y101").ClearContents
ListBox1.AddItem "TODAS"
For i = 2 To
Application.WorksheetFunction.CountA(Hoja1.Range(Worksheets("hoja1").Range("a1
"), Worksheets("hoja1").Range("a1").End(xlDown)))
    ListBox1.AddItem Round(Hoja1.Cells(i, 1).Value, 2)
Next i
OptionButton9.Value = False

On Error Resume Next
Worksheets("hoja1").ChartObjects.Delete

Worksheets("hoja1").Shapes.AddChart2(XlChartType:=xlBubble).Chart
Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Activate

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1)
    .Top = Range("k2").Top
    .Left = Range("k2").Left
    .Width = Range("b1:j30").Width
    .Height = Range("b1:j30").Height
End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.ChartArea.Fill
```



```
.UserPicture PictureFile:=ThisWorkbook.Path & "\La Rioja Capital_1.png"
.Visible = True
End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries
.Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
.Format.Fill.Transparency = 1
.XValues = 4000
.Values = 4000
.BubbleSizes = 200
End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries
.XValues = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("a2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("a2").End(xlDown))
.Values = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("b2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("b2").End(xlDown))
.BubbleSizes = "'calculos auxiliares'!r2c18:r101c18"
End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries
.XValues = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("c2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("c2").End(xlDown))
.Values = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("d2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("d2").End(xlDown))
.BubbleSizes = "'calculos auxiliares'!r2c19:r101c19"
End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries
.XValues = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("e2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("e2").End(xlDown))
.Values = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("f2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("f2").End(xlDown))
.BubbleSizes = "'calculos auxiliares'!r2c20:r101c20"
End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries
.XValues = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("g2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("g2").End(xlDown))
```



```
.Values = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("h2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("h2").End(xlDown))

.BubbleSizes = "'calculos auxiliares'!r2c21:r101c21"

End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries

.XValues = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("i2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("i2").End(xlDown))

.Values = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("j2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("j2").End(xlDown))

.BubbleSizes = "'calculos auxiliares'!r2c22:r101c22"

End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries

.XValues = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("k2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("k2").End(xlDown))

.Values = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("L2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("L2").End(xlDown))

.BubbleSizes = "'calculos auxiliares'!r2c23:r101c23"

End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries

.XValues = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("m2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("m2").End(xlDown))

.Values = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("n2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("n2").End(xlDown))

.BubbleSizes = "'calculos auxiliares'!r2c24:r101c24"

End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart.SeriesCollection.NewSeries

.XValues = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("o2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("o2").End(xlDown))

.Values = Worksheets("calculos auxiliares").Range(Worksheets("calculos
auxiliares").Range("p2"), Worksheets("calculos
auxiliares").Range("p2").End(xlDown))

.BubbleSizes = "'calculos auxiliares'!r2c25:r101c25"

End With

With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart

.HasTitle = False

.Axes(xlCategory).MinimumScale = 0

.Axes(xlCategory).MaximumScale = 3500
```



```
.Axes(xlCategory, xlPrimary).Border.LineStyle = xlNone
.Axes(xlCategory, xlPrimary).MajorTickMark = xlNone
.Axes(xlCategory, xlPrimary).MinorTickMark = xlNone
.Axes(xlCategory, xlPrimary).TickLabelPosition = xlNone
.Axes(xlCategory).MajorGridlines.Delete
.Axes(xlCategory).MinorGridlines.Delete
.Axes(xlValue).MinimumScale = 0
.Axes(xlValue).MaximumScale = 3000
.Axes(xlValue, xlPrimary).Border.LineStyle = xlNone
.Axes(xlValue, xlPrimary).MajorTickMark = xlNone
.Axes(xlValue, xlPrimary).MinorTickMark = xlNone
.Axes(xlValue, xlPrimary).TickLabelPosition = xlNone
.Axes(xlValue).ReversePlotOrder = True
.Axes(xlValue).MajorGridlines.Delete
.Axes(xlValue).MinorGridlines.Delete
.PlotArea.Top = -Range("k2").Top
.PlotArea.Left = -Range("k2").Left
.PlotArea.Width = Range("b1:j30").Width
.PlotArea.Height = Range("b1:j30").Height
.ChartGroups(1).BubbleScale = 200
```

End With

```
ActiveChart.SeriesCollection(2).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(180, 0, 0)
ActiveChart.SeriesCollection(3).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(50, 50, 50)
ActiveChart.SeriesCollection(4).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(0, 100, 0)
ActiveChart.SeriesCollection(5).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(70, 170, 170)
ActiveChart.SeriesCollection(6).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 255, 0)
ActiveChart.SeriesCollection(7).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(100, 0, 120)
ActiveChart.SeriesCollection(8).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(10, 70, 120)
ActiveChart.SeriesCollection(9).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(250, 190, 10)
```

```
For i = 2 To ActiveChart.SeriesCollection.Count
```

```
    With Worksheets("hoja1").ChartObjects(1).Chart
```

```
        With .SeriesCollection(i).Format
```

```
            With .Line
```

```
                .Visible = True
```

```
                .Weight = 0.75
```

```
            If i = 6 Then
```



```
        .ForeColor.RGB = RGB(100, 100, 100)
    Else
        .ForeColor.RGB = RGB(250, 250, 250)
    End If
End With
.Fill.Transparency = 0.7
End With
End With
Next i

End Sub

Sub cargar_datos(origen As String, destino As String)

Dim r As Integer
Dim numero_columna As Long
Dim letra_columna As String

letra_columna = destino
numero_columna = Range(letra_columna & 1).Column

Application.ScreenUpdating = False

Sheets("calculos auxiliares").Activate

For r = 1 To ListBox1.ListCount - 1
    If ListBox1.Selected(r) = True Then
        Worksheets("calculos auxiliares").Range(destino & r + 1).Value = 100 -
Abs(Worksheets("hoja1").Range(origen & r + 1))
    Else
        Worksheets("calculos auxiliares").Range(destino & r + 1).Value = ""
    End If
Next r

Sheets("hoja1").Activate

End Sub
```





```
Sub tilde_box()  
Dim g As Integer  
  
If eventos = True Then Exit Sub  
    For g = 0 To ListBox1.ListCount - 1  
        If ListBox1.Selected(g) = True Then  
            ListBox1.Selected(g) = False  
        End If  
        eventos = True  
    Next g  
eventos = False  
  
End Sub
```



## A.2 Fotos







