

Tecnologías Inalámbricas - Laboratorio 02 - Analizador Espectral

C. Lorca, F. Lorca, J. Cuitiño

Resumen—El laboratorio se centra en el uso del Analizador de Espectros para analizar señales de radio FM y TV (VHF y UHF). Se realizan mediciones de potencia, frecuencia y ancho de banda de emisoras de radio FM, junto con el cálculo de la relación señal-ruido. También se investigan las asignaciones de frecuencia y canales para la migración de TV digital en Chile y se analizan espectros de canales de televisión analógica (VHF) que se migrarán a TV digital (UHF).

I. INTRODUCCIÓN

Esta experiencia se enfoca en la utilización del *Analizador de Espectros*, un instrumento esencial para analizar señales de radio y televisión. Los objetivos principales incluyen comprender su funcionamiento, identificar sus componentes, y aplicar estas habilidades para detectar señales de radio FM y TV (VHF y UHF).

El experimento a realizar contempla mediciones de potencia en decibelios (dBm), frecuencias y anchos de banda de estaciones de radio FM. Posteriormente, estas mediciones se convertirán a dBuV, y se calculará la relación señal-ruido (SNR). Este análisis permitirá comprender mejor las características de las señales de radio FM y demostrará cómo el Analizador de Espectros facilita la medición y caracterización de estas señales.

Seguidamente, se investigarán las asignaciones de frecuencia y canales para la migración de la televisión digital en Chile. Esto resaltará la importancia de asignar las frecuencias de operación en la banda UHF de manera adecuada.

Por último, se seleccionará un canal de televisión analógica (VHF) que se cambiará a la televisión digital (UHF), y se analizará su espectro en ambas bandas. Este ejercicio ilustrará cómo el Analizador de Espectros puede utilizarse para verificar y analizar las señales de televisión en diferentes bandas.

II. CONFIGURACIÓN DE LA MEDICIÓN

Para lograr una detección precisa de las señales en cada uno de los casos, es necesario realizar la configuración adecuada del analizador de espectros siguiendo los siguientes pasos:

■ Señales de Radio FM.

Las configuraciones indicadas a continuación se realizan para cada una de las frecuencias de radio analizadas:

1. Se selecciona la frecuencia central de la radio.
2. Se configura el SPAN a 500 KHz.
3. Se configura el modo traza (trace mode) en el valor *Max Hold*.
4. Se colocan marcadores en la frecuencia central, y las frecuencias 0 (los nulos de la señal). En total son tres marcadores (M1, M2 y M3).

■ Señales de TV (VHF y UHF).

Las configuraciones indicadas a continuación se aplican para cada uno de los canales de televisión analizados en las bandas VHF y UHF:

1. Se selecciona la frecuencia central del canal de televisión.
2. Se ajusta el SPAN a 500 KHz, para observar de mejor manera la señal obtenida.
3. Se configura el modo de traza (trace mode) en el valor *Max Hold*.
4. Se colocan marcadores en la frecuencia central del canal y en otros puntos de interés según los parámetros de la señal a analizar. En el caso de la banda de frecuencias VHF se ubican cuatro, dos que representan los límites del rango de frecuencias, y dos que representan las frecuencias de audio y video. Por otro lado, para el caso de la banda de UHF, se ubican los rangos de frecuencia y los picos de la señal. En total son cuatro marcadores en cada caso (M1, M2, M3 y M4).

III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Las portadoras de estaciones de radio FM, televisión VHF y televisión UHF se componen de señales moduladas que se transmiten en bandas de frecuencia específicas. Para una estación de radio FM, esta se encuentra en un rango de frecuencia de 88 a 108 MHz. La señal de audio, que incluye música y voz, modula la frecuencia de la portadora, lo que significa que cuando el volumen del audio es alto, la frecuencia de la portadora se incrementa, y cuando el volumen del audio es bajo, la frecuencia de la portadora disminuye. Esto crea variaciones en la frecuencia de la portadora que reflejan la información de audio original, y estas ondas electromagnéticas son emitidas por la antena de la estación de radio FM y recibidas por antenas receptoras.

