



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**DISEÑO DE UN MÉTODO DE PREDICCIÓN DE  
DISPONIBILIDAD DE CANALES LIBRES EN LA BANDA UHF  
DE TELEVISIÓN EN EL INTERIOR DE UN EDIFICIO DE LA  
CIUDAD DE GUAYAQUIL**

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**JESITH ORLANDO REGALADO MATUTE**

**BRYAN HERRERA LINO**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2019**

# Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por derramar sobre mí muchas bendiciones, entre ellas darme la fortaleza, el valor, y la sabiduría para poder conseguir este logro a nivel académico; a mi madre Verónica Lino Pinargote, quien ha sido el pilar fundamental en mi vida, dando siempre lo mejor de si misma para que yo pueda salir a delante. A mi familia que siempre creyó en mí y me animaba a continuar en este arduo camino, y finalmente a todos los buenos amigos que he hecho durante este largo camino en la universidad, que estuvieron presente en los momentos más difíciles para darme el apoyo que necesitaba.

**Bryan Gabriel Herrera Lino**

Con un especial afecto, satisfacción y orgullo dedico este logro a mi madre quien ha sido el motor de mi vida en todo momento, a mi abuela Hortencia Beltrán que a pesar de la distancia siempre estuvo cerca de mí, por sus consejos y cariño, a mi tío Jhon Villa quien siempre fue como mi segundo padre y de quien tengo los mejores recuerdos, a mi padre, hermanas y familia en general.

A mis amigos de toda la vida Isaac Chuico y su familia, es un honor poder dedicarles la meta cumplida, a los compañeros que se volvieron mis amigos y llegaron a ser como mi segunda familia, a mis jefas queridas Erika y Carlita; a todos mis mejores amigos quienes forman parte de mi y con quienes he contado en todo momento de la carrera.

Con cariño a todos ellos por estar siempre gracias a Dios.

**Jesith Orlando Regalado Matute**

# Agradecimiento

A Dios quien me ha dado la vida y la fortaleza para poder sobrellevar cada obstáculo que se pudo presentar en esta etapa de mi vida, a mi madre Verónica Lino Pinargote, a mi tía, Elizabeth Galarza, a mis tíos Jairo Lino, Christian Lino, mis abuelos Ana Pinargote, Wilder Lino, que fueron mi motivación durante todos estos años; a mis grandes amigos Andrea Barros, Antony Camatón, Luis Cuadrado, Jonathan Fernandez, Michael Izurieta, Emmanuel Morán, Pamela Ordinola, Daniela Ruíz, Mayken Salavarría, Juan Torres, Javier Vasquéz, que siempre creyeron en mí y me brindaron las palabras de esperanza que necesitaba en los momentos más determinantes de la carrera. Al Ing. Washington Medina y el Ing. Alfredo Nuñez, que nos encaminaron durante el desarrollo de este proyecto tan importante para alcanzar nuestra titulación. A mis profesores, Maricela Freire, Aristóteles Amat, Eduardo Chancay, Felix Moncayo, Jorge Brito, que aportaron a mi formación como un profesional de principios y de excelencia.

## **Bryan Gabriel Herrera Lino**

A Dios por su infinito amor quien ha estado siempre para darme la mano cuando las opciones parecían acabarse. A mi madre por ser mi ejemplo para seguir, por ser una luchadora, por brindarme lo que pudo y lo que no también, gracias por la paciencia y por ser mi motor de vida. A mi abuela Hortencia Beltrán por su ayuda constante, por sus consejos y por ser esa abuela que toda familia quisiera tener.

A mi amigo Isaac Chuico y su familia por quienes pude comenzar mi carrera, siempre estaré agradecido por el apoyo y por ser mi segunda familia. A mi amigo Manuel Aguayo por su humildad, calidad humana y por haberme ayudado en los inicios de la carrera aprender lo que parecía imposible en tan poco tiempo.

A mi maestro, amigo y consejero Efrén Herrera por el apoyo, a todos mis compañeros del prepolitécnico y la carrera que se convirtieron en amigos los cuales son muchos quienes varias veces me dieron una mano en momentos difíciles, totalmente agradecido porque gracias a ellos la motivación seguía intacta por llegar a la meta.

La lucha será constante y lo que un día siembras en un futuro seguramente cosecharas, finalmente agradecer a las personas por quienes viví malos momentos, ya que gracias a ellos también aprendí y crecí como ser humano. Gracias Infinitas.

## **Jesith Orlando Regalado Matute**

# TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

---

**Ing. Washington Medina**  
PROFESOR DE MATERIA INTEGRADORA

---

**Ing. Alfredo Nuñez**  
PROFESOR TUTOR ACADÉMICO

# DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

---

JESITH ORLANDO REGALADO MATUTE

---

BRYAN GABRIEL HERRERA LINO

# RESUMEN

El mundo de las telecomunicaciones ha desarrollado un crecimiento exponencial en los últimos años, lo que ha provocado un mayor uso del espectro radioeléctrico, el cual es un recurso natural, intangible y limitado que esta viviendo problemas de saturación. Debido a ello se ha realizado el siguiente proyecto de materia integradora con la finalidad de buscar una solución practica a este problema y contribuir a la sociedad con un eficiente uso del espectro, aportando una investigación válida para nuevas tecnologías como lo es OSA (acceso Oportunista al Espectro).

Para el desarrollo del proyecto se utilizó un equipo RT820 y el software MATLAB. El estudio del problema se centró en la banda UHF del espectro radioeléctrico, la cual se encuentra en el rango de los 500 MHz hasta los 686 MHz, donde se proveen servicios de televisión analógica y digital. En dicha banda se tomarón mediciones de niveles de potencia en pisos diferentes dentro de un edificio de la ciudad de Guayaquil, Ecuador; tanto en el primer, segundo y tercer piso. Luego de ser procesados los datos, se diseñó un mecanismo de predicción de disponibilidad para los canales sensados usando una red neuronal con autorregresión no lineal (NARNET).

Se realizaron diferentes pruebas variando la cantidad de información ingresada a la red neuronal así como la cantidad de datos predichos, obteniendo graficas de porcentajes de error con respecto al tamaño de la ventana de datos ingresados, así como también una tasa de la varianza de los datos, que permitieron establecer un uso adecuado para esta herramienta. Finalmente se determinó que la red creada es un buen método de predicción de disponibilidad para los canales de baja o media variabilidad, puesto que en los canales de alta variabilidad presenta errores mayores.

Palabras Claves: OSA, NARNET, RT820, Disponibilidad.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
Capítulo 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del problema .....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcance.....	3
1.5 Metodología.....	4
Capítulo 2.....	6
2. Estado del arte.....	6
2.1 Marco Teórico .....	7
2.1.1 Espectro Radioeléctrico .....	7
2.1.2 Red de Área Local Inalámbrica (WLAN) .....	8
2.1.3 Radio Cognitiva .....	8
2.1.4 Administración del Espectro.....	12
2.1.5 Movilidad Espectral.....	12
2.1.6 Compartir Espectro.....	13
2.1.7 Radio Cognitiva de banda bajo licencia.....	13
2.1.8 Radio Cognitiva de banda de libre acceso.....	14
2.1.9 Radio Definido por Software .....	14
2.1.10 Acceso Dinámico al Espectro (DSA) .....	15
2.1.11 Acceso Oportunista al espectro.....	15
2.1.12 Series de tiempo .....	16
2.1.13 Tendencia secular .....	16

2.1.14	Variaciones cíclicas .....	17
2.1.15	Variaciones aleatorias.....	17
2.1.16	Red Neuronal Artificial .....	17
2.1.17	Arquitectura de la RNA .....	17
2.1.18	Funcionamiento de la red .....	18
2.1.19	Aprendizaje de la Red .....	19
2.1.20	Función de Activación .....	19
2.1.21	Algoritmo BackPropagation.....	20
Capítulo 3.....		21
3.DISEÑO METODOLÓGICO .....		21
3.1	Descripción del Escenario .....	21
3.2	Obtención de Recursos .....	23
3.3	Diseño de metodología para la medición de datos .....	24
3.4	Pruebas y Ajuste de medición .....	26
3.5	Captura de datos y monitoreo de los equipos .....	27
3.6	Diseño del procesamiento de datos .....	28
3.7	Diseño de la red Neuronal .....	30
3.8	Diseño del proceso de cálculo de Disponibilidad .....	33
Capítulo 4.....		35
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....		35
4.1	Canal de variabilidad alta.....	36
4.1.1	Función Purelin .....	36
4.1.2	Función Logsig .....	40
4.1.3	Función Tansig .....	42
4.1.4	Función Logsig y Tansig .....	46
4.2	Canal 9 con variabilidad media. ....	49
4.2.1	Función Logsig y Tansig .....	49
4.3	Canal 1 con variabilidad baja. ....	51
4.3.1	Función Logsig y Tansig .....	51
4.4	Modelo de red neuronal con tres capas ocultas y funciones de activación no lineales. ....	54
4.4.1	Modelo de tres capas ocultas con funciones de activación no lineales para canal con alta variabilidad.....	54
4.4.2	Tres capas ocultas en la red con funciones de activación no lineales para un canal con variabilidad media.....	55
4.4.3	Tres capas ocultas en la red con funciones de activación no lineales para un canal de variabilidad baja.....	56



4.5	Cálculo de porcentaje de error de los canales procesados. ....	57
4.6	Cálculo de disponibilidad de los canales de TV de la banda UHF.....	59
4.6.1	Disponibilidad Piso 1.....	59
4.6.2	Disponibilidad Piso 2.....	60
4.6.3	Disponibilidad Piso 3.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		65
Conclusiones.....		65
Recomendaciones.....		67
REFERENCIAS .....		68
ANEXOS .....		72

# ABREVIATURAS

ARCOTEL - Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

CDMA - Code Division Multiple Access.

DBN - Red Bayesiana Dinámica.

DSA – Acceso Dinámico al Espectro.

EMD - Descomposición en modo empírico.

FFT - Fast Fourier Transform.

GSM – Global System for Mobile Communications.

ISDB-T - Integrated Services Digital Broadcasting - Television

ISM - Bandas de radio industriales, científicas y médicas.

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers.

K-RBF – Red Neuronal con agrupamiento de K- means.

MATLAB - Matrix Laboratory.

MSE – Error cuadrático medio.

NARNET – Red neuronal autorregresiva no lineal.

OSA - Acceso Oportunista al Espectro.

PU – Usuario Primario.

QoS – Calidad de Servicio.

RNA – Red Neuronal Artificial.

SVR - Regresión de vectores de soporte.

SDR – Radio definido por Software.

SIM - Subscriber Identity Module.

SU – Usuario Secundario.

UHF – Ultra High Frequency.

UNII - Infraestructura Nacional de Información No Licenciada.

WLAN - Red de área local inalámbrica.

Wi-Fi – Wireless Fidelity

WS - White Spaces.

# SIMBOLOGÍA

dBm - decibelio-milivatio

GHz - Gigahercio

Hz - Hercio

m - metro

MHz - Megahercio

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 4.1 ESQUEMA DE LA RED NEURONAL USANDO LA FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "PURELIN" .....	36
FIGURA 4.2 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 100 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "PURELIN" .....	36
FIGURA 4.3 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 500 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "PURELIN" .....	37
FIGURA 4.4 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 1000 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "PURELIN" .....	38
FIGURA 4.5 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 4500 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "PURELIN" .....	39
FIGURA 4.6 ESQUEMA DE LA RED NEURONAL USANDO LA FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "LOGSIG" . .....	40
FIGURA 4.7 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 100 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "LOGSIG" .....	40
FIGURA 4.8 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 500 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "LOGSIG" .....	41
FIGURA 4.9 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 1000 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "LOGSIG" .....	41
FIGURA 4.10 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 4500 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "LOGSIG" .....	42
FIGURA 4.11 ESQUEMA DE LA RED NEURONAL USANDO LA FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "TANSIG" . .....	43
FIGURA 4.12 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 100 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "TANSIG" .....	43
FIGURA 4.13 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 500 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "TANSIG" .....	44
FIGURA 4.14 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 1000 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "TANSIG" .....	45
FIGURA 4.15 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 4500 Y FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "TANSIG" .....	45
FIGURA 4.16 ESQUEMA DE LA RED NEURONAL USANDO LA FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN "LOGSIG - TANSIG" . .....	46
FIGURA 4.17 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 100 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	46
FIGURA 4.18 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 500 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	47
FIGURA 4.19 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 1000 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	48
FIGURA 4.20 RESPUESTA DE LA RED NEURONAL CON N= 4500 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	48
FIGURA 4.21 RESULTADOS CANAL 9 CON N= 100 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	49
FIGURA 4.22 RESULTADOS CANAL 9 CON N= 500 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	50
FIGURA 4.23 RESULTADOS CANAL 9 CON N= 1000 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	50
FIGURA 4.24 RESULTADOS CANAL 9 CON N= 4500 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	51
FIGURA 4.25 RESULTADOS CANAL 1 CON N= 100 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	52
FIGURA 4.26 RESULTADOS CANAL 1 CON N= 500 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	52
FIGURA 4.27 RESULTADOS CANAL 1 CON N= 1000 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	53
FIGURA 4.28 RESULTADOS CANAL 1 CON N= 4500 Y LAS FUNCIONES "LOGSIG" -"TANSIG" .....	53
FIGURA 4.27 ESTRUCTURA DE LA RED CON TRES CAPAS OCULTAS.....	54
FIGURA 4.28 RESULTADOS CANAL 2 CON N= 200 MUESTRAS Y TRES CAPAS OCULTAS EN LA RED.....	55
FIGURA 4.29 ESTRUCTURA DE LA RED NEURONAL CON TRES CAPAS OCULTAS.....	55
FIGURA 4.30 RESULTADOS CANAL 9 CON N= 200 MUESTRAS Y TRES CAPAS OCULTAS EN LA RED.....	56
FIGURA 4.31 ESTRUCTURA DE LA RED NEURONAL CON TRES CAPAS OCULTAS.....	56
FIGURA 4.32 RESULTADOS CANAL 1 CON N= 200 Y TRES CAPAS OCULTAS EN LA RED.....	57

# ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 2.1 EL CICLO COGNITIVO [19] .....	9
IMAGEN 2.2 DETECCIÓN DE ESPECTRO PARA RADIO COGNITIVA [28] .....	10
IMAGEN 2.3 TRANSMISIONES SIMULTÁNEAS EN LA MISMA BANDA DE FRECUENCIAS EXPLOTANDO DIMENSIÓN ESPACIO GEOGRÁFICO. [21].....	11
IMAGEN 2.4 REPRESENTACIÓN DE OPORTUNIDADES DE USO ESPECTRAL EN LA DIMENSIÓN CÓDIGO. [21] .....	11
IMAGEN 2.5 TRANSMISIONES SIMULTÁNEAS DENTRO DEL MISMO RADIO DE ALCANCE EXPLOTANDO EL CONOCIMIENTO DE LOS ÁNGULOS DE LLEGADA DE LAS SEÑALES. [21] .....	12
IMAGEN 2.6 ARQUITECTURA DE RED DE RADIO COGNITIVA [27] .....	14
IMAGEN 2.7 ESTRUCTURA DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL. [30].....	18
IMAGEN 2.8 CAPAS DE UNA RED NEURONAL [30].....	18
IMAGEN 2.9 FUNCIONES DE ACTIVACIÓN PARA LAS RNA[33].....	19
IMAGEN 3.1 FRENTE DEL EDIFICIO HELISA [34] .....	21
IMAGEN 3.2 VISTA LATERAL UNO EDIFICIO HELISA [34] .....	22
IMAGEN 3.3 VISTA LATERAL EDIFICIO HELISA DOS [34].....	22
IMAGEN 3.4 VISTA PANORÁMICA EDIFICIO HELISA [34].....	23
IMAGEN 3.5 CODIGO CAPTURA DE NIVELES DE POTENCIA.....	24
IMAGEN 3.6 ESPECTRO CAPTURADO EN LA BANDA UHF DE TELEVISIÓN.....	25
IMAGEN 3.7 ARCHIVO MEDICIONES GENERADO POR MATLAB. ....	26
IMAGEN 3.8 NÚMERO DE CICLOS ALCANZADOS EN LA CAPTURA DE DATOS. ....	27
IMAGEN 3.9 MONITOREO DE LOS ORDENADORES MEDIANTE EL SOFTWARE TEAMVIEWER.....	28
IMAGEN 3.10 CÓDIGO PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS .....	29
IMAGEN 3.11 ESQUEMA DE UNA NARNE.....	30
IMAGEN 3.12 RED NEURONAL GENERADA EN MATLAB .....	31
IMAGEN 3.13 SEPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	31
IMAGEN 3.14 PARÁMETROS DE ENTRENAMIENTO .....	31
IMAGEN 3.15 FUNCIONES DE TRANSFERENCIAS LOG-SIGMOID, TAN-SIGMOID Y LINEAR. ....	32

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 4-1 RESULTADOS DE LA PREDICCIÓN HECHA EN EL PISO 1 DEL EDIFICIO.....	60
TABLA 4-2 RESULTADOS DE LA PREDICCIÓN HECHA EN EL PISO 2 DEL EDIFICIO.....	60
TABLA 4-3 RESULTADOS DE LA PREDICCIÓN HECHA EN EL PISO 3 DEL EDIFICIO.....	61
TABLA 4-4 PREDICCION DISPONIBILIDAD PISO 1 CON 100% DE CONFIABILIDAD.....	61
TABLA 4-5 PREDICCION DISPONIBILIDAD PISO 2 CON 100% DE CONFIABILIDAD.....	62
TABLA 4-6 PREDICCION DISPONIBILIDAD PISO 3 CON 80% DE CONFIABIABILIDAD .....	64

# Capítulo 1

## 1. Introducción

En la actualidad, el crecimiento y desarrollo de nuevas tecnologías o sistemas inalámbricos ha provocado un mayor uso del espectro radioeléctrico. Un ejemplo de esto es la demanda actual de los sistemas que operan en las bandas ISM, causando saturación y bajo rendimiento en la calidad de servicio (QoS) de estas redes; en Inglaterra se lo evidenció en el año 2012, cuando Londres enfrentó por primera vez la posibilidad real de que la red de comunicaciones fallara por exceso de carga [1].

Estudios realizados sobre la disponibilidad del espectro en [2], ponen en evidencia que existen bandas que están sobresaturadas, así como bandas que no se usan de manera eficiente como lo es la banda de televisión UHF.

### 1.1 Definición del Problema

En Ecuador se presentó ya dificultades palpables que llevaron a tomar la decisión de cambiar la televisión analógica por la digital, resolución que tuvo lugar en el año 2010, definiendo al estándar japonés - brasileño como el estándar principal en el país.[3]

De esta manera se trata liberar bandas muy usadas y replantear la designación de frecuencias, tomando un sistema simulcast para poder transmitir señales tanto analógicas como digitales. Otro problema principal aquí es que la regulación actual del espectro en el país, que no permite que se lleve a cabo dicho cambio de forma rápida. [3]

En este contexto, el acceso oportunista al espectro (OSA) trata de mitigar esta ineficiencia en el uso del espectro radioeléctrico provocados por la administración y asignación de este recurso en la actualidad [4]. Pero para la aplicación de OSA es fundamental tener conocimiento de la disponibilidad de otras bandas diferentes a la que el dispositivo está operando, lo que implica medir el espectro radioeléctrico para verificar la banda y el canal donde es posible realizar el acceso, sin que interfieran la operabilidad de los usuarios licenciados de dicha banda.

Además, la disponibilidad de los canales irá variando conforme avance el tiempo, ya que los niveles de potencia varían mientras transcurre el día, esto representa un problema para los dispositivos OSA, ya que no se puede asegurar que un canal determinado estará disponible en un tiempo específico, sin antes realizar la medición y la verificación de los niveles de potencia.

Este proceso implica un consumo energético por parte de los equipos de medición en busca de un canal disponible, consumo que será reincidente cada vez que se quiera aplicar esta tecnología, además de que esta búsqueda puede llegar a durar varios minutos, tiempo que se convierte en significativo al momento de realizar el cambio de canal ya que otro dispositivo puede hacer uso de este antes.

## 1.2 Justificación del problema

En nuestros días, existe una gran diversidad de algoritmos de predicción que son utilizados en varios ámbitos en la industria, con el fin de obtener mejores resultados en sus respectivos casos de interés.[5] En Telecomunicaciones, para el análisis del espectro radioeléctrico, son una herramienta primordial para su predicción; la cual ayuda a desarrollar técnicas de acceso dinámico al mismo, que buscan mitigar la saturación del espectro.

El proyecto resultará beneficioso para el desarrollo e implementación de tecnología OSA, dado que la importancia de realizar este trabajo radica en la elaboración de un mecanismo que permita predecir la disponibilidad de canales en bandas licenciadas, como la banda de televisión UHF, para potenciar el uso de esta técnica.

Al contar con un predictor se producirá un ahorro de energía de los equipos, pues no es necesario que se encuentren en constante medición, así como también un ahorro en tiempo de decisión para el cambio del canal.

Se conseguirá un funcionamiento óptimo en la aplicación de OSA, lo que contribuiría a mermar la saturación de otras bandas como las ISM, esto es beneficioso en lugares como una oficina donde muchos dispositivos usan Internet y es de vital importancia que la transferencia de información sea lo más rápida posible, para agilizar la ejecución de trabajos.



Además, se contribuye en la mejora de la eficiencia del uso del espectro radioeléctrico, pues esta forma parte de la naturaleza y es un deber del ser humano cuidar el medio donde vivimos para beneficio de las siguientes generaciones. No es una opción la asignación de bandas no utilizadas aún; ya que, en algún momento se llegará al límite. [6], [7]

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un mecanismo de predicción de disponibilidad de canales en la banda UHF para el funcionamiento de dispositivos con acceso oportunista al espectro.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el algoritmo de predicción a ser usado.
- Implementar un mecanismo para el censado de datos.
- Capturar y almacenar los niveles de potencia de los canales objetivos.
- Diseñar el método de predicción de disponibilidad.
- Calcular la disponibilidad individual de cada canal.
- Analizar resultados obtenidos.

### 1.4 Alcance

El proyecto tiene como objetivo la elaboración de un mecanismo de predicción de disponibilidad en la banda UHF de televisión, que comprende el rango de 500 MHz hasta 686 MHz, en el edificio “Heath & Life S.A” el cual cuenta con 5 pisos y está ubicado en Alborada XIII etapa mz 22 solar 9 de la ciudad de Guayaquil.

Se llevarán a cabo mediciones de los niveles de potencia en el rango establecido en el primer piso, segundo piso y tercer piso alta, durante 7 días consecutivos. Se utilizará el equipo 820T2 & SDR para sensor el espectro radioeléctrico, el cual puede trabajar en un rango de frecuencias desde 24 MHz hasta los 1766 MHz [8].

Mientras que, para el almacenamiento y procesamiento de los datos, se usará el software MATLAB.

Con los datos medidos y el uso de un algoritmo de predicción se obtendrá una valores predichos de los niveles de potencia del espectro en los canales que comprenden esta banda. Después de esto se determinará la disponibilidad del canal tomando como referencia un valor de umbral.

## 1.5 Metodología

El primer paso para la ejecución del proyecto será la recopilación de información acerca de algoritmos de predicción. En base a las características y el desempeño en ambientes similares a nuestro escenario, se decidirá cuál de ellos es el más adecuado para nuestro caso de estudio.

Luego se estudiará el funcionamiento del 820T2 & SDR en conjunto con MATLAB para su optimo desempeño.

Después se diseñará el procedimiento para la captura de los niveles de potencia en MATLAB, mediante una programación basada en código. Una vez esto, se continuará con la captura de datos durante una semana en el edificio previamente establecido.

Se recopilarán 10000 muestras por cada canal y de esta manera lograr un entrenamiento apropiado al algoritmo seleccionado. Dichos datos se tomará a primera instancia por fragmentos de tiempo, acorde a la capacidad de almacenamiento y procesamiento de los dispositivos con los que se cuenta.

El siguiente paso será estructurar el mecanismo de predicción, para ello se implementará el algoritmo en MATLAB. Una vez finalizado este paso se

realizará el entrenamiento del algoritmo con una porción de los datos recolectados hasta lograr una precisión adecuada a los requerimientos necesarios en los resultados. Terminado el entrenamiento, el algoritmo estará listo para estimar niveles de potencia de los canales medidos.

Previo a esta estimación, a cada canal medido se los pasará por una etapa de procesamiento de datos, en la que se eliminarán datos aberrantes en las mediciones, así como se calculará un valor de potencia promedio de las mediciones de cada canal, finalmente se los normalizará para que estos valores sean la entrada del algoritmo.

Finalmente, con los resultados del algoritmo se procederá a calcular la disponibilidad de cada canal, comparando los valores predichos con el valor de la sensibilidad de los equipos de televisión para el sistema I. Para esto se elaborará una gráfica discreta de ceros y unos evaluando dos casos:

- Sí el valor promedio predicho es mayor que la sensibilidad del equipo, se lo representará con un 1.
- Sí el valor promedio predicho está por debajo de la sensibilidad se lo representará con un 0.

# Capítulo 2

## 2. Estado del arte

En la actualidad, en muchos campos surge la necesidad de aprovechar de manera óptima el uso del espectro electromagnético para diferentes aplicaciones, han surgido diversas alternativas para su predicción basadas en diferentes algoritmos.

En el trabajo presentado en [9], para un sistema de monitoreo de frecuencia de un radar de alta frecuencia, se propone un algoritmo de predicción basado en la descomposición en modo empírico (EMD) y la regresión de vectores de soporte (SVR), con el fin de que el sistema seleccione la frecuencia de perturbación mínima para que el radar trabaje en un próximo periodo de tiempo.

Por otra parte, en [10] se propone un modelo de predicción de series de tiempo basado en gráficos con la combinación del modelo de red neuronal de memoria de larga y corta duración y una Red Bayesiana Dinámica (DBN). El modelo utiliza principios de estimación óptimos y DBN para mejorar el rendimiento predictivo, en donde sus resultados experimentales muestran que la estructura tiene un mejor rendimiento que algunos modelos existentes.

En [11] se propone un modelo híbrido de predicción de ocupación de canales de radio para acceso de espectro dinámico, con el objetivo de maximizar la probabilidad de detección de los White Spaces (WS) y minimizar el uso de los recursos del sistema para la detección y la toma de decisiones. El proceso de predicción se realiza en paralelo para tres métodos básicos como lo son Markov, Mean, MeanW y un método híbrido que será seleccionado, el cual trabaja sobre la base de las eficiencias de predicción temporal calculadas para los métodos anteriores.

Por último en [12] se propone la predicción del espectro basado en una red neuronal (RBF) mejorada en radio cognitiva, en el cual se propuso un algoritmo de predicción de espectro con el algoritmo de agrupamiento K-means (K-RBF) para predecir con precisión el acceso a un usuario con licencia con un bajo porcentaje de error.

De igual manera, también se han elaborados trabajos en el Ecuador con el fin de obtener la disponibilidad en diferentes bandas y usando algunos de los algoritmos ya mencionados.

En [13] se propone un diseño de un algoritmo para el análisis de disponibilidad de canales en la banda 2.4Ghz de Wi-Fi dentro de un edificio ubicado en el centro de guayaquil, basado en el algoritmo de K-vecinos más cercanos para sistemas con acceso oportunista al espectro. Mientras que en [14] su estudio se desarrolla en la banda UHF de televisión en donde mediante un modelado estadístico se determina la disponibilidad de canales individuales, así como de forma conjunta.

Trabajos muy similares se observan en [15], [16], en donde de igual manera se trabaja sobre la misma banda de televisión, pero usando diferentes algoritmos para el proceso de predicción tales como las cadenas ocultas de Markov y Redes Neuronales Artificiales respectivamente.

A diferencia de todos estos trabajos, el proyecto usará una red neuronal autoregresiva no lineal, para la predicción de los niveles de potencia en los canales de televisión de la banda UHF, con la finalidad de predecir la disponibilidad futura de los canales de esta banda en función del tiempo.

## 2.1 Marco Teórico

### 2.1.1 Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas que se por lo general se encuentra por debajo de los 3000 GHz y se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial. A través de él se ofrecen servicios de telecomunicaciones de gran variedad para el desarrollo social y económico de un país. [17]

El espectro radioeléctrico es considerado por la constitución de la Republica del Ecuador como un sector estratégico, por lo que el Estado se reserva su derecho de administración, regulación, control y gestión. [17]

### 2.1.2 Red de Área Local Inalámbrica (WLAN)

Una red de área local inalámbrica (WLAN) implementa un sistema flexible de comunicación de datos que en general aumenta en lugar de reemplazar una red LAN cableada en un edificio o recinto universitario. WLAN usa radiofrecuencia para transmitir y recibir datos por aire, minimizando así la necesidad de conexiones cableadas. [18]

### 2.1.3 Radio Cognitiva

El espectro radioeléctrico está siendo usado cada vez con mayor intensidad por parte de la sociedad y es por ello que se requiere la necesidad de buscar la manera de optimizar su uso diario y la radio cognitiva es una de las herramientas que hoy en día facilitan esta tarea con el objetivo de buscar nuevos métodos que faciliten tener un mejor acceso al espectro radio eléctrico. [19]

Esta tecnología tiene como objetivo aprender y adaptarse al entorno en que sea sometida gracias a la metodología “understanding-by-building”, la cual recibe la información y la procesa para modificar su estado interno gracias a los parámetros que el usuario estime necesario, como en este caso, si hablamos del entorno del espectro radio eléctrico, podría ser: la potencia de la señal de transmisión, frecuencia, etc. En la Imagen 2.1 podemos apreciar el ciclo de la radio cognitiva.[19]

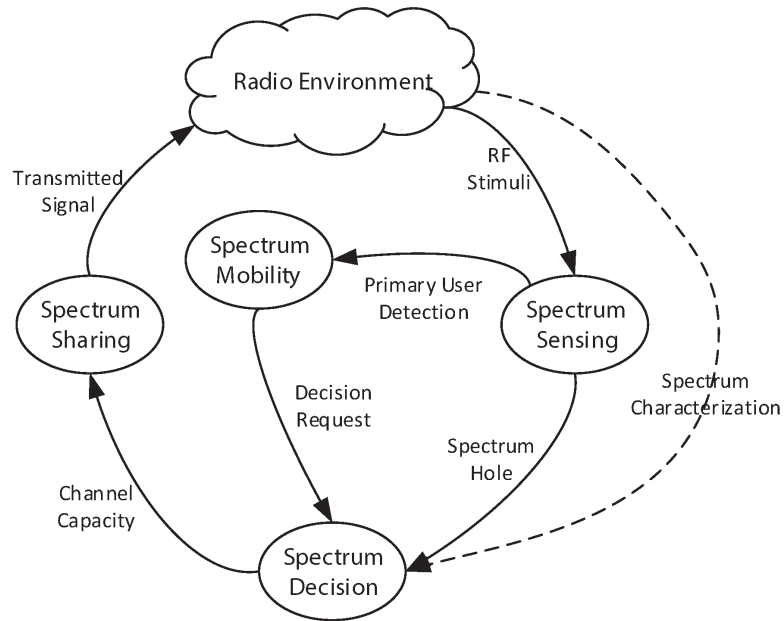


Imagen 2.1 El Ciclo cognitivo [19]

Entre las funciones principales se pueden encontrar varias, las cuales se hacen mención a continuación.

#### 2.1.3.1 Detección del Espectro.

Es su principal función el detectar espectro que no está siendo aprovechado de la mejor manera, se deben hallar estos agujeros diferenciando siempre a los usuarios legítimos. A su vez para detectar el espectro existen distintas técnicas: [20]

- i. Detección de Transmisiones.
- ii. Detección Cooperativa.
- iii. Detección basada en interferencias.

Para la detección de espectro en radio cognitiva se hace uso de dimensiones adicionales como el tiempo, frecuencia, espacio geográfico, código y ángulo.

### 2.1.3.2 Frecuencia y Tiempo

En este espacio se busca la división de las bandas en porciones mas pequeñas donde se pueda visualizar los fragmentos sin uso del espectro ya que no todas las bandas son ocupadas al mismo tiempo tal como se puede apreciar en la Imagen 2.2. Entonces como se puede visualizar en la imagen uno, cada espacio vacío se puede usar como una oportunidad de acceso al espectro de manera oportunista sin causar interferencia a los usuarios licenciados. [21]

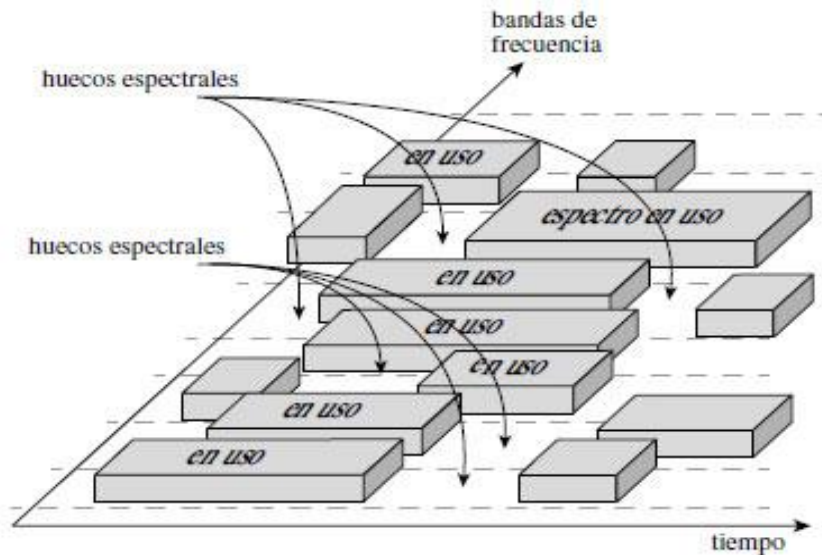


Imagen 2.2 Detección de espectro para radio cognitiva [28]

### 2.1.3.3 Espacio geográfico.

Esta dimensión hace referencia a la ubicación que se tenga entre los diferentes usuarios y sus niveles de interferencia, debido que dependiendo de la longitud, latitud y elevación se pueda emitir radiaciones en bandas similares sin obstruir señales vecinas como se puede apreciar en la Imagen 2.3. [21]



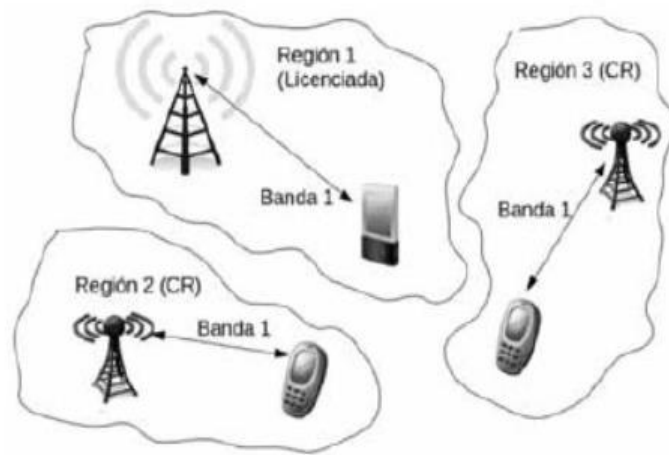


Imagen 2.3 Transmisiones simultáneas en la misma banda de frecuencias explotando dimensión espacio geográfico. [21]

#### 2.1.3.4 Código

Lo que se trata de obtener aquí es las secuencias de los códigos de espectro ensanchado de los usuarios licenciados y sincronización de transmisión para que un usuario de radio cognitiva pueda transmitir con respecto a los usuarios licenciados. En la Imagen 2.4 se ilustra la representación de oportunidades para conseguir estos códigos. [21]

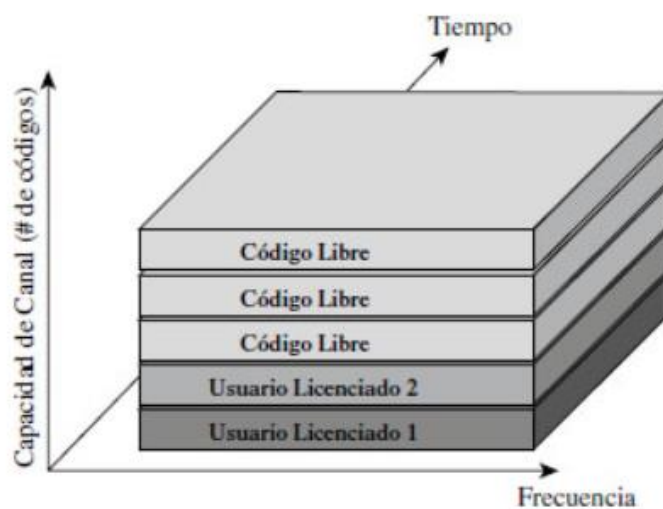
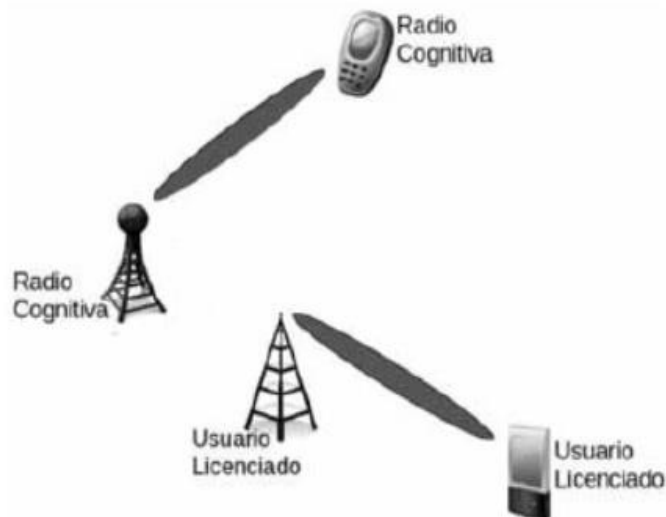


Imagen 2.4 Representación de oportunidades de uso espectral en la dimensión código. [21]

#### 2.1.3.5 Angulo

Esta dimensión se concentra en el ángulo de dirección de los lóbulos de radiación electromagnética con la ayuda del azimut y elevación, además de la ubicación de los usuarios licenciados, dicho proceso se visualiza en la Imagen 2.5. Debido que por lo general estos lóbulos son direccionales se puede emitir ondas en la misma banda de frecuencias y distancia con un nivel de interferencia bajo. [21]



*Imagen 2.5 Transmisiones simultáneas dentro del mismo radio de alcance explotando el conocimiento de los ángulos de llegada de las señales. [21]*

#### 2.1.4 Administración del Espectro.

Esta función escoge el mejor ancho de banda que el usuario requiera en base al QoS siguiendo dos pasos: [20]

- Análisis de Espectro.
- Decisión de Espectro.

#### 2.1.5 Movilidad Espectral.

Como su nombre hace referencia, tiene la capacidad de siempre que se necesite cambiar de banda a una mejor pasando desapercibido. [20]

#### 2.1.6 Compartir Espectro.

Se debe hallar un método el cual reparta espectro sin interferir con los usuarios legítimos. Este es el mayor de los retos para todos los dispositivos que usan la radio cognitiva. [20]

Existe varios tipos de Radio Cognitiva, las cuales dependen de la necesidad del usuario ya que puede hacer uso de más o menos variables, acordes a los resultados que se desee obtener:

- Radio Cognitiva completa.
- Radio Cognitiva detectora del espectro.

En el primer tipo como su nombre lo indica, hace uso de todas las variables que se puedan identificar en la red para tomar decisiones, mientras que la segunda es un caso particular en donde sólo se observa el espectro radioeléctrico.[22]

En base a estos principales tipos de Radio Cognitiva se pueden definir otras subdivisiones como lo son: [21]

- Radio Cognitiva de banda bajo licencia.
- Radio Cognitiva de banda de libre acceso

#### 2.1.7 Radio Cognitiva de banda bajo licencia

Esta Radio Cognitiva hace referencia al grupo de usuarios de bandas que necesitan de licencia para su acceso, de esta forma se limita el tráfico en dichas frecuencias. Además del uso de bandas libres como lo son la UNII o ISM. [22]

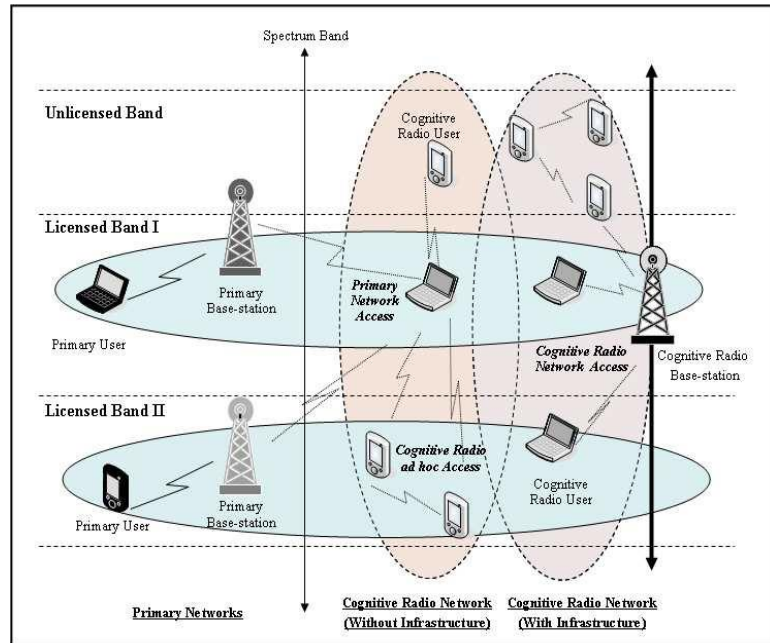


Imagen 2.6 Arquitectura de red de radio cognitiva [27]

### 2.1.8 Radio Cognitiva de banda de libre acceso

Hacen uso de bandas sin licencia, en este grupo se puede mencionar a la IEEE 802.19. [22]

### 2.1.9 Radio Definido por Software

El concepto SDR (Radio Definido por Software) se refiere al hecho de utilizar software para controlar casi todas las funciones de un dispositivo de comunicaciones o de sensores tipo radar. [23]

Esta tecnología habilita la creación de dispositivos inalámbricos interoperables con múltiples ventajas, entre las que se encuentran:

- Múltiples modos de operación.
- Reconfiguración.