En el caso de las estaciones de televisión VHF y UHF, transmiten señales de televisión en diferentes bandas de frecuencia. La televisión VHF opera en un rango de 54 a 216 MHz, mientras que la televisión UHF utiliza un rango de 470 a 890 MHz. Estas señales de televisión pueden ser analógicas o digitales. La señal de video y audio se combina y modula en la portadora utilizando técnicas de modulación AM o FM para televisión analógica, o modulación QAM para televisión digital. Estas modulaciones crean variaciones en la amplitud, frecuencia o fase de la portadora, que representan la información visual y auditiva. Las ondas electromagnéticas emitidas por las antenas de las estaciones de televisión VHF y UHF se encuentran en

sus respectivos rangos de frecuencia y son recibidas por las antenas de los televisores.

A continuación, se describen cada uno de los campos de interés para las mediciones FM.

- **Frecuencia:** La frecuencia de la onda portadora empleada en la transmisión de señales de radio en el espectro de la radiofrecuencia modulada (FM).
- **Nombre Emisora:** Nombre de la estación de radio.
- **Potencia (dBm):** Medida de la potencia de la señal en decibelios en relación con un miliwatio (1 mW).
- **Potencia (dBuV):** Medida de la potencia de la señal en decibelios en relación con un microvoltio (1 μ V).
- **Ancho de banda (BW):** Extensión de frecuencias que una señal o una estación de radio ocupan en el espectro de radiofrecuencia. En el caso de una estación de radio FM, esta se emite desde una frecuencia central y se expande por un conjunto de frecuencias cercanas a esa frecuencia central. El ancho de banda se calcula desde la frecuencia más baja en la que la señal se vuelve notablemente audible hasta la frecuencia más alta en la que todavía es detectable.
- **Relación señal-ruido (SNR):** Relación entre la potencia de la señal de la estación de radio (la señal deseada) y la potencia del ruido presente en esa misma frecuencia. Una SNR alta indica que la señal de la emisora es clara y fuerte en comparación con el ruido, lo que generalmente se traduce en una mejor calidad de audio. Por otro lado, una SNR baja significa que la señal de la emisora es débil en relación al ruido, lo que puede resultar en una calidad de audio deficiente o en interferencias.

En esta oportunidad, se escogen ocho emisoras de frecuencia distintas: 88.1 MHz, 91.7 MHz, 92.5 MHz, 95.3 MHz, 99.3 MHz, 99.7 MHz, 100.1 MHz, 101.3 MHz.

Una vez realizadas las mediciones, siguiendo los pasos mencionados en II, se calcula cada uno de los parámetros descritos. Se conoce la *Frecuencia*, el *Nombre de la emisora*, y la *Potencia en dBm* (la entrega directamente el analizador de espectros), por lo que es necesario conocer las fórmulas para el cálculo de la potencia en dBuV, el ancho de banda (BW), y la relación señal-ruido (SNR) con los parámetros presentes.

- **Potencia (dBuV):** Se calcula a partir de la potencia conocida en dBm (107 corresponde al factor de conversión que proviene de la relación entre dBm y dBuV en función de la impedancia de referencia).

$$Potencia(dBuV) = 10 * (Potencia(dBm) + 107)$$

- **Ancho de banda (BW):** Se calcula como la diferencia entre los marcadores 2 y 3 (M2 y M3). Corresponden a los bordes donde es posible visualizar señal audible.

$$BW = M2 - M3[Hz]$$

- **Relación señal-ruido (SNR):** Se calcula como la diferencia entre la potencia del marcador 1 (M1), y el promedio entre las potencias de los marcadores 2

y 3 (M2 y M3). Esto considerando que las potencias están en dB, por lo que se debe hacer la conversión correspondiente de dBm a dB, transformando dBm a mW y de W a dB.

$$Potencia(W) = 10^{\frac{Potencia(dBm)}{10}} * 10^{-3}$$

$$Potencia(dB) = 10 * \log_{10}\left(\frac{Potencia(W)}{1(W)}\right)$$

$$SNR = P(M1) - \left(\frac{P(M2)+P(M3)}{2}\right)[Hz]$$

Por otro lado, para las mediciones correspondientes al espectro de TV digital, se escoge el canal 7, el cual tiene el siguiente rango de frecuencias en la banda VHF que opera en Chile, según el Decreto 71 [2].

Canal	Frecuencias límites (MHz)	Frecuencia portadora (video) (MHz)	Frecuencia portadora (audio) (MHz)
7	174 - 180	175.25	175.75

El canal equivalente en el espectro UHF, es el 33, el cual ocupa las siguientes frecuencias según el Decreto 167 [3].