- Actualizaciones Over-The-Air.
- Menor costo de desarrollo.

La tecnología Over-The-Air consiste en un sistema de gestión remota de datos y aplicaciones para la tarjeta SIM, con la ayuda de la interfaz GSM o CDMA. [24]

#### 2.1.10 Acceso Dinámico al Espectro (DSA)

Cuando se habla de las siglas “DSA” se hace referencia a todo método o herramienta que tenga como propósito acceder al espectro radioeléctrico, sujeto a condiciones que dependerán de la arquitectura de la red, del tipo de banda de frecuencia a acceder, etc. [25]

Existen dos tipos de modelos de DSA:

- El Modelo “acceso libre”.
- El Modelo “acceso jerárquico”.

El modelo de acceso libre hace referencia al uso de bandas que no requieran permisos para el uso de la Industria, Científico, y Médico (ISM: Industrial, Scientific and Medical). El uso de esta banda no requiere licencia por lo que cualquier usuario tiene derecho para la utilización de estas, en este grupo es mundialmente conocido el WiFi con estándar IEEE 802.11 y Bluetooth.[19]

A diferencia del acceso libre, el modelo de acceso jerárquico cuenta con una clasificación entre los usuarios:

- usuarios primarios (PU).
- usuarios secundarios (SU). [19]

#### 2.1.11 Acceso Oportunista al espectro

El Acceso Oportunista al Espectro es un conjunto de alternativas que buscan mermar las dificultades de escasez y la ineficiencia en el uso del espectro radioeléctrico. [26]

Siguiendo un esquema jerárquico, bajo las nociones de OSA los usuarios secundarios (usuarios no licenciados), pueden acceder y explotar las porciones espectrales no utilizadas por los usuarios primarios (usuarios licenciados) en un tiempo determinado. [6]

Las bandas espectrales no utilizadas se conocen como huecos u oportunidades espectrales, que en conjunto constituyen la disponibilidad local e instantánea del recurso radioeléctrico.

#### 2.1.12 Series de tiempo

Una serie de tiempo es una sucesión de registros realizados en muchos periodos de tiempo (días, semanas, meses, trimestres, años). Los registros son valores numéricos que varían en dichos periodos. [27]

Las variaciones de una serie de tiempo –ST– se clasifican en sistemáticas y aleatorias; las sistemáticas suceden con regularidad y se pueden modelar; las aleatorias son originadas por escenarios aisladas como terremotos, huelgas y, por lo tanto, son difíciles de modelar. [27]

Se han reconocido tres diferentes tipos de variaciones: tendencia secular, variaciones cíclicas y variaciones estacionales.

#### 2.1.13 Tendencia secular

Describe la naturaleza general de la serie en periodos extensos de tiempo y son debidas a fuerzas significativos como incremento de la población, cambios en tecnología y en las costumbres de gasto de los consumidores.[27]

Las variaciones estacionales se efectúan cuando las observaciones son realizadas en intervalos inferiores a un año (semanas, meses, trimestres); estas pueden reflejar conductas estacionales que se repiten del mismo modo y con la misma regularidad año tras año. [27]

#### 2.1.14 Variaciones cíclicas

Corresponden a fluctuaciones a largo plazo, más o menos periódicas que se repiten regularmente cada cierto número de años, en las actividades económicas en periodos de crisis y de recuperación. [27]

#### 2.1.15 Variaciones aleatorias

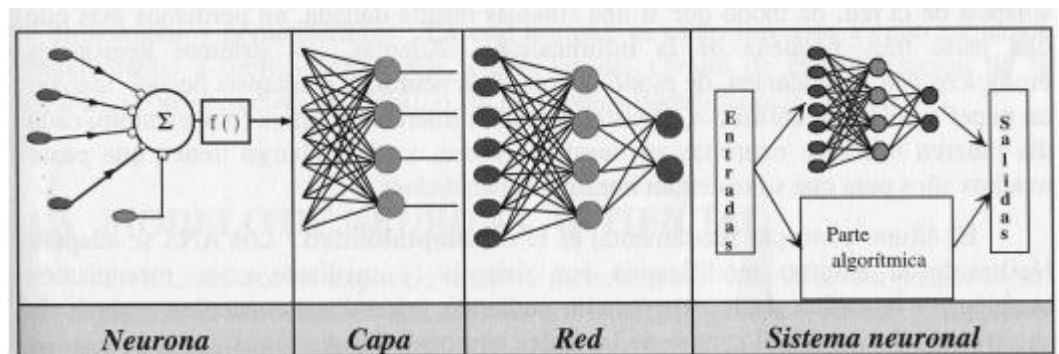
Se refieren a los componentes que se presentan en manera accidental y son difíciles de predecir. Un ejemplo de esto es el espectro electromagnético.[27]

#### 2.1.16 Red Neuronal Artificial

Una red neuronal Artificial es un modelo abreviado que simula la manera en que el cerebro humano procesa la información que recibe, es decir, emula el funcionamiento del sistema nervioso. [29] Generalmente se encuentran organizadas en capas, y cada capa a su vez esta compuesta por nodos o elementos de proceso. [30] Los enlaces que unen a lo nodos se conocen como conexiones, y cada nodo puede tener múltiples conexiones.

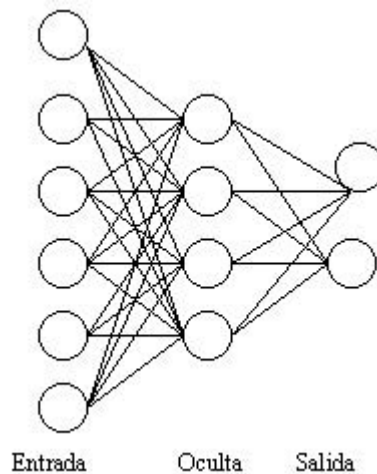
#### 2.1.17 Arquitectura de la RNA

El modelo estándar publicados por Rumelhart y McClelland en 1986 se presenta en la Imagen 2.7.



*Imagen 2.7 Estructura de una Red Neuronal Artificial. [30]*

El modelo básico de la red neuronal está basado en 3 capas y dentro de cada capa las neuronas suelen ser del mismo tipo. Estas tres tipos de capas se pueden observar en la Imagen 2.8.



*Imagen 2.8 Capas de una red neuronal [30]*

En donde en la capa de entrada se reciben los datos procedentes del entorno, la capa oculta no tiene conexión con el entorno, y puede ser precedida de otras capas o de la capa de entrada, mientras que la capa de salida los nodos brindan la solución generada por la RNA. [31]

#### 2.1.18 Funcionamiento de la red

Los datos ingresados se expanden desde los nodos de la primera capa, hasta los nodos de la siguiente y así sucesivamente hasta el final. Al llegar a la capa de salida la red generará un resultado. La red va aprendiendo examinando los datos individuales, generando una predicción para cada nodo a la vez que realiza ajustes en los pesos de las conexiones cuando se realiza una estimación errónea. [30]

Este procedimiento se repetirá las veces que sean necesarias hasta que alcance uno o varios criterios de parada. [30]



#### 2.1.19 Aprendizaje de la Red

Al iniciar, los pesos de cada nodo son aleatorios y a medida que se produce el aprendizaje, estos van adquiriendo nuevo valores hasta cumplir con los parámetros requeridos. [30]

Entre los tipos de aprendizaje que se cuentan, se tienen:

- Aprendizaje supervisado: La red busca minimizar un error entre la salida predicha y la salida deseada. El objetivo de este aprendizaje es conseguir que la salida predicha se acerque lo más posible o sea la salida deseada. [30]
- Aprendizaje no supervisado: La red trabaja con un conjunto de patrones sin conocer la respuesta deseada. [30]

#### 2.1.20 Función de Activación

La función de activación devuelve una salida en cada nodo a partir de su valor de entrada, El rango de valores de esta salida por lo general se encuentra entre (0,1) o (-1,1). [32]

En la Imagen 2.9 podremos visualizar algunas de las funciones de activación más utilizadas en las RNA. [33]

Función	Formula	Rango
Identidad	$y = x$	$[-\infty, \infty]$
Escalón	$y = \begin{cases} +1 & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}$	$[0, 1]$
	$y = \begin{cases} +1 & \text{si } x \geq 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \end{cases}$	$[-1, 1]$
Lineal a tramos	$y = \begin{cases} x & \text{si } -1 \leq x \leq 1 \\ +1 & \text{si } x > 1 \\ -1 & \text{si } x < -1 \end{cases}$	$[-1, 1]$
Sigmoidea	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$[0, 1]$
	$y = \tanh(x)$	$[-1, 1]$
Sinusoidal	$y = \text{Sen}(\omega \cdot x + \varphi)$	$[-1, 1]$

Imagen 2.9 Funciones de Activación para las RNA[33]

#### 2.1.21 Algoritmo BackPropagation

Es el algoritmo de entrenamiento más usado en redes con conexión hacia delante, además de ser utilizado en aprendizajes supervisados con gradiente descendente, en el que se distinguen claramente dos fases [33]:

La fase 1, en donde se aplica un patrón de entrada, el cual se propaga por las capa de la red hasta producir una salida, esta salida se compara con la salida deseada y se calcula el error cometido. [33]

La fase 2, en la cual estos errores calculados se transmiten hacia atrás, comenzando por la capa de salida hacia todas las neuronas de las capas intermedia. A cada nodo le corresponde un error que es proporcional a su contribución sobre el error total de la RNA. Tomando en cuenta el error recibido, se ajustan los errores de los pesos de cada nodo. [33]

# Capítulo 3

## 3.DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación, se describirá a detalle el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos establecidos en el capítulo 1 para el desarrollo del método de predicción de disponibilidad. Se comenzará estableciendo el escenario en el que se realizó el proyecto.

### 3.1 Descripción del Escenario

Para el desarrollo del proyecto se necesitó acceso a un edificio ubicado en una zona suburbana de la ciudad de Guayaquil. El edificio el cual se muestra en la imagen 3.1 cuenta con 5 pisos y dada su estructura interna del edificio, se procedió a elegir el primer, segundo y tercer piso como lugares para realizar la medición. En las imágenes 3.2, 3.3 y 3.4 se puede observar diferentes vistas de la ubicación del edificio.



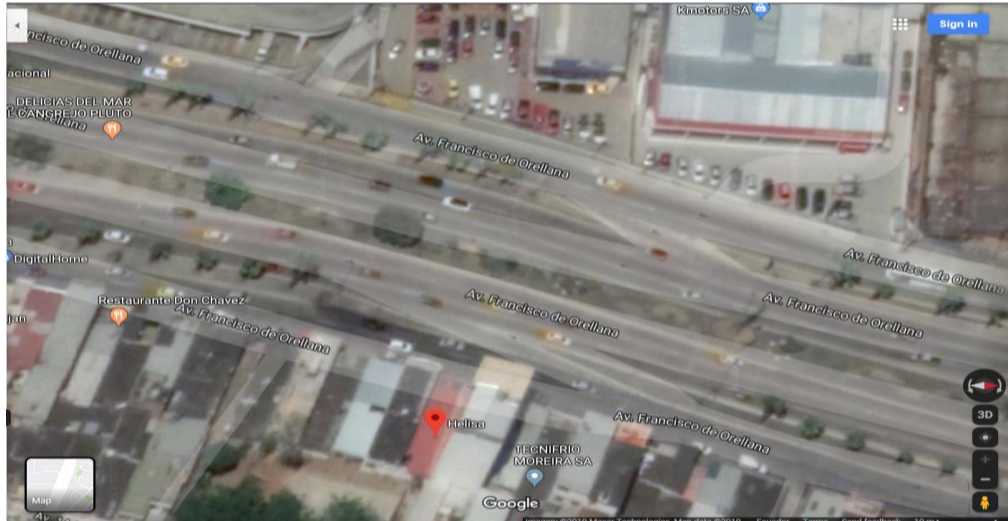
Imagen 0.1 Frente del edificio Helisa [34]



*Imagen 0.2 Vista lateral uno edificio Helisa [34]*



*Imagen 0.3 Vista lateral edificio Helisa dos [34]*



*Imagen 0.4 Vista panorámica edificio Helisa [34]*

### 3.2 Obtención de Recursos

Una vez planteado el escenario, se procedió a la obtención de los recursos necesarios para desarrollar toda la metodología, los cuales se enlistan a continuación:

- Tres equipos de medición 820T2 & SDR.
- Software MATLAB.
- Tres computadores con procesadores iCore 7.

Se optó por el uso de los equipos 820T2 & SDR, dado que puede operar en el rango de frecuencias que comprende la banda UHF de televisión, así como también el costo accesible que posee en el mercado.

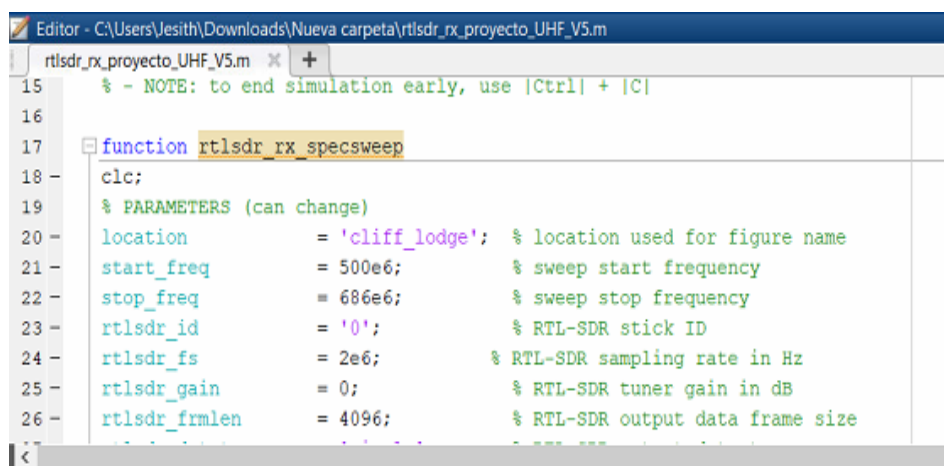
Se eligió el software Matlab debido a la gran variedad herramientas que posee, como lo son “*Communications Toolbox*” y “*Statistics and Machine Learning*”, que nos ayudan para la el censado del espectro radioeléctrico, así como también para la implementación del algoritmo de predicción respectivamente. Otro punto a favor es la cantidad de información disponible en el mismo software sobre el manejo de estas herramientas, lo cual hace que su uso sea adecuado para el proyecto considerando el tiempo que se tiene para su finalización.

Para los computadores fue considerado como primordial la capacidad de los procesadores, debido a la alta demanda que requiere el software MATLAB para los métodos de captura y predicción de datos.

### 3.3 Diseño de metodología para la medición de datos

El script utilizado para la captura de datos se diseñó en el software Matlab, el cual presenta una línea de comandos muy cotidianos y librerías específicas, necesarias para el 820T2 & SDR como lo es la herramienta RTL-SDR Support from Communications Toolbox.

El código es muy amigable con el usuario, dado que está fragmentado en funciones para un mayor entendimiento como se puede apreciar en la Imagen 3.5.



```
Editor - C:\Users\Jesith\Downloads\Nueva carpeta\rtlsdr_rx_proyecto_UHF_V5.m
rtlsdr_rx_proyecto_UHF_V5.m
15 % - NOTE: to end simulation early, use [Ctrl] + [C]
16
17 function rtlsdr_rx_specsweep
18     clc;
19     % PARAMETERS (can change)
20     location      = 'cliff_lodge'; % location used for figure name
21     start_freq    = 500e6;         % sweep start frequency
22     stop_freq     = 686e6;         % sweep stop frequency
23     rtlsdr_id     = '0';           % RTL-SDR stick ID
24     rtlsdr_fs     = 2e6;           % RTL-SDR sampling rate in Hz
25     rtlsdr_gain   = 0;             % RTL-SDR tuner gain in dB
26     rtlsdr_frm_len = 4096;         % RTL-SDR output data frame size
```

Imagen 0.5 Código captura de niveles de potencia

Al inicio se presentan todos los parámetros que se usarán para la recolección de datos como son: la frecuencia central, el tamaño de los saltos de frecuencia, el tiempo total que durará la recolección de los datos, etc. Esto se lo regulariza con dos factores llamados *dec\_factor* y *nfft*. El primero es un factor que multiplicará a un valor que es resultado de la división entre  $(rtlsdr\_fs/nfft)$ ; donde *rtlsdr\_fs* es la frecuencia de muestreo y el segundo es el número de puntos que se elija para graficar, estos mismos puntos son la representación gráfica de los coeficientes de la transformada de Fourier que



se los obtiene a partir de las librerías con las que cuenta Matlab, la función denominada  $abs(fft(rtlcdr\_data,nfft))'$ .

Otro parámetro importante al momento de correr el código es el tiempo de duración de la captura, y para ello existen variables denominadas “*tiempoHoras*”, “*tiempoMinutos*”, “*tiempoSegundos*”, que nos permiten asignar estos valores. El programa iniciará y se detendrá hasta cumplir el tiempo seleccionado sí es que no existiese ningún inconveniente en la ejecución de este.

Al finalizar un ciclo el script arrojará una ventana emergente con la gráfica del espectro en ese instante y concluirá el mismo imprimiendo el tiempo que le tomo completar el barrido completo. Luego, continuará con un siguiente ciclo y así sucesivamente hasta finalizar el tiempo programado para la recolección o se detendrá si hubiese algún problema en la ejecución del código.

En la Imagen 3.6 se podrá visualizar los niveles de potencia en una gráfica continua Potencia (dBm y Watts) vs Frecuencia (Hz).



Imagen 0.6 Espectro capturado en la banda UHF de televisión.

Una vez concluido el barrido de todas las frecuencias, se guardan los datos censados en el archivo ‘*Mediciones.xlsx*’, donde se observan los valores con el formato de: año, mes, día, hora, minutos, segundos y la frecuencia en la que se está capturando el valor de potencia. Se podrá revisar por completo el documento una vez finalizada la ejecución del código en MATLAB, tal como se muestra en la Imagen 3.7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Año	Mes	Día	Hora	Minutos	Segundos							
1	2019	7	17	15	46	10,694	-162,930264	-142,381357	-135,694253	-122,810374	-118,249899	-85,897155	-83,6111907
2	2019	7	17	15	47	4,63	-163,866452	-141,853723	-134,594222	-122,045664	-116,840382	-86,0683941	-83,6301197
3	2019	7	17	15	47	56,561	-162,061418	-143,768834	-137,679775	-123,955275	-120,150313	-85,773073	-84,212008
4	2019	7	17	15	48	49,734	-162,371009	-143,224956	-137,231801	-123,67283	-119,768911	-85,63949	-84,0474669
5	2019	7	17	15	49	41,668	-161,314333	-142,464949	-136,130912	-123,013135	-118,46528	-86,0006058	-84,1071773
6	2019	7	17	15	50	33,678	-161,932494	-141,67542	-134,747928	-122,024479	-116,790163	-86,130849	-83,9777229
7	2019	7	17	15	51	25,64	-161,163775	-142,404355	-136,250336	-123,304244	-118,902068	-86,2665486	-83,9863915
8	2019	7	17	15	52	17,268	-160,825828	-142,625423	-136,568231	-123,413125	-119,017997	-86,1263685	-83,8599211
9	2019	7	17	15	53	9,377	-159,499084	-143,643684	-138,487162	-124,590233	-121,906353	-85,8090682	-83,7562027
10	2019	7	17	15	54	1,343	-161,364475	-143,04124	-136,549879	-123,45754	-119,213275	-85,9560001	-83,7500216
11	2019	7	17	15	54	53,625	-161,388983	-142,277954	-135,587364	-122,769479	-117,908318	-86,0091985	-84,2326076
12	2019	7	17	15	55	45,629	-161,246657	-144,125925	-138,848344	-124,750053	-121,536292	-86,0024833	-84,1067025
13	2019	7	17	15	56	37,722	-160,330889	-143,058544	-136,015104	-122,916744	-118,231151	-86,0671723	-84,147628
14	2019	7	17	15	57	29,776	-162,299188	-142,631643	-136,535255	-123,444938	-119,279358	-86,1008679	-83,9859975

Imagen 0.7 Archivo mediciones generado por Matlab.

### 3.4 Pruebas y Ajuste de medición

Una vez diseñado el programa para la medición de la señal y captura de datos en MATLAB con la ayuda en conjunto del equipo 820T2 & SDR, se elaboraron pruebas de precisión para comprobar la funcionabilidad de los equipos y software al momento del censado al rango de frecuencias en estudio.

El código cuenta con varios parámetros para modificar el rango de frecuencia, el ancho de banda usado para recorrer el barrido completo, el numero de muestras que se desee recolectar, este es un parámetro importante ya que a medida que se cuente con mas muestras, se observara una señal mucho mas precisa pero esto será contraste para el procesamiento del equipo y se ve reflejado en el tiempo que le toma capturar un ciclo o barrido completo con mayor numero de muestras o menor, otro parámetro importante es el ancho de banda que se asigna para recorrer la banda de frecuencia en estudio, si este factor aumenta, entonces el barrido será completado más rápido y viceversa.

En consecuencia, luego de las pruebas variando parámetros, se decidió definir los parámetros:

- `nfft= 1024`; el número de transformadas de Fourier;
- `dec_factor =32`; modifica el ancho de los saltos del muestreo



para la ejecución del código, ya que dicha configuración permitió un mayor tiempo de medición que en otros casos, alcanzando un periodo de 20 horas seguidas sin ningún error, tomándole entre 60 y 70 segundos completar 1 ciclo, es decir sensar una vez toda la banda UHF de televisión. En la Imagen 3.8 se puede apreciar que se alcanzaron 1359 ciclos de manera consecutiva.



```
Command Window
progress = 80%
progress = 90%
progress = 100%

run time = 76.2329s

1359ciclos
-2.0000  20.0000  0.4040

progress = 10%
progress = 20%
```

*Imagen 0.8 Número de ciclos alcanzados en la captura de datos.*

### 3.5 Captura de datos y monitoreo de los equipos

Se ubicaron los equipos en el interior del edificio en tres pisos diferentes para la recolección de la data, el tiempo de duración para la obtención de los niveles de potencia fue de siete días consecutivos, en los cuales se mantuvo constante monitoreo de los equipos por sí ocurriera algún fallo.

Debido a la dificultad que genera el hecho de poder permanecer de forma presencial todo el tiempo al cuidado de operación de los equipos, se buscó una solución inmediata y practica para el monitoreo de dichos dispositivos mediante la aplicación conocida como *Teamviewer*, este software es muy útil para controlar equipos de forma remota desde un celular o a su vez desde otra computadora, de esta manera se logro observar de forma permanente el desempeño de los equipos al momento de capturar los datos, de esta manera, sí el algoritmo diseñado en Matlab sufría algún tipo de error o tropiezo en su ejecución, se volvería factible observar de inmediato y proceder a su solución de forma remota, así como muchas veces a reiniciar la captura de los datos

para no perder la continuidad de valores de potencia en el tiempo y contar con un modelo real de la banda de espectro en estudio, un ejemplo de lo explicado se lo puede observar en la Imagen 3.9.

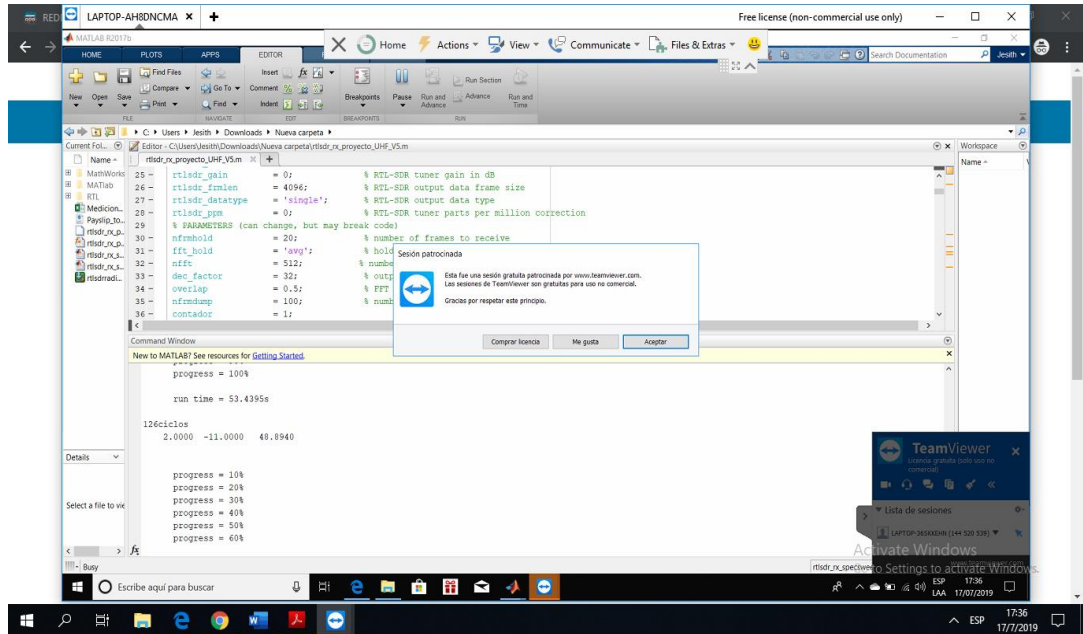


Imagen 0.9 Monitoreo de los ordenadores mediante el software Teamviewer

Al finalizar los siete días se extrajo la información recolectada y se retiró los equipos del edificio para continuar con el desarrollo del proyecto.

### 3.6 Diseño del procesamiento de datos

Una vez terminado el proceso de captura, se tomó la data del archivo Mediciones.xlsx para su revisión, como era de esperarse las mediciones contenían millones de datos por lo cual era necesario una reducción de ellos sin perder información ni la continuidad de la señal capturada, entonces se comenzó a separar de acuerdo por canales la cantidad de datos de todo el barrido de la banda UHF para luego analizarla de manera minuciosa con el fin de eliminar datos aberrantes producidos por alguna anomalía en el proceso de

medición; como por ejemplo el cruce de alguna persona por el área de censado, lo cual ocasionaría una recepción de niveles de potencia errónea.

Esta medida resulta de gran importancia a la hora de predecir con la red neuronal, debido que, al trabajar con inteligencia artificial, el algoritmo aprenderá a trabajar y predecir con estos datos erróneos, lo cual se quiere evitar por lo tanto el problema al ser visto como una serie de tiempo, es fundamental que el histograma de potencia este depurado lo mejor posible para poder obtener un mejor entrenamiento y buenos resultados en la predicción.

De esta manera se organizaría una matriz por canales y tiempo de medición o ciclos de barrido del algoritmo.

Una vez ordenada de manera específica los datos, se procedió a calcular los promedios de cada conjunto de valores por canal para cada ciclo, pero esto sería un trabajo sin fin para hacerlo de manera manual, ya que se trata de una Big Data; entonces se diseñó un programa capaz de calcular la media por canal y además de esto tomar una sola muestra por minuto, o sea que si el algoritmo capturo dos o mas ciclos en un solo minuto también sean promediados a un solo valor por canal, parte del código se lo puede observar en la Imagen 3.10.

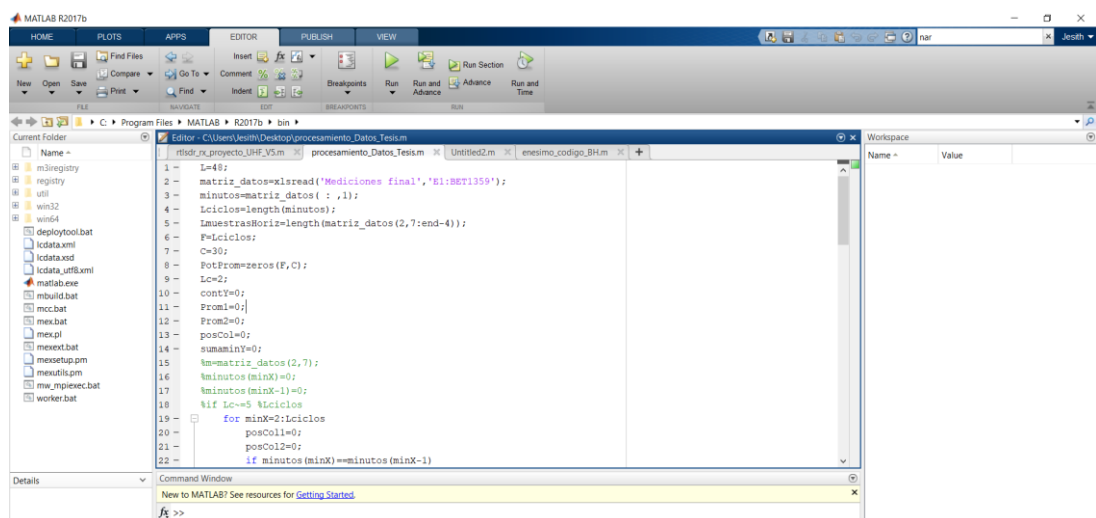


Imagen 0.10 Código para el procesamiento de Datos

Después de la implementación del algoritmo creado en MATLAB para la reducción de la exhaustiva cantidad de valores, se dividió la data para las diferentes etapas de ejecución de la predicción con las redes neuronales que son: entrenamiento, validación y predicción de este modo el desempeño del software mejorará al momento de su inicialización.

### 3.7 Diseño de la red Neuronal

El método de predicción que se implementó para este proyecto fue una Red neuronal autorregresiva no lineal (NARNET), ya que nos permite predecir valores futuros de  $y(t)$  dado “d” valores pasados de la misma señal. En la Imagen 3.11 podemos observar el diagrama de bloques de la red.

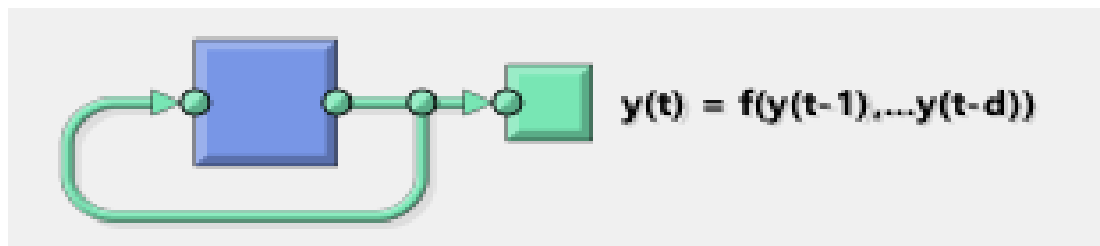


Imagen 0.11 Esquema de una NARNET

Para ello se elaboró un script, teniendo como primer paso la creación de la estructura de la red mediante el comando “narnet(feedbackDelays,hiddenSizes,trainFcn)”; en el cual ingresamos los siguientes parámetros:

- feedbackDelays. - Define el número de datos de delay de la red neuronal.
- hiddenSizes. - Establece el número de neuronas ocultas.
- trainFcn. - Indica el algoritmo que será usado en la etapa de entrenamiento de la red neuronal.

Para el diseño se asignaron los valores de: 1:15, [8 4 2] y ‘traingdx’. La Imagen 3.12 se muestra la RNA en Matlab.

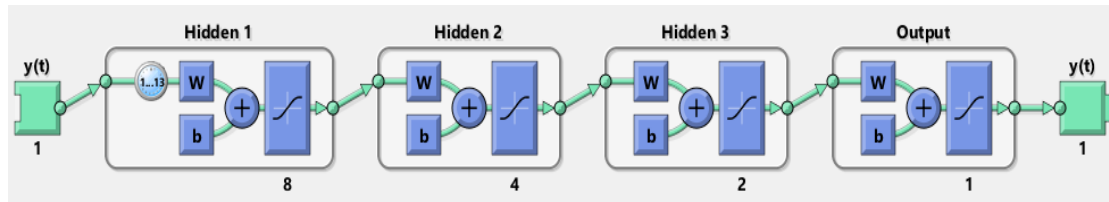


Imagen 0.12 Red Neuronal generada en Matlab

Después de crear la red, se procedió a fragmentar la información en 3 partes para las respectivas etapas de entrenamiento, validación y testeo de la red neuronal, tal como se puede apreciar en la Imagen 3.13. Para este diseño se consideró que el 70% de los datos ingresados se destinen al entrenamiento de la red, y el 15% tanto para la fase de validación como para la de testeo.

```
net.divideFcn = 'divideblock'; % Divide targets into three sets using blocks of indices
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;
```

Imagen 0.13 Separación de la información

Posteriormente, se definieron parámetros importantes para la fase de entrenamiento, como lo son la tasa de aprendizaje, el número máximo de épocas que puede ejecutar el algoritmo, el valor de error deseado para el proceso, etc. Dichos valores se pueden observar en la Imagen 3.14.

```
%TRAINING PARAMETERS
net.trainParam.show=150; %# of ephocs in display
net.trainParam.lr=0.1; %learning rate
net.trainParam.epochs=1000; %max epochs
net.trainParam.goal=0.05^2; %training goal
net.performFcn = 'mse'; % Mean Squared Error
```

Imagen 0.14 Parámetros de entrenamiento

El algoritmo usado para la fase entrenamiento fue el “**Variable Learning Rate Backpropagation**”, dado que el desempeño de una red neuronal es muy sensible a la configuración de su tasa de aprendizaje, la cual gracias a este algoritmo se irá modificando a medida que se va desarrollando la etapa de entrenamiento.[35]

Un algoritmo de backpropagation puede mejorar considerablemente su desempeño si permitimos que la tasa de aprendizaje cambie durante su proceso; es decir en cada época se calculan nuevos pesos y sesgos utilizando la tasa de aprendizaje actual y si el nuevo error supera al anterior, los nuevos pesos y sesgos se descartarán, provocando que la tasa de aprendizaje disminuya, caso contrario se mantienen los nuevos pesos y sesgos, mientras que la tasa de aprendizaje aumenta. [35]

Otra variable importante por considerar es la función de activación que tendrán las capas de la NARNET, para lo cual fueron consideradas las funciones de transferencia *log-sigmoid*, *tan-sigmoid*, y *Linear*; las cuales se presentan en la Imagen 3.15. Se realizaron pruebas con las todas las funciones de transferencia para establecer una comparación de sus resultados.

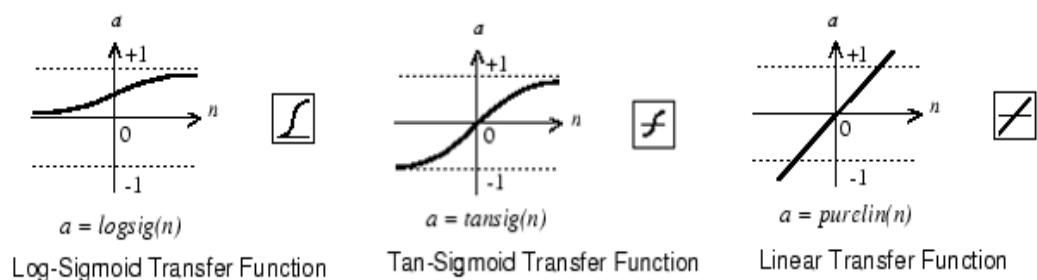


Imagen 0.15 Funciones de transferencias Log-Sigmoid, Tan-sigmoid y Linear.

Definidos estos parámetros, empieza el aprendizaje supervisado de la red utilizando la porción de información destinada, es decir el 70% de la data proporcionada para observar el comportamiento de la señal de entrada y el siguiente 15% para comparar las salidas generadas por la NARNET con respecto a las salidas deseadas proporcionadas.

Dado el algoritmo seleccionado, en cada época realizada se irá variando la tasa de aprendizaje hasta que exista el menor error posible entre las salidas generadas y las salidas deseadas. La medida del cálculo del error usado para el diseño fue el “**error cuadrático medio**” (MSE).

Obtenido el valor del MSE, este se compara con el valor de error objetivo definido entre los parámetros de entrenamiento, y si es igual o menor a este, el entrenamiento se dará por terminado.

Una vez terminado el entrenamiento, la red genera nuevas salidas, correspondientes al otro 15% de la etapa de testeo, y así poder calcular el performance de su predicción.

Finalmente, se procedió a crear un lazo cerrado para la NARNET, y así generar valores futuros en función de los pesos y sesgos generados en el periodo de entrenamiento, sin la necesidad de una entrada.

Estos valores serán a los cuales se les procederá a calcular la disponibilidad para establecer un porcentaje de confiabilidad en la predicción.

### 3.8 Diseño del proceso de cálculo de Disponibilidad

Luego de obtener los datos predichos por la red neuronal, se procederá a calcular su disponibilidad, tomando como referencia el valor normalizados de -77dBm para los sistemas de televisión ISDBT [36], que variará para cada canal dependiendo de sus niveles de potencia.

Antes de proceder al cálculo de disponibilidad, se validó que las salidas de la red neuronal sean normalizadas, es decir, se encuentren en un rango de 0 a 1, agregando la desviación estándar del canal como margen positivo y negativo, para mejorar la precisión de los valores predichos.

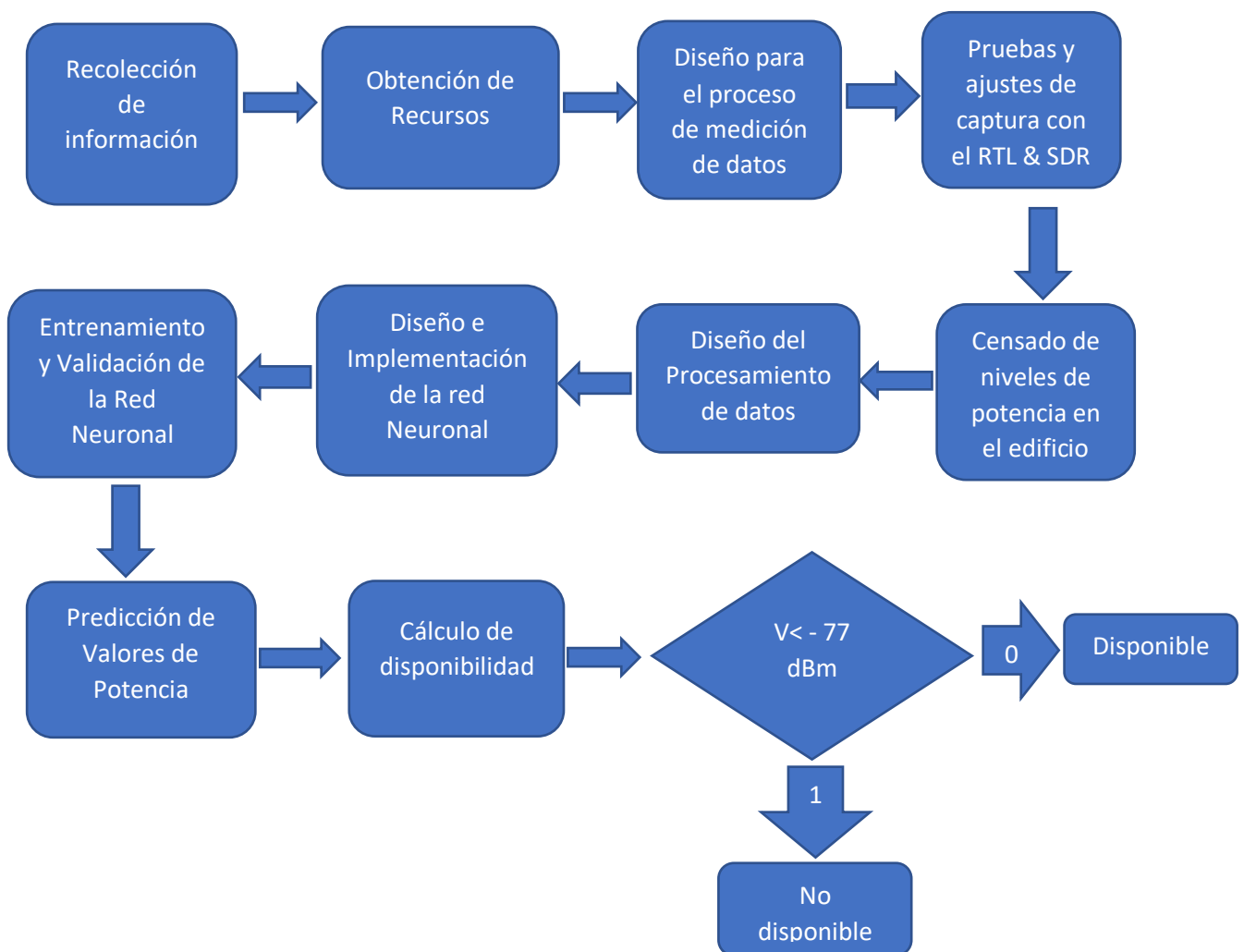
Luego se procedió a calcular la disponibilidad tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Si el dato predicho no se encuentra en el rango establecido por la desviación estándar, el valor de disponibilidad asignado será un "-1", lo cual indicará un error en la predicción.
- Sí el dato predicho se encuentra en el rango establecido por la desviación estándar y es mayor al umbral normalizado, el código arrojará un "1", el cual significa que no existe disponibilidad en ese canal.
- Sí el dato predicho se encuentra en el rango establecido por la desviación estándar y es menor al umbral normalizado, el código

arrojará un "0", lo cual significará que si existe disponibilidad en ese tramo de espectro.