Canal	Banda de frecuencias (MHz)	Frecuencia de la portadora central (MHz)
33	584 - 590	587 + 1/7

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Seguidamente, se ilustran las mediciones realizadas en las distintas bandas del espectro de radiofrecuencias (Radios FM) escogidas.

- Frecuencia 88.1 MHz

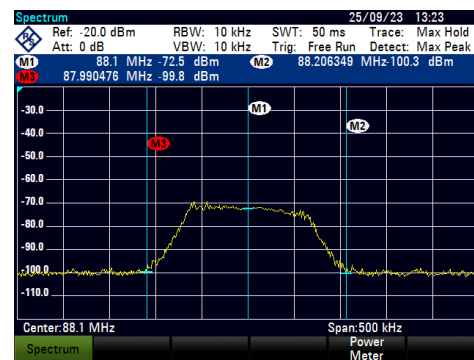


Figura 1. Frecuencia 88.1 MHz

- Frecuencia 91.7 MHz

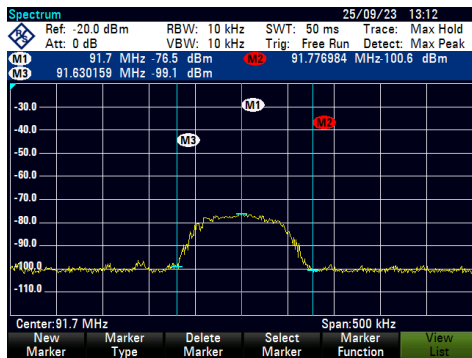


Figura 2. Frecuencia 91.7 MHz



Figura 5. Frecuencia 99.3 MHz

- Frecuencia 92.5 MHz

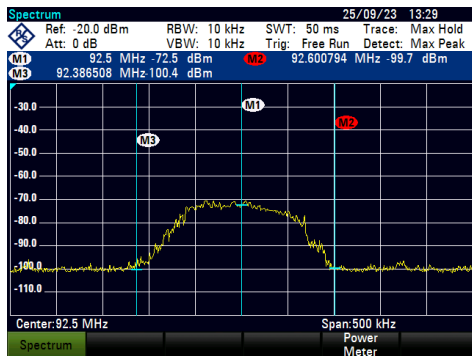


Figura 3. Frecuencia 92.5 MHz

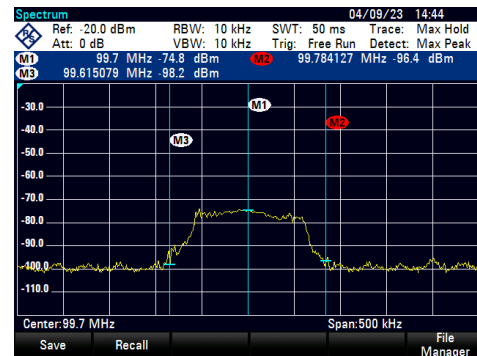


Figura 6. Frecuencia 99.7 MHz

- Frecuencia 95.3 MHz



Figura 4. Frecuencia 95.3 MHz



Figura 7. Frecuencia 100.1 MHz

- Frecuencia 99.3 MHz

- Frecuencia 101.3 MHz

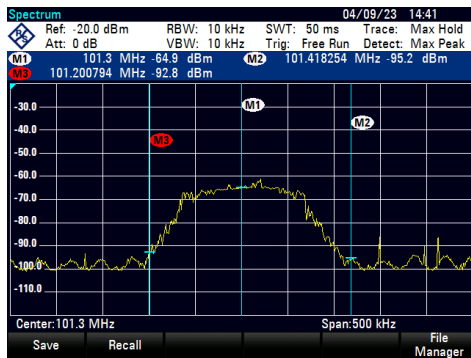


Figura 8. Frecuencia 101.3 MHz

A continuación, se detallan los resultados de cada uno de los parámetros de interés, calculados a partir de las fórmulas expuestas en el ítem anterior.