Finalmente se elaboró una gráfica discreta de disponibilidad predicha, así como también la gráfica de disponibilidad real, de esta manera hacer evidente la similitud de las señales mencionadas. A partir de aquello se creó una gráfica del espectro predicho vs espectro real para establecer una comparativa y determinar si esta red neuronal es útil para la predicción del espectro o no.

### Diagrama de flujo del método de predicción elaborado





# Capítulo 4

## 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentarán las gráficas obtenidas en las simulaciones en MATLAB, mostrando las predicciones de disponibilidad de los canales que comprenden la banda UHF de televisión generadas por la NARNET. En primer lugar, se analizó la respuesta de la red neuronal usando datos proporcionados de 3 canales, uno que sea canal muy variante en su disponibilidad, otro que su variabilidad de disponibilidad sea poco frecuente y un canal en el cual tenga disponibilidad definida (sea libre o ocupado), variando la cantidad de información (N) ingresada en el algoritmo de predicción y la función de activación de las neuronas de cada capa. En nuestro análisis se usarán muestras de tamaño de 100, 500, 1000 y 4500 datos. Esto con el fin de calibrar los parámetros de la red neuronal, para posteriormente proceder a realizar el análisis de disponibilidad de los datos medidos. Los valores finales de los parámetros de la red neuronal se establecieron en base al canal de mayor varianza de los datos proporcionados, y después de esto, se procedió a calcular la disponibilidad de los canales medidos en el interior del edificio.

Las gráficas que serán objeto de nuestro análisis serán:

- El performance de la red en función de las épocas.
- La respuesta de la red en función de tiempo.
- La salida predicha vs la salida real trabajando a lazo cerrado.
- Disponibilidad predicha vs Disponibilidad Real.

De igual manera, se mostrarán tablas con respecto al número de errores de la red neuronal vs la varianza de los datos de entrada, así como del número de errores vs el canal correspondiente.

## 4.1 Canal de variabilidad alta

Para las siguientes pruebas, se utilizó un canal con varianza= 6.81 y la función de activación “purelin”, como lo podemos apreciar en la Figura 4.1. Se fue variando la cantidad de datos ingresados desde N=100 hasta 4500.

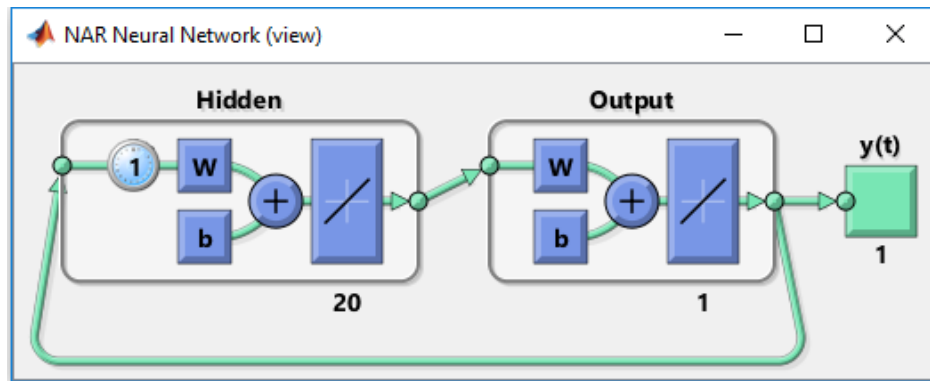


Figura 0.1 Esquema de la red neuronal usando la función de activación “Purelin”.

### 4.1.1 Funcion Purelin

#### 4.1.1.1 $N=100$

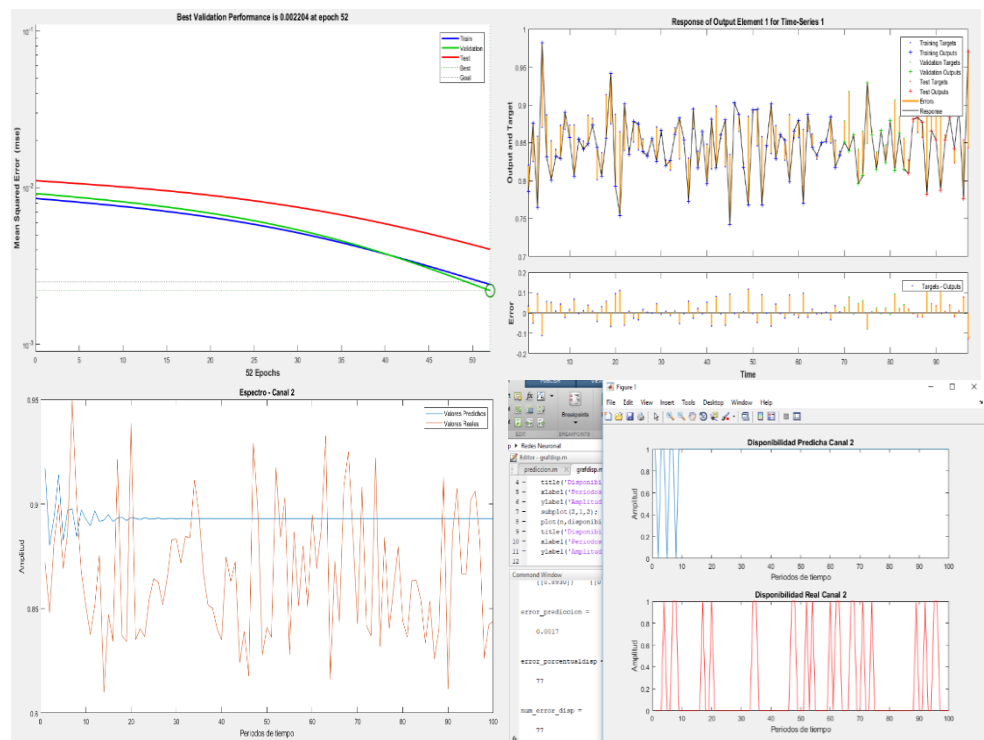


Figura 0.2 Respuesta de la red Neuronal con  $N=100$  y función de activación “purelin”

Como podemos observar en la Figura 4.2, la red necesita realizar 52 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, pero al realizar la predicción a lazo cerrado de los próximos 100 minutos, se puede observar que no se obtiene una buena estimación, obteniendo un error del 77% en el cálculo de la disponibilidad.

#### 4.1.1.2 N= 500

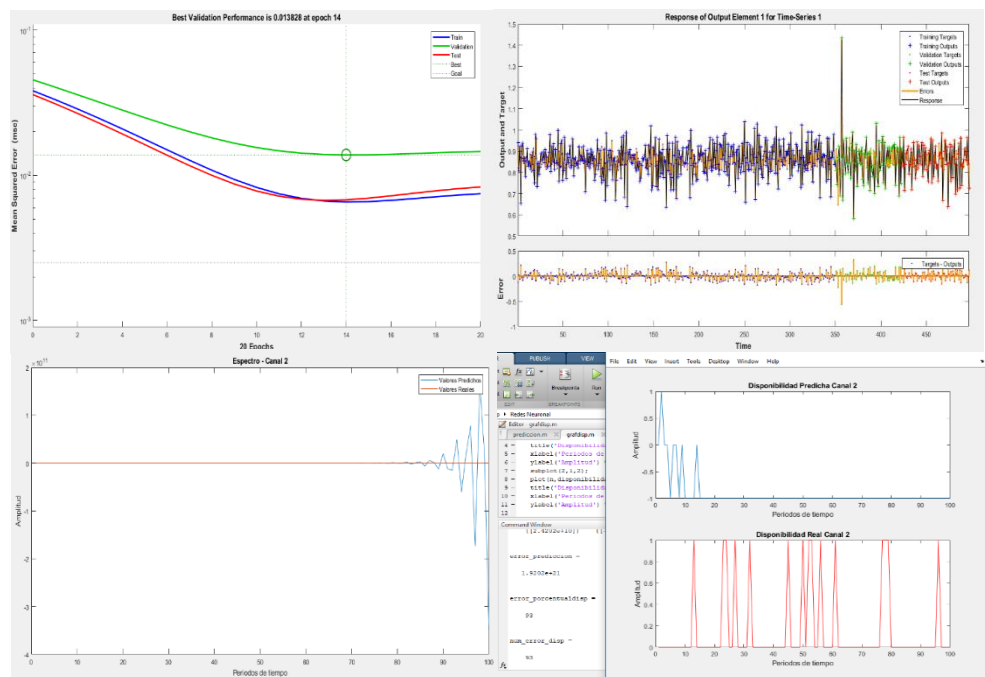


Figura 0.3 Respuesta de la red Neuronal con N= 500 y función de activación “purelin”

En la Figura 4.3 visualizamos que la red necesita realizar 20 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.5 durante la etapa del entrenamiento, pero al realizar la predicción a lazo cerrado de los próximos 100 minutos, los valores predichos se disparan llegando a números de  $10^{11}$ , provocando un error del 93% en el cálculo de la disponibilidad.

#### 4.1.1.3 N=1000

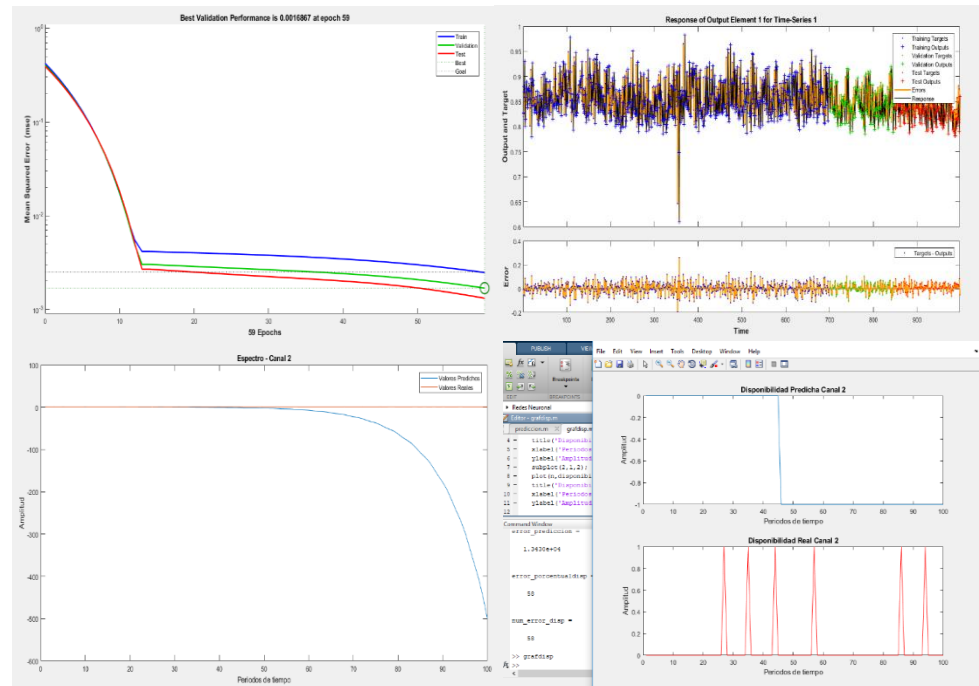


Figura 0.4 Respuesta de la red Neuronal con N= 1000 y función de activación “purelin”

En figura 4.4 se observa que la red en este caso realiza 59 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.2 durante la etapa del entrenamiento, y al realizar la predicción a lazo cerrado de los próximo 100 minutos, la red vuelve a proporcionar valores mayores a 1, pero más pequeños a comparación del caso anterior, produciendo un error del 58% en el cálculo de la disponibilidad.

#### 4.1.1.4 N=4500

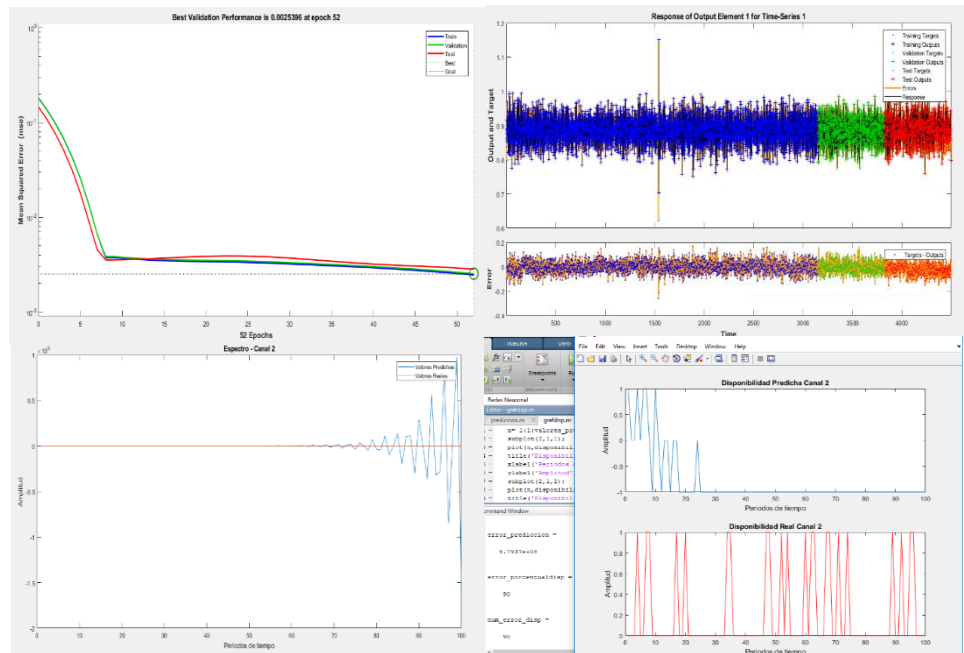


Figura 0.5 Respuesta de la red Neuronal con N= 4500 y función de activación “purelin”

Finalmente, en la Figura 4.5 se observa que se necesitaron 52 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.2 durante la etapa del entrenamiento, y al realizar la predicción a lazo cerrado de los próximos 100 minutos, la red vuelve a proporcionar valores considerablemente grandes como cuando se le proporcionó 500 datos, produciendo un error del 90% en el cálculo de la disponibilidad.

Una vez terminada estas pruebas, se cambió la función de activación “purelin” por la “logsig”, como lo podemos apreciar en la figura 4.6. De igual manera se fue variando la cantidad de datos ingresados desde N=100 hasta 4500.

### 4.1.2 Funcion Logsig

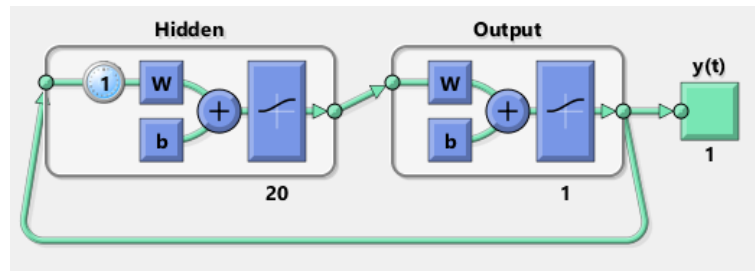


Figura 0.6 Esquema de la red neuronal usando la función de activación “logsig”.

#### 4.1.2.1 $N=100$

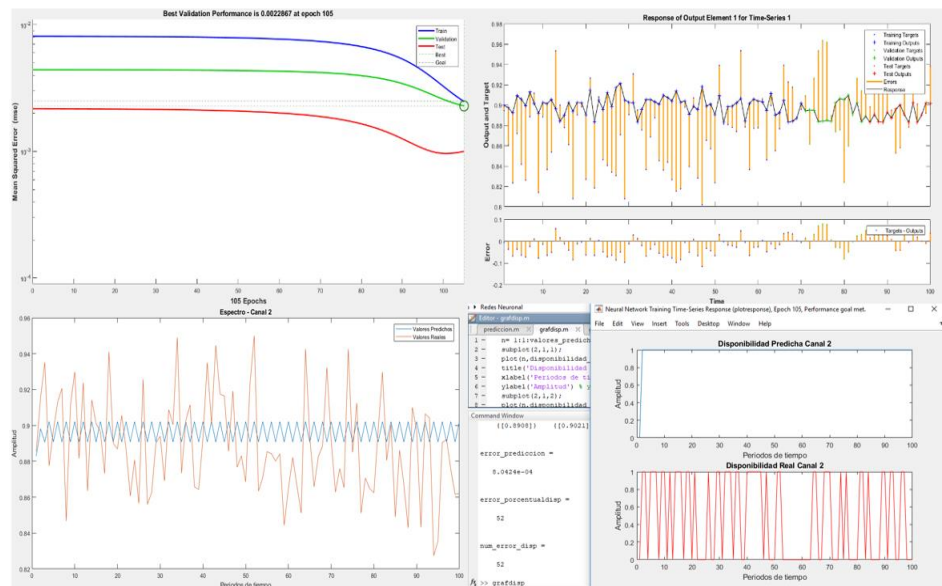


Figura 0.7 Respuesta de la red Neuronal con N= 100 y función de activación "logsig"

En la Figura 4.7 podemos ver que la red necesita 105 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, y después de la predicción a lazo cerrado de los próximos 100 minutos, se calcula la disponibilidad produciendo un error del 52%.

#### 4.1.2.2 N= 500

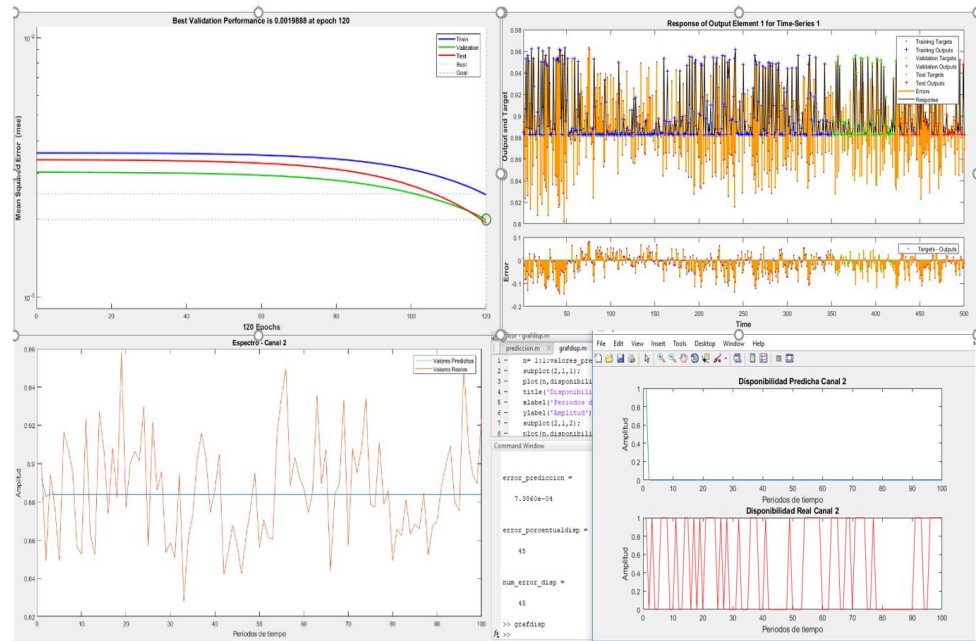


Figura 0.8 Respuesta de la red Neuronal con N= 500 y función de activación “logsig”

En la Figura 4.8, podemos observar que se necesitaron 105 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.2 durante la etapa del entrenamiento, y después de la predicción a lazo cerrado de los próximos 100 minutos, se calcula la disponibilidad produciendo un error del 45%.