Cuadro I
RESULTADOS (I)

	F1	F2	F3	F4
f (MHz)	88.1	91.7	92.5	95.3
Nombre Emisora	Imagina	ADN	Activa	Candela
Potencia (dBm)	-72.5	-76.5	-72.5	-73.1
Potencia (dBuV)	345	305	345	339
BW (Hz)	0.216×10^6	0.147×10^6	0.214×10^6	0.183×10^6
SNR (dB)	27.55	23.35	27.55	25.8

Cuadro II
RESULTADOS (II)

	F5	F6	F7	F8
f (MHz)	99.3	99.7	100.1	101.3
Nombre Emisora	Carolina	Bío-Bío	Infinita	Corazón
Potencia (dBm)	-54.2	-74.8	-68.9	-64.9
Potencia (dBuV)	528	322	381	421
BW (Hz)	0.294×10^6	0.169×10^6	0.202×10^6	0.217×10^6
SNR (dB)	42.25	22.5	26.65	29.2

IV-A. Análisis de resultados FM.

En general, los datos recopilados sugieren que la señal de radio FM en las frecuencias medidas es de alta calidad. Todas poseen una potencia en dBuV significativa, lo que asegura que la señal transmitida posee una potencia eléctrica relativamente fuerte en términos de microvoltios, proporcionando reducción de pérdidas y teniendo como resultado una señal menos susceptible a interferencias. Asimismo, disponen de una SNR positiva, lo que quiere decir que la señal de radio es clara, y tiene buena capacidad de recepción. En cuanto al ancho de banda, en todos los casos es adecuado para la transmisión de audio de calidad, dado que la radiodifusión FM utiliza un ancho de banda de aproximadamente 200 kHz. Por último, en relación a la potencia en dBm, es baja en comparación con 1 mW, sin embargo, esto es típico para señales de radio FM, ya que se miden en dBm negativos debido a su baja potencia.

A continuación, se ilustran las imágenes extraídas del analizador de espectros para los canales de TV, canales 7 y 33 (VHF y UHF).

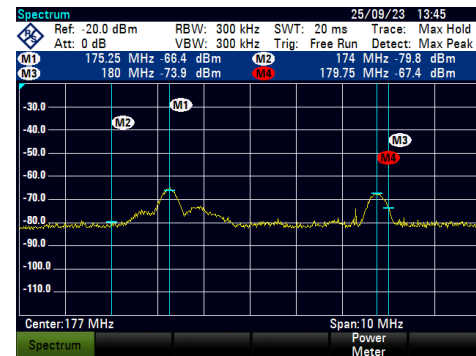


Figura 9. Canal 7 VHF.

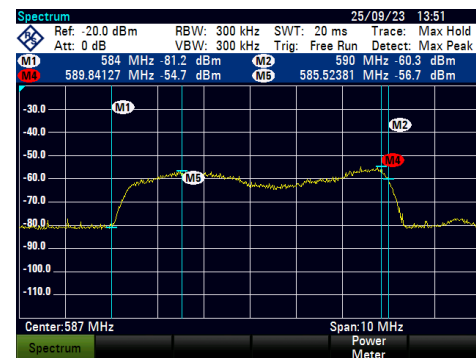


Figura 10. Canal 33 UHF.

IV-B. Análisis de resultados TV

Para analizar los resultados obtenidos, se debe comprender en primera instancia el proceso al que se somete la transición de televisión digital en Chile (que es común para la mayoría de países latinoamericanos). Para fines de este documento, nos enfocaremos solo en el proceso de transición, dejando de lado la recepción.

1. Captura y codificación de la señal de vídeo y audio:

Las señales tanto de video como de audio se capturan de la fuente, en lugares como estudios de grabación y cámaras de grabación. Estas señales se digitalizan y comprimen utilizando distintos estándares de compresión (como MPEG-2, MPEG-4 ó H.264).

2. Multiplexación:

Los datos de video, audio y otros componentes necesarios se multiplexan juntos para formar un único flujo de datos digital. Esto permite que la señal de televisión digital pueda transportar múltiples canales de audio, subtítulos y otros datos relacionados.

3. Modulación:

En Chile, al igual que en otros lugares, se utiliza un sistema de modulación específico para las transmisiones de televisión digital terrestre (DTT). El estándar utilizado en Chile es DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), que es un estándar de modulación europeo.

4. **Transmisión:** La señal digital modulada se transmite a través del aire utilizando antenas de transmisión en torres o estructuras elevadas, al igual que en otros países. La señal se emite en forma de paquetes de datos que viajan a través del espectro electromagnético.

Es precisamente en el punto 4 que nos enfocaremos para este análisis, pues es en este proceso el que contempla la transmisión de los datos desde la fuente de transmisión a los receptores en sus hogares, o en donde se desea sintonizar la señal en cuestión.