#### 4.1.2.3 N= 1000

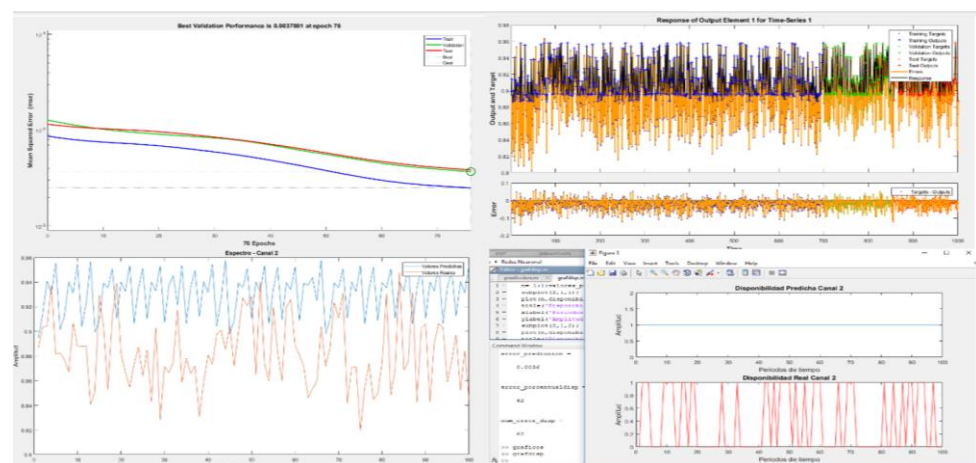


Figura 0.9 Respuesta de la red Neuronal con N= 1000 y función de activación “logsig”

En la Figura 4.9, se aprecia que se necesitan 76 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, de igual manera la predicción a lazo cerrado de los próximos 100 minutos, y el error del cálculo de la disponibilidad que para este caso es del 62%.

#### 4.1.2.4 N= 4500

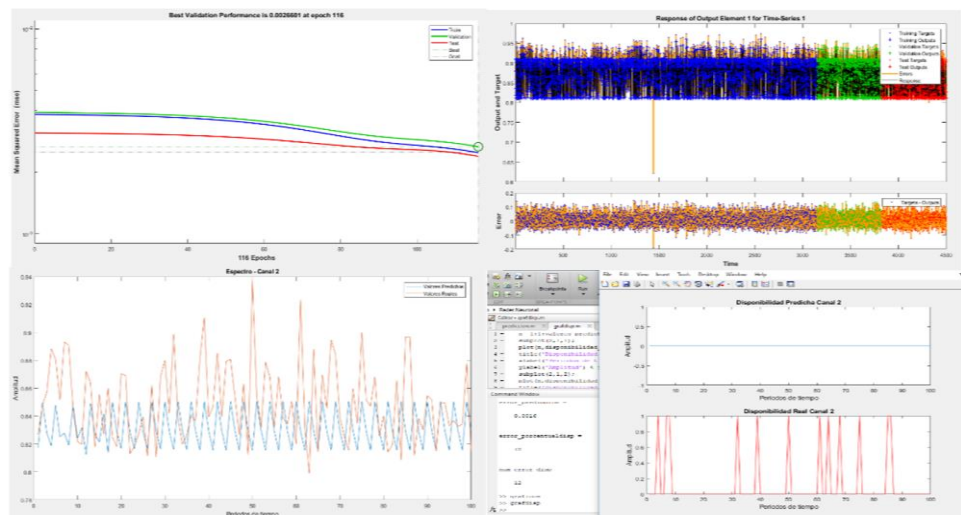


Figura 0.10 Respuesta de la red Neuronal con N= 4500 y función de activación “logsig”

En la Figura 4.10, se visualiza que la red realizó 116 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales vuelve a ser de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, y al ejecutar la predicción a lazo cerrado de los próximos 100 minutos, se obtuvo un error del 54% al calcular la disponibilidad del canal.

#### 4.1.3 Funcion Tansig



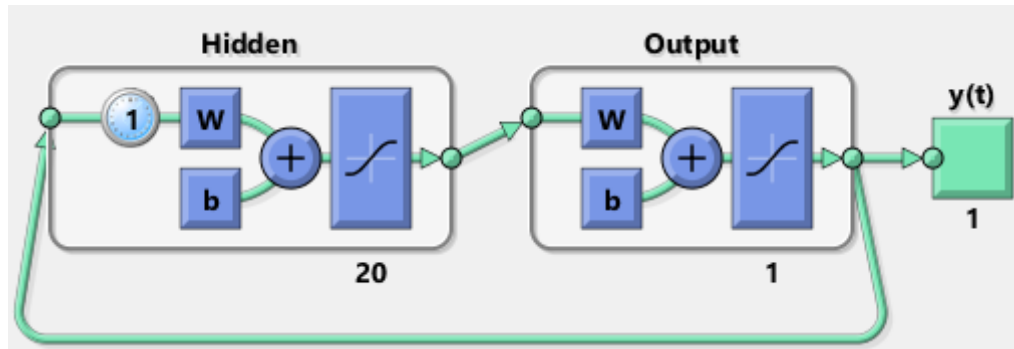


Figura 0.11 Esquema de la red neuronal usando la función de activación “tansig”.

#### 4.1.3.1 N= 100

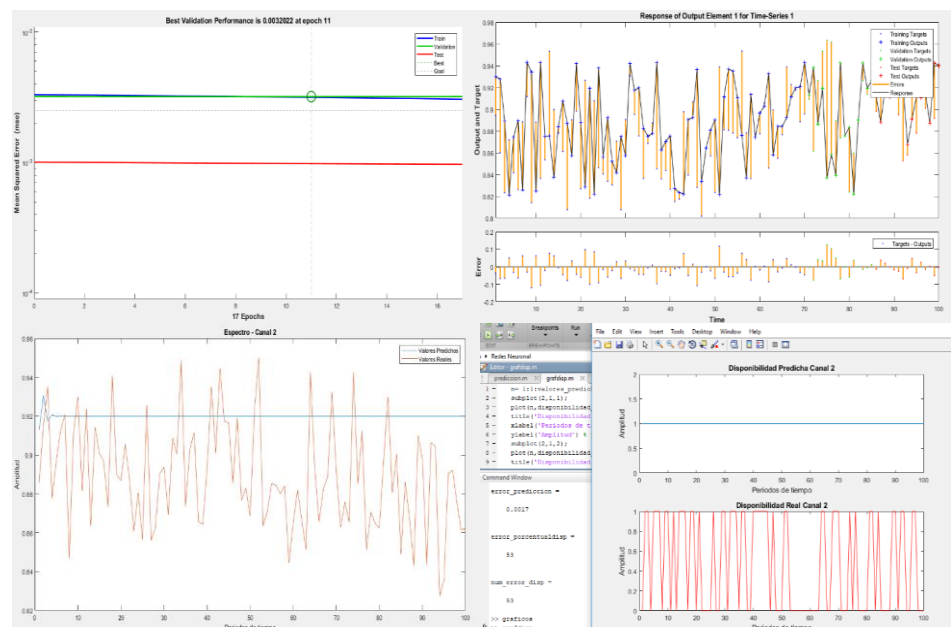


Figura 0.12 Respuesta de la red Neuronal con N= 100 y función de activación “tansig”

En la Figura 4.12, visualizamos que sólo fueron necesarias 16 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, y el error del cálculo de la disponibilidad que para este caso es del 53%

#### 4.1.3.2 N= 500

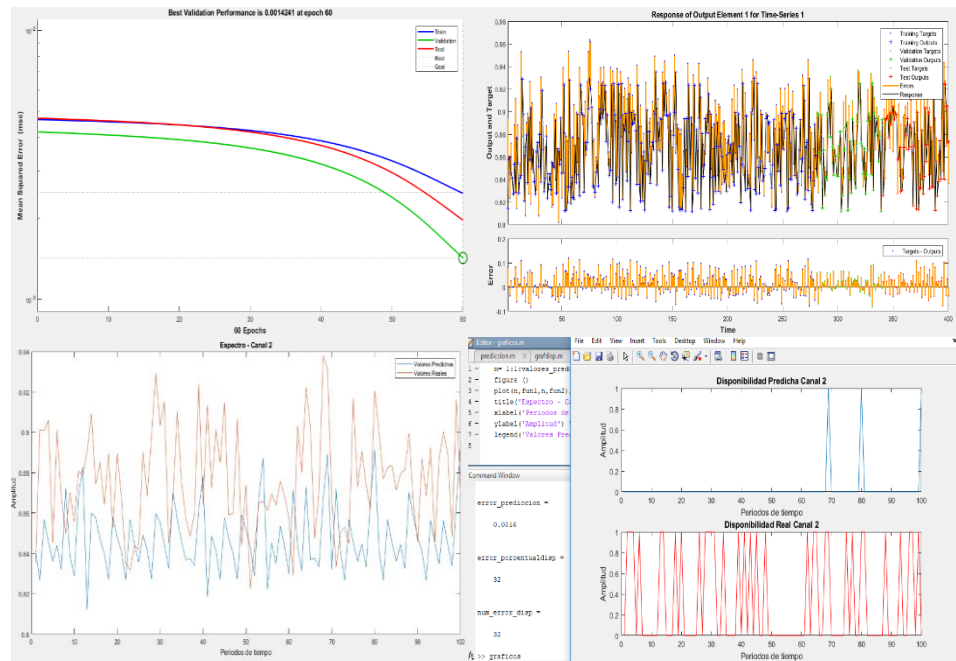


Figura 0.13 Respuesta de la red Neuronal con N= 500 y función de activación “tansig”

En la Figura 4.13, se puede ver que se necesitaron 60 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, y el error del cálculo de la disponibilidad que para este caso es del 32%.

#### 4.1.3.3 N= 1000

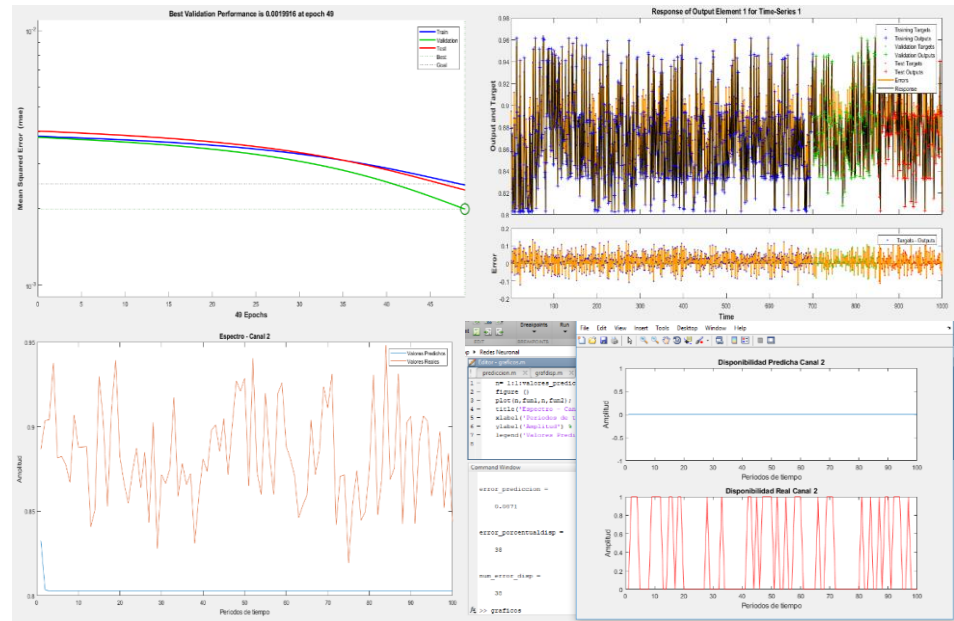


Figura 0.14 Respuesta de la red Neuronal con N= 1000 y función de activación "tansig"

En la Figura 4.14, se observa que se realizaron 40 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, y el error del cálculo de la disponibilidad que para este caso es del 38%.

#### 4.1.3.4 N= 4500

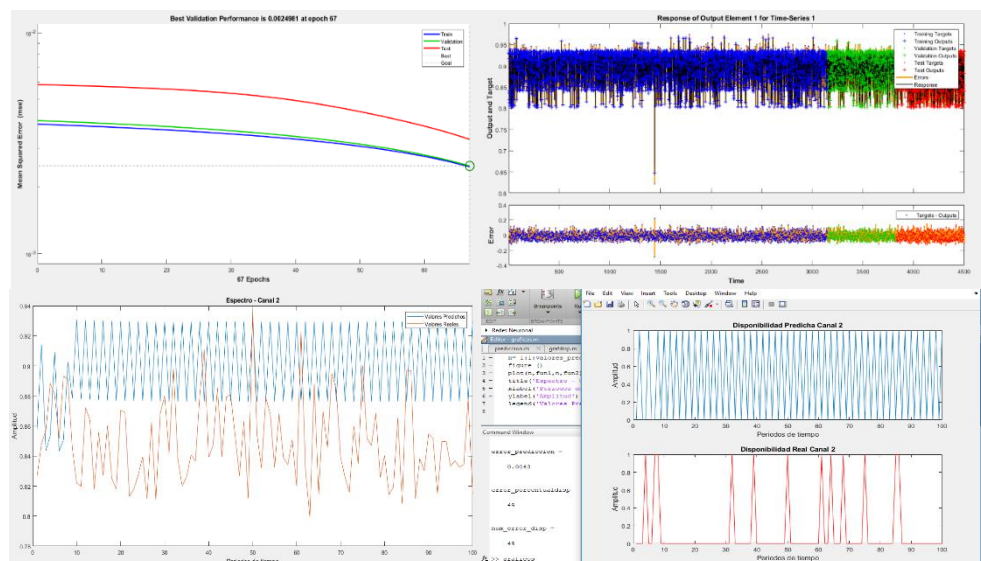


Figura 0.15 Respuesta de la red Neuronal con N= 4500 y función de activación "tansig"

En la Figura 4.15, se observar que se realizaron 67 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.3 durante la etapa del entrenamiento, y el error del cálculo de la disponibilidad que para este caso es del 49%.

#### 4.1.4 Funcion Logsig y Tansig

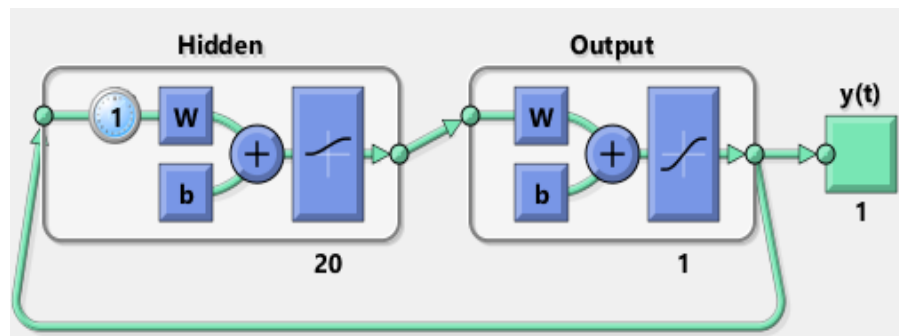


Figura 0.16 Esquema de la red neuronal usando la función de activación “Logsig - Tansig”.

##### 4.1.4.1 N= 100

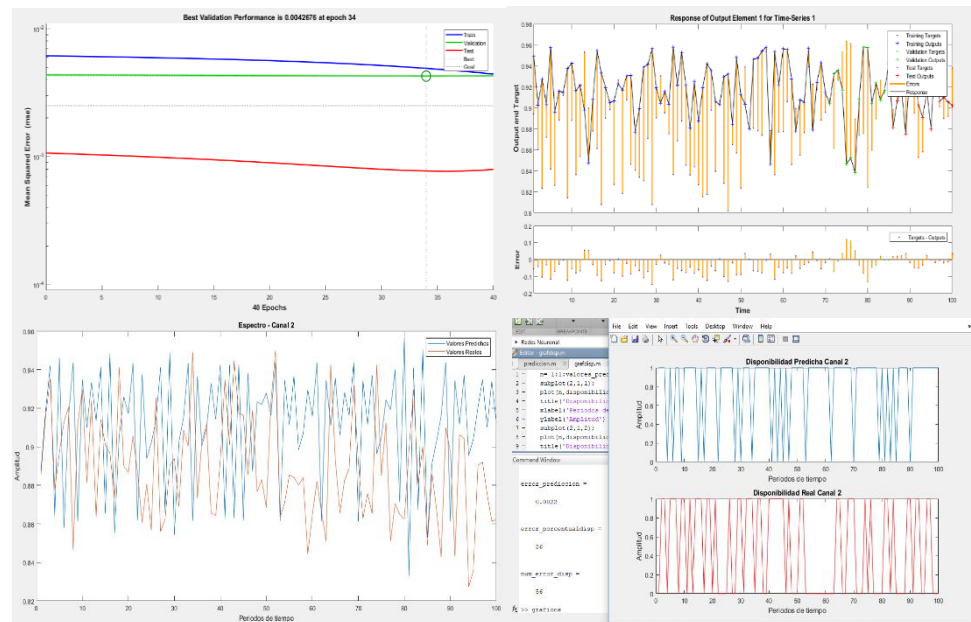


Figura 0.17 Respuesta de la red Neuronal con N= 100 y las funciones “logsig”-“tansig”.

En la Figura 4.12 se observar que se realizaron 40 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, y el error del cálculo de la disponibilidad que para este caso es del 56%, además, de observar una mayor semejanza entre la señal predicha y la real.

#### 4.1.4.2 N= 500

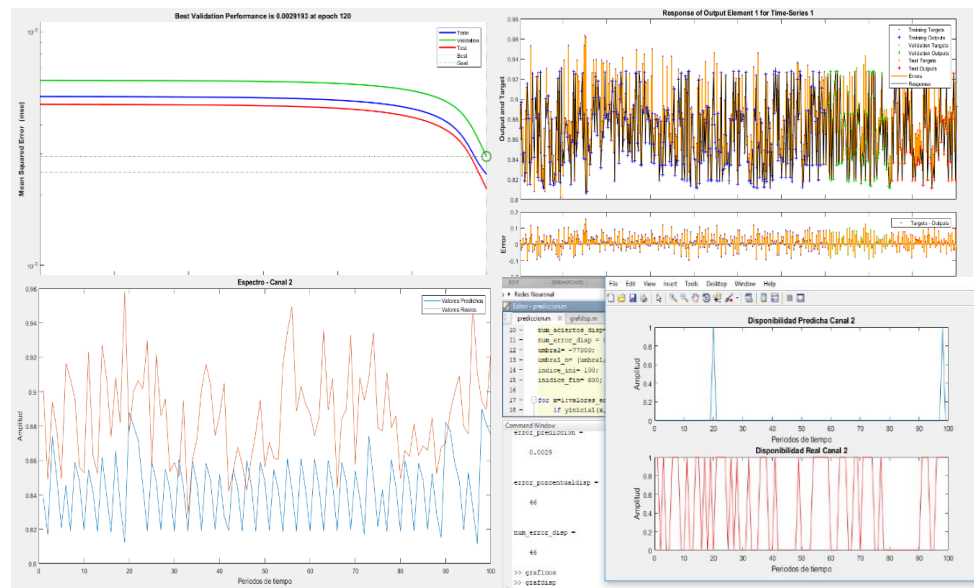


Figura 0.18 Respuesta de la red Neuronal con N= 500 y las funciones “logsig”-“tansig”.

En la Figura 4.13 se visualiza que se ejecutaron 120 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, y el error del cálculo de la disponibilidad es del 46%.

#### 4.1.4.3 $N = 1000$

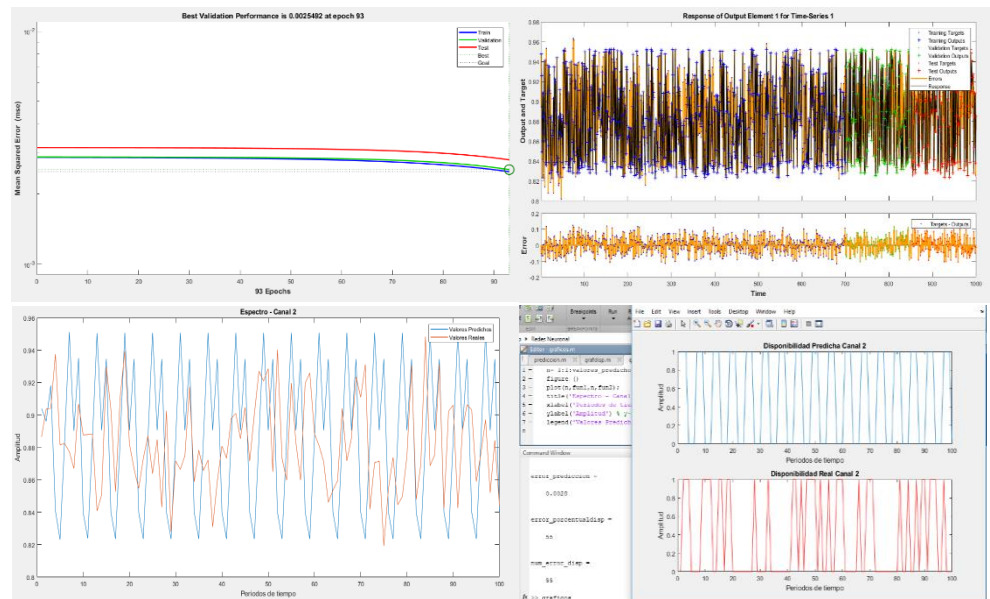


Figura 0.19 Respuesta de la red Neuronal con  $N = 1000$  y las funciones “logsig”-“tansig”

En la Figura 4.14 se visualiza que se ejecutaron 93 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.1 durante la etapa del entrenamiento, y el error del cálculo de la disponibilidad es del 55%.

#### 4.1.4.4 $N = 4500$

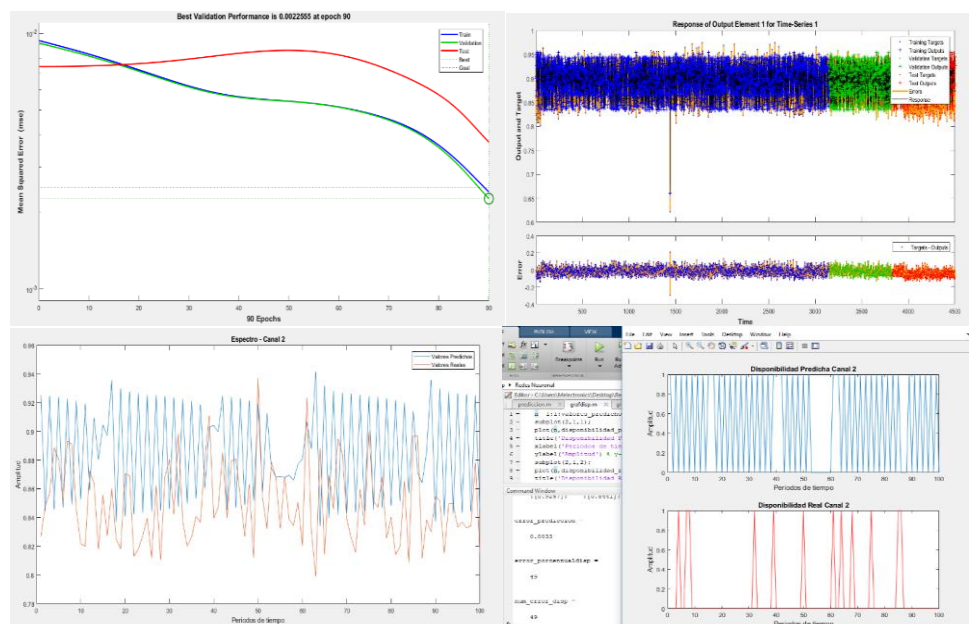


Figura 0.20 Respuesta de la red Neuronal con  $N = 4500$  y las funciones “logsig”-“tansig”



En la Figura 4.15 se visualiza que se ejecutaron 90 épocas para alcanzar el “error goal” definido. La máxima distancia entre los valores predichos y reales es de 0.2 durante la etapa del entrenamiento, y el error del cálculo de la disponibilidad es del 49%.

## 4.2 Canal 9 con variabilidad media.

### 4.2.1 Funcion Logsig y Tansig

#### 4.2.1.1 $N=100$

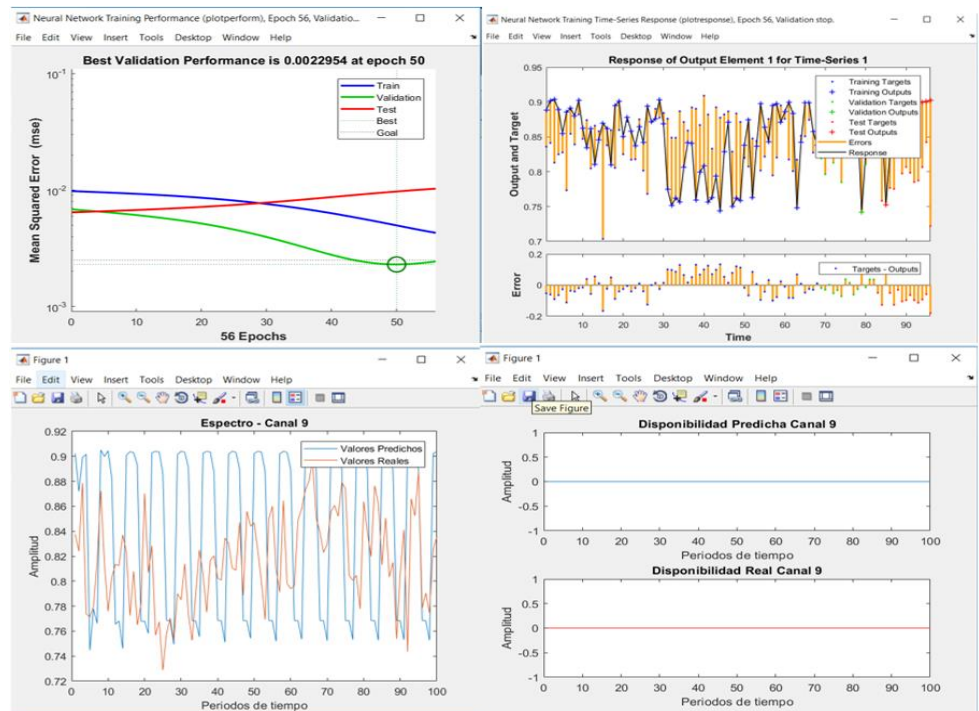


Figura 0.21 Resultados canal 9 con  $N=100$  y las funciones “logsig”- “tansig”

#### 4.2.1.2 N=500

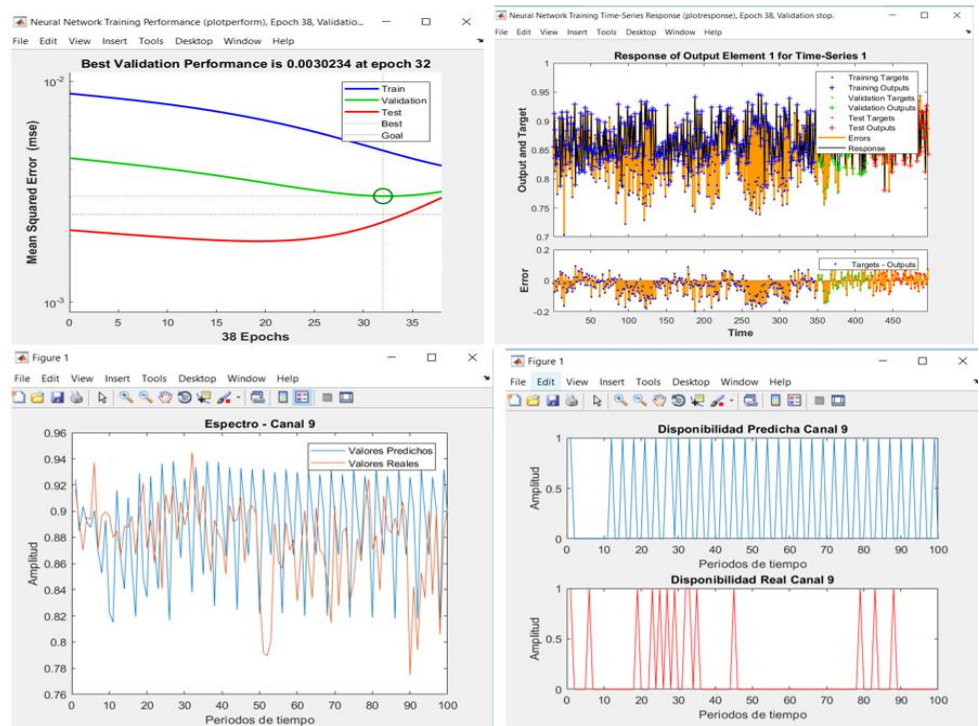


Figura 0.22 Resultados canal 9 con N= 500 y las funciones "logsig"- "tansig"

#### 4.2.1.3 N=1000

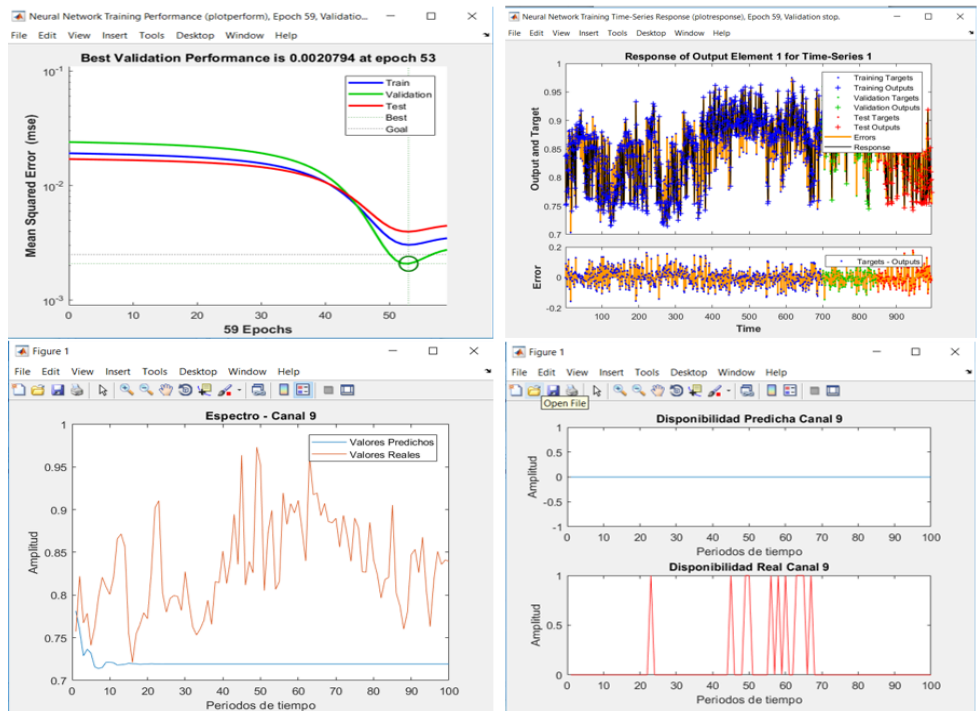


Figura 0.23 Resultados canal 9 con N= 1000 y las funciones "logsig"- "tansig"



#### 4.2.1.4 N=4500

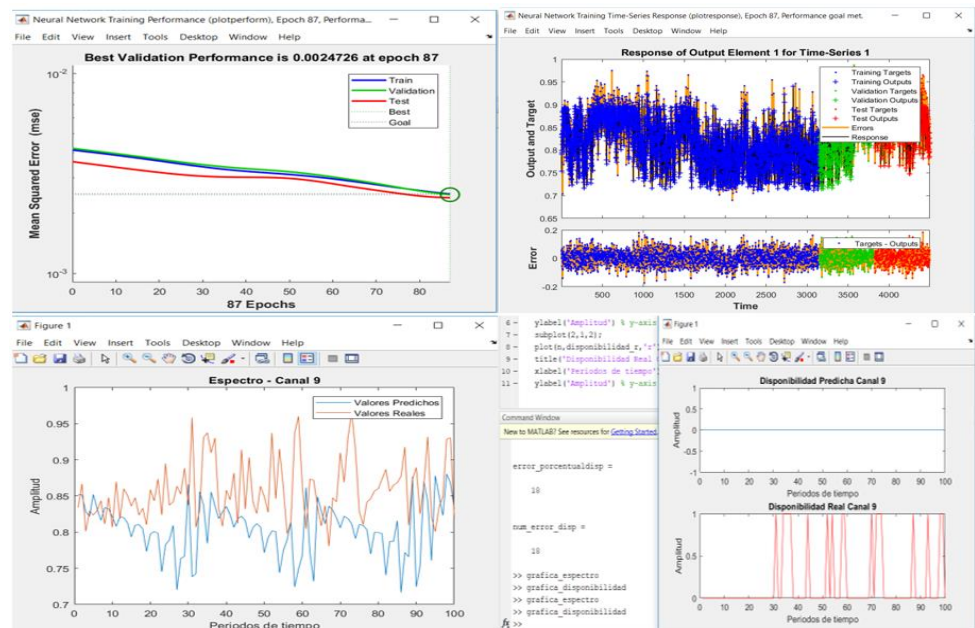


Figura 0.24 Resultados canal 9 con N= 4500 y las funciones “logsig”-“tansig”.

Podemos observar que esta ultima grafica los resultados arrojan una prediccion de espectro mucho mas semejante a su comportamiento real, sin embargo se puede mejorar la prediccion de disponibilidad depurando datos aislados, sin mencionar que para canales con menor actividad, el error disminuiri.

### 4.3 Canal 1 con variabilidad baja.

#### 4.3.1 Funcion Logsig y Tansig

##### 4.3.1.1 N=100

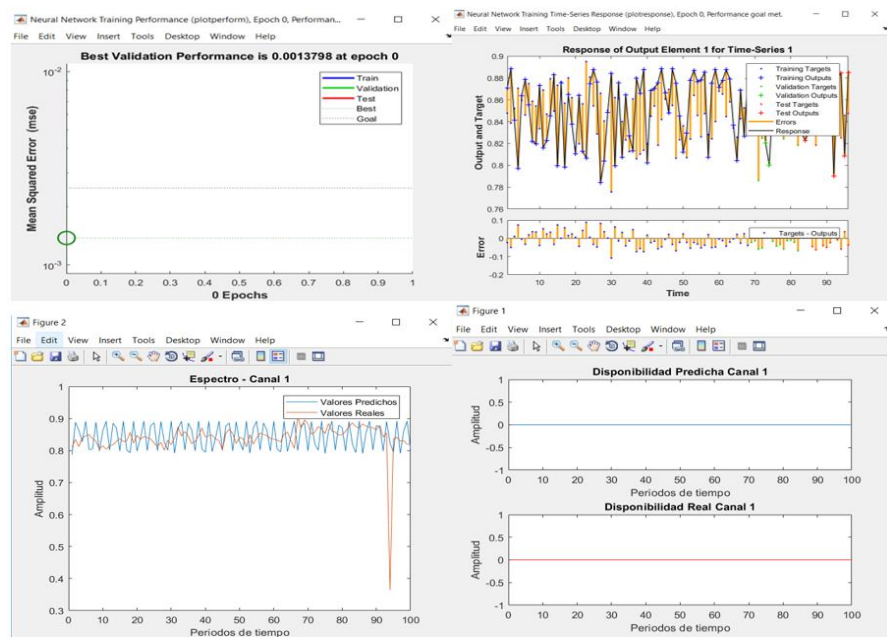


Figura 0.25 Resultados canal 1 con  $N=100$  y las funciones "logsig" - "tansig"

#### 4.3.1.2 $N=500$

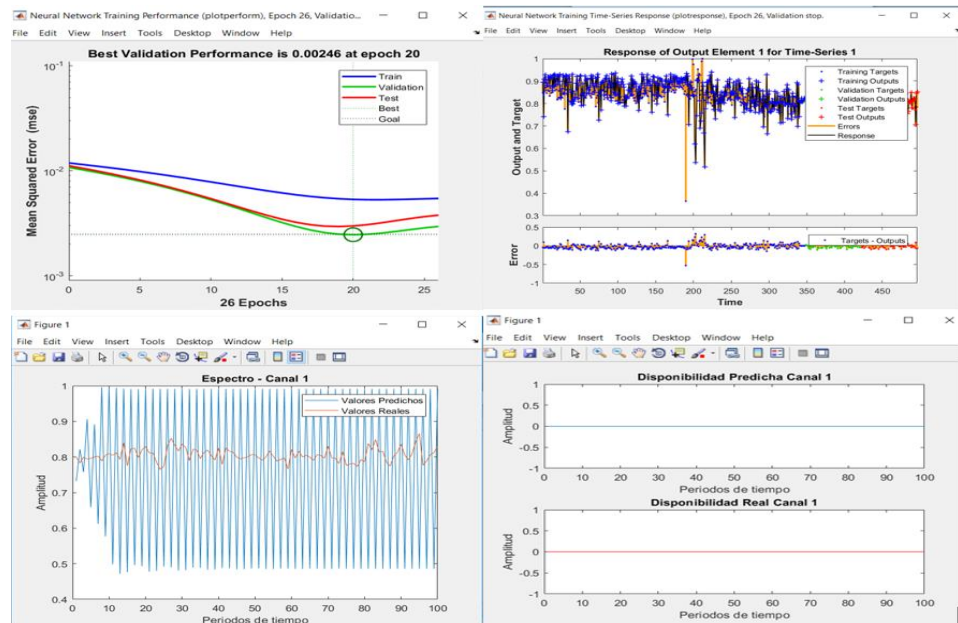


Figura 0.26 Resultados canal 1 con  $N=500$  y las funciones "logsig" - "tansig".

#### 4.3.1.3 $N=1000$

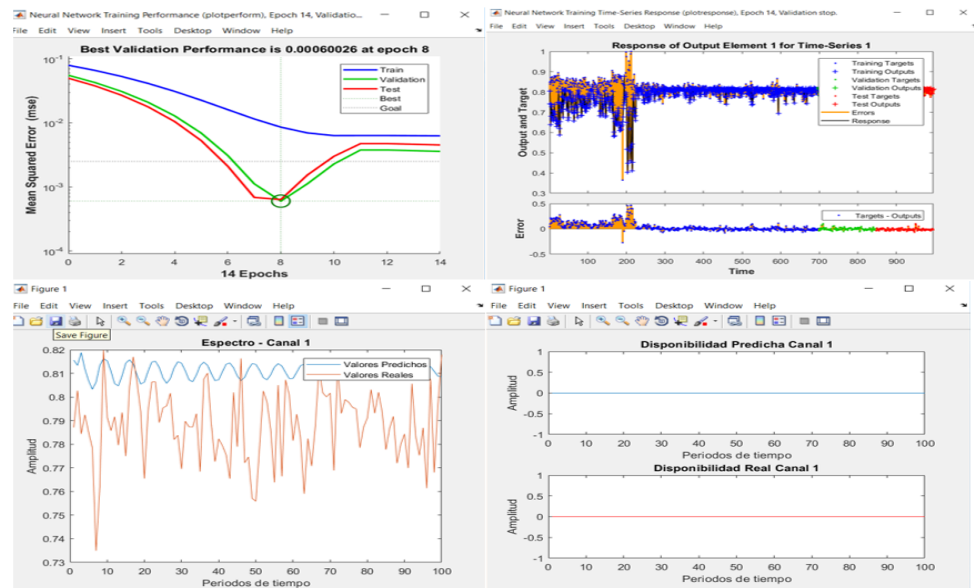


Figura 0.27 Resultados canal 1 con  $N=1000$  y las funciones “logsig”-“tansig”

#### 4.3.1.4 $N=4500$

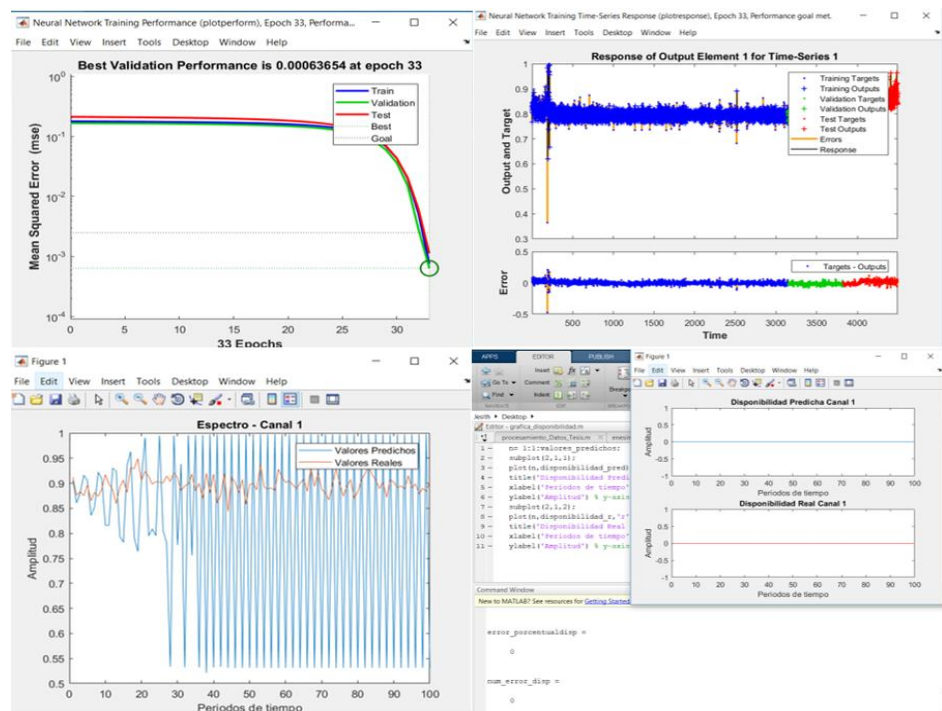


Figura 0.28 Resultados canal 1 con  $N=4500$  y las funciones “logsig”-“tansig”

Finalmente al elegir en la primera capa una función logarítmica y en la segunda capa una función tangente se puede notar que en la gráfica de performance con 4500 datos se obtiene un menor error en solo 33 épocas, el cual significa un menor procesamiento del

algoritmo, en la segunda gráfica de respuesta de los elementos de salida se evidencia una distancia muy cercana entre valores reales y predichos.