Como se menciono anteriormente, la señal es multiplexada, de forma de poder convertir estos datos en un flujo apto para la transmisión. Cada canal tiene su frecuencia de transmisión específica, regulada por la SUBTEL [4].

Canal 7 (VHF)

Como se aprecia en la figura 9, la señal analógica es modulada en una portadora de radiofrecuencia en la banda de VHF. En este caso, se utiliza el estándar de modulación de amplitud (AM) o modulación en frecuencia (FM), dependiendo del canal específico. Cada canal de televisión en VHF se encuentra asignado a una frecuencia específica (en el caso del canal 7, 172.25 MHz).

Al observar en el analizador de espectros, se pueden observar dos picos claros. Uno de estos picos representará la frecuencia portadora modulada con la información de video y audio. El segundo pico, o pico lateral, es una componente que representa generalmente la portadora del sonido. En la televisión analógica, la señal de audio está modulada en una subportadora dentro de la señal principal. Esta subportadora es una frecuencia que se encuentra cerca de la portadora principal de video. La modulación de frecuencia (FM) es una técnica común para la transmisión de la señal de audio en la televisión analógica.

Por lo tanto, los dos picos separados en el gráfico de espectro corresponden al pico principal, que lleva la información combinada de video y audio, y al pico lateral que representa la subportadora modulada para el sonido. Ambos componentes son necesarios para que un televisor analógico pueda mostrar correctamente la imagen y el sonido.

Importante: Es importante señalar que en Chile, la transmisión analógica se ha ido discontinuando en favor de la transición digital. Precisamente en 2019 comenzó este proceso.

CANAL 33 - UHF

El canal 33 de televisión digital en la banda de ultra alta frecuencia (UHF) es una frecuencia asignada a una estación de televisión específica para transmitir su señal digital, en el caso chileno, al canal TVN. La señal de televisión digital en el canal 33 se modula en una portadora de radiofrecuencia en la banda UHF. La modulación utilizada en las transmisiones de televisión digital suele ser del tipo COFDM [5] (Modulación de Frecuencia Ortogonal Multiplexada por División de Código). En el proceso de modulación COFDM, la señal de video y audio se divide en componentes más pequeños y se modula en múltiples portadoras, cada una con una

frecuencia ligeramente diferente. Esto se hace para distribuir la información en todo el ancho de banda disponible y mejorar la resistencia a la interferencia.

Al analizar el gráfico de la figura 10, se observa como esta transmisión ocupa un mayor ancho del espectro, similar a una técnica de espectro ensanchado. En este caso, se logra distinguir claramente dos picos, pero a diferencia de VHF, el espectro interno a estos picos está siendo también utilizado. Acá se puede también hablar de dos portadoras principales. La primera se puede definir como portadora central, y contiene información esencial de la señal de TV digital. Esta es la portadora en la frecuencia nominal del canal 33, y lleva la información más importante. El segundo pico, o pico lateral corresponde a la portadora lateral, que se utiliza para transmitir información adicional y redundante. Estas portadoras se distribuyen cercanas a la central, y ayudan a proteger la señal contra la interferencia y la pérdida de datos.

V. CONCLUSIONES

Este laboratorio ha resultado ser una experiencia enriquecedora para comprender las señales de radio FM y TV (VHF y UHF) en profundidad. A través de la correcta configuración y uso del Analizador de Espectros, se logró medir y caracterizar con precisión estas señales. Esto resalta la importancia de esta herramienta en el análisis de señales en el campo de las comunicaciones digitales y la ingeniería. Además, la exploración de las asignaciones de frecuencia para la migración de TV digital destaca la necesidad de la elección adecuada de las frecuencias en la banda UHF. En conclusión, esta experiencia proporcionó una valiosa comprensión de las tecnologías de radio y televisión, destacando el papel fundamental del Analizador de Espectros en este proceso.

REFERENCIAS

- [1] Savo G. Glisic, "Advanced Wireless Networks, 4G Technologies", Ed. Wiley, 2006.
- [2] TRANSPORTES. (1989). Decreto 71 - <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=8685>
- [3] TRANSPORTES. (2014). Decreto 167 - <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1076168>
- [4] Subsecretaría de telecomunicaciones - <https://www.subtel.gob.cl/>
- [5] Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing - <https://es.wikipedia.org/wiki/COFDM>