#### 4.4 Modelo de red neuronal con tres capas ocultas y funciones de activación no lineales.

Luego de finalizado las simulaciones con las diferentes funciones de validación se analizaron mejores resultados con las funciones no lineales, especialmente la tansig.

El paso siguiente será realizar pruebas para determinar el numero de capas necesarias para que la red tenga un error mas estable.

##### 4.4.1 Modelo de tres capas ocultas con funciones de activación no lineales para canal con alta variabilidad.

La red que se usara tendrá como estructura tres capas ocultas como se muestra en la Figura 4.27 y determinando el numero de neuronas en cada una de estas, con 8, 4 y 2 neuronas respectivamente.

Además se ajusto también el numero de épocas maximas para la red.

##### 4.4.1.1 $N=200$

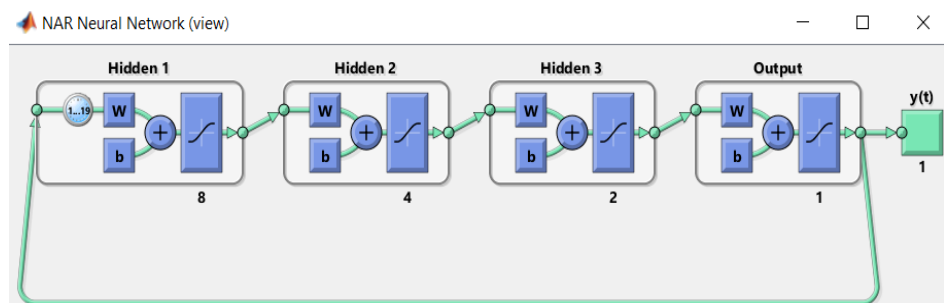


Figura 0.29 Estructura de la red con tres capas ocultas

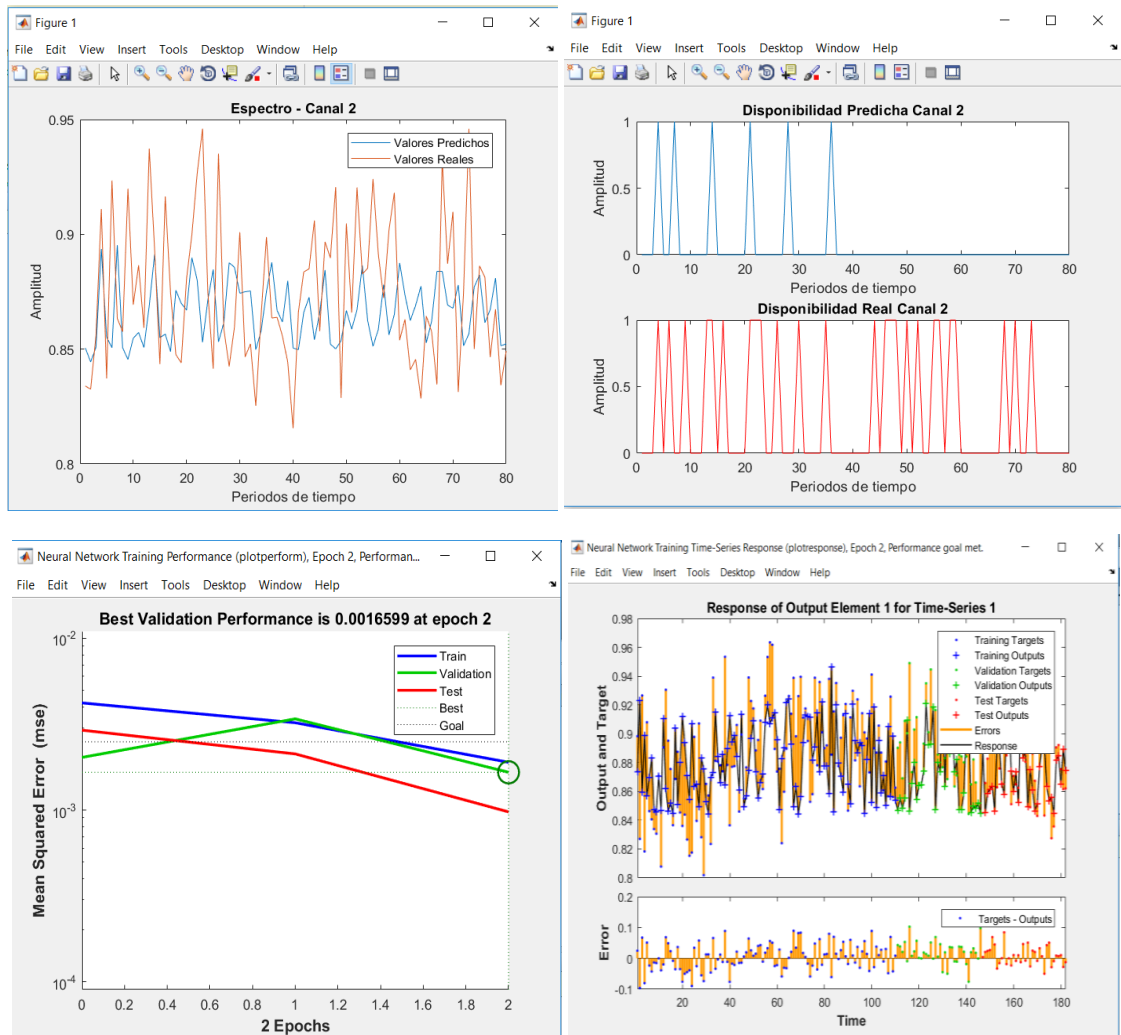


Figura 0.30 Resultados canal 2 con  $N=200$  muestras y tres capas ocultas en la red.

En estos resultados se puede observar que las graficas en el canal mas variante presentan una mejor aproximación del espectro y por ende de disponibilidad. La red esta diseñada con 200 muestras, obteniendo un error del 31.25%.

#### 4.4.2 Tres capas ocultas en la red con funciones de activación no lineales para un canal con variabilidad media.

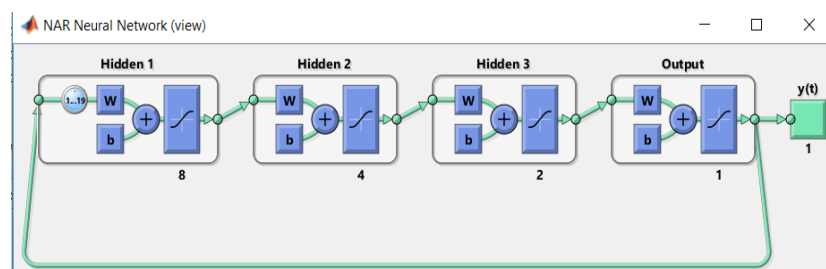


Figura 0.31 Estructura de la red neuronal con tres capas ocultas

#### 4.4.2.1 $N=200$

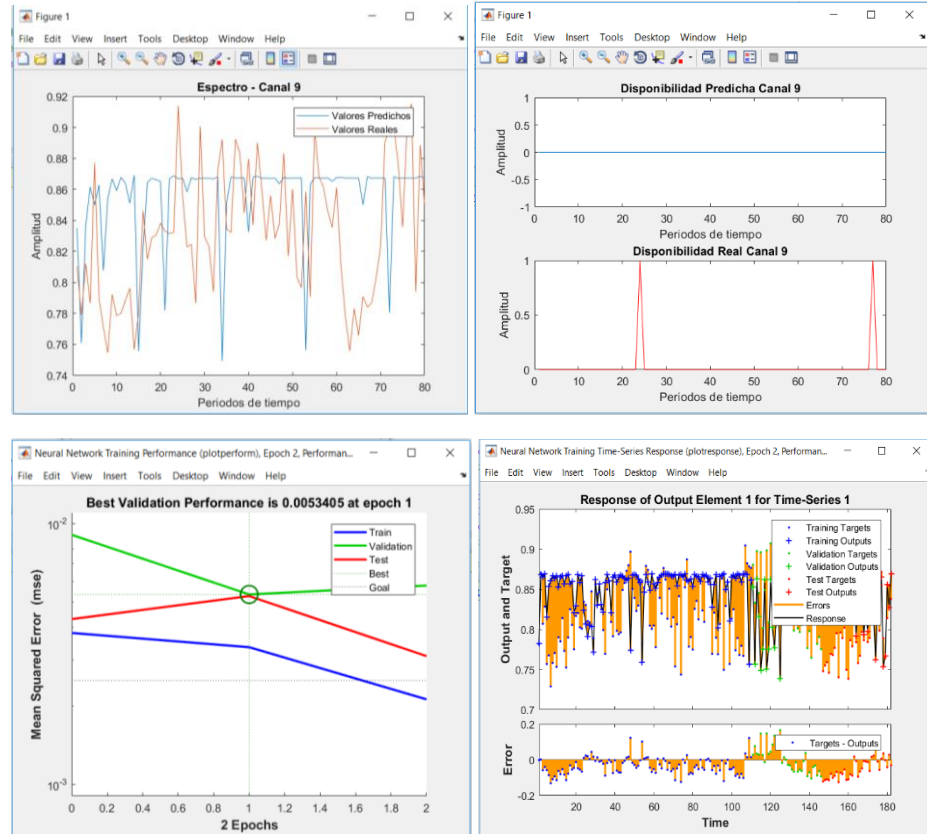


Figura 0.32 Resultados canal 9 con  $N= 200$  muestras y tres capas ocultas en la red.

La Figura 4.30 muestra los resultados del canal con variabilidad media obteniendo menos errores de disponibilidad por la naturaleza del mismo canal.

4.4.3 Tres capas ocultas en la red con funciones de activación no lineales para un canal de variabilidad baja.

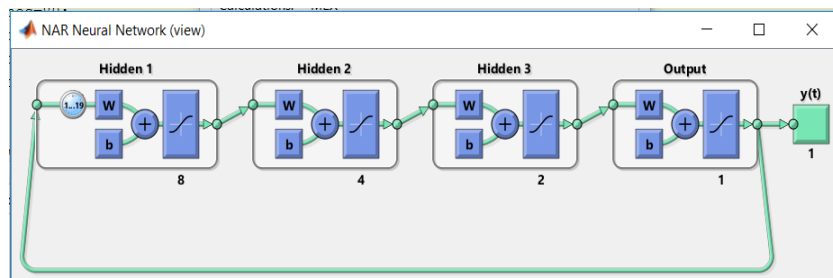


Figura 0.33 Estructura de la red neuronal con tres capas ocultas

#### 4.4.3.1 $N=200$

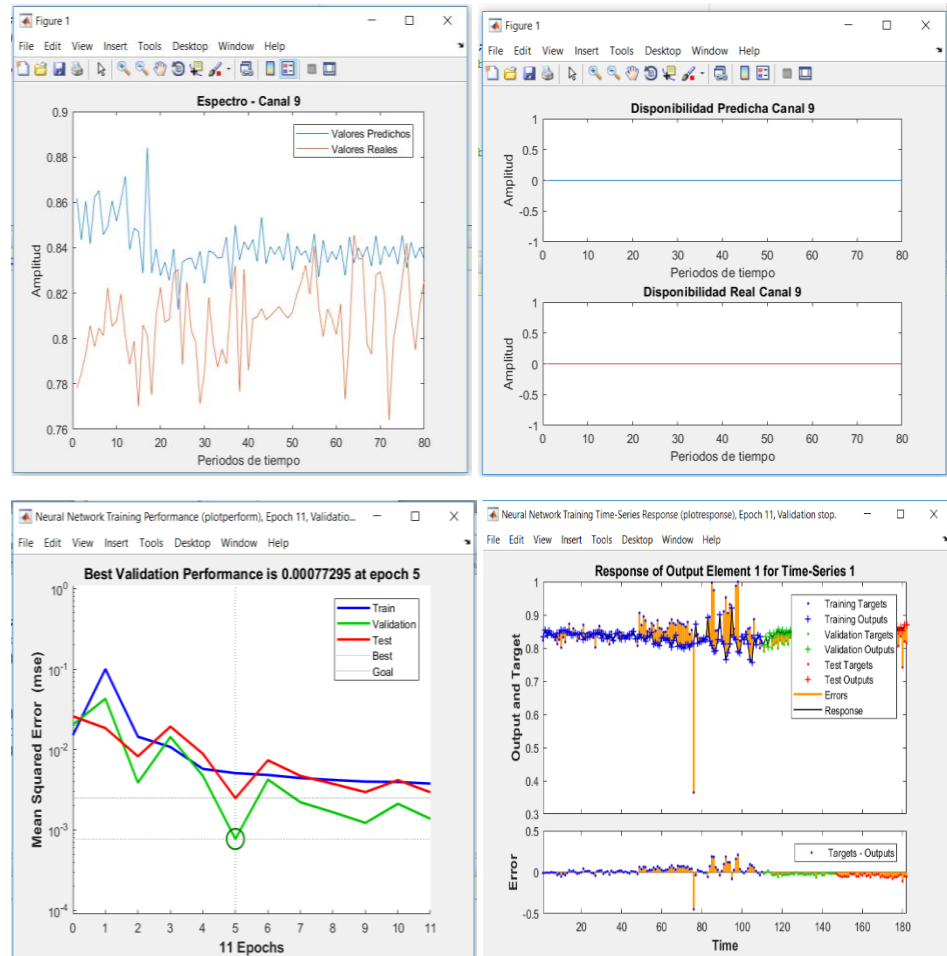


Figura 0.34 Resultados canal 1 con  $N=200$  y tres capas ocultas en la red.

En la Figura 4.32 se puede observar cero errores presentados al simular la red con un numero de muestras de  $N=200$  y debido que este canal presentaba mayor tiempo con niveles de potencia bajos, el error fue muy bueno y fácil para la red predecirlo.

#### 4.5 Cálculo de porcentaje de error de los canales procesados.

Una vez terminado las simulaciones con la red de tres capas ocultas, se procedió a elaborar la Tabla 4.1 con los canales simulados (alta, media y baja variabilidad), para determinar los parámetros que influyen en los errores obtenidos, la cual nos ayudó a determinar una tasa de variación, que fue obtenida a partir de la división de la varianza de datos con respecto al umbral y la varianza de los datos ingresados,



	Cantidad de Datos Ingresados	Varianza de la data	Varianza con respecto umbral	%error (100 pred)	%error (500 pred)	%error (1000 pred)	Rate (Vumb/Vdata)
Canal A	100	2.669	231.661	0	0	0	86.79692769
	500	7.7854	277.5251	0	0	0	35.64686464
	1000	5.5896	306.905	0	0	0	54.90643338
	4500	5.6362	329.8621	0	0	0	58.5256201
Canal B	100	7.7899	10.3625	47	48	45	1.330248142
	500	7.6458	14.238	22	10	11	1.862198854
	1000	4.7277	5.6758	53	50	52	1.20054149
	4500	5.4527	9.0748	38	49	44	1.664276414
Canal H	100	5.6457	10.8704	20	42	33	1.925429973
	500	9.2613	9.5318	60	77	79	1.029207563
	1000	9.5654	19.3238	12	20	31	2.020176888
	4500	8.928	10.4034	82	21	11	1.165255376
Canal J	100	10.4768	22.1056	5	11	17	2.109957239
	500	8.1308	16.7646	10	21	18	2.061863531
	1000	6.0149	11.2119	14	16	22	1.864021014
	4500	7.2997	18.5062	0	1	2	2.535200077

0-1 Tabla de resultados de prediccion en canales de disponibilidad variable.

Se observó que si el valor de esta tasa de variabilidad era mayor a 2.5, nuestra red presenta una confiabilidad del 98%, si el valor se encuentra entre 2 y 2.5 la confiabilidad baja hasta un 80%, y si la tasa se acerca a 1, la confiabilidad de la red es del 20%. Dicho comportamiento se visualiza en la figura 4.33.



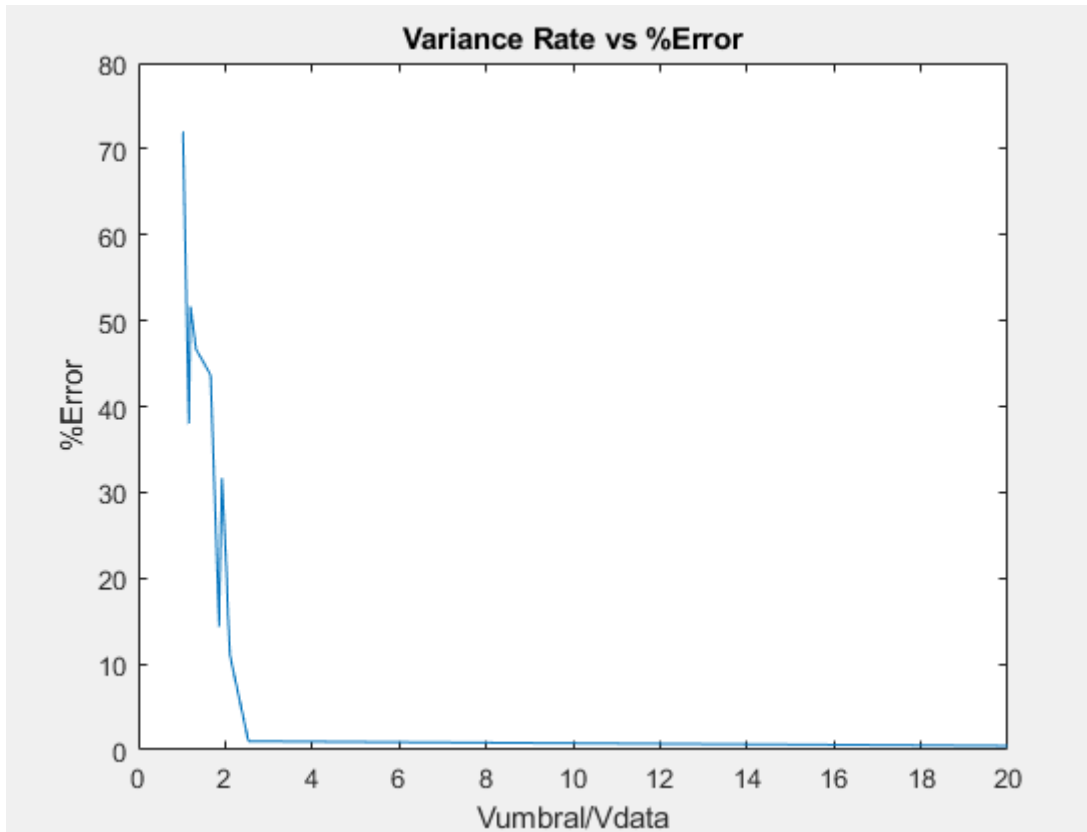


Figura 0.33 Tasa de Varianza vs %Error.

#### 4.6 Cálculo de disponibilidad de los canales de TV de la banda UHF

Una vez terminadas las pruebas con los datos proporcionados de los canales proporcionados, se procedió a usar la NARNET con tres capas ocultas para la predicción de la disponibilidad con los datos medidos en los 3 pisos establecidos dentro del edificio. Se calculará la disponibilidad de los grupos de canales G2 y G4 para la banda UHF de televisión que le corresponden a la ciudad de Guayaquil, tal como lo establece la ARCOTEL. [37]

##### 4.6.1 Disponibilidad Piso 1

A continuación, en la Tabla 4.2 donde se especifica el canal, su varianza, la cantidad de valores de disponibilidad predichas, y el número de errores cometidos al predecir.

Canal	Varianza_datos	Varianza_Umbral	Rate_Varianzas	%error (100pred)
22	0.084	18.45	217.66	0
24	0.0874	18.5	211.662	0
26	0.4068	19.14	47.055	0
28	0.1201	18.65	115.34	0
30	0.0849	18.7752	211.1761	0
32	0.081	18.7817	231.808	0
34	0.0913	18.7655	205.634	0
36	0.082	18.7712	228.8618	0
38	0.1222	18.7746	153.5994	0
40	0.0805	18.7735	233.0858	0
42	0.0828	18.7712	226.77	0
44	0.0807	18.7768	232.6223	0
46	0.082	18.7771	228.86	0
48	0.0812	18.7759	0.9341	0

*Tabla 0-2 Resultados de la predicción hecha en el Piso 1 del edificio.*

#### 4.6.2 Disponibilidad Piso 2

A continuación, en la Tabla 4.2 se especifica el canal, su varianza, la cantidad de valores de disponibilidad predichas, y el número de errores cometidos al predecir.

Canal	Varianza_datos	Varianza_Umbral	Rate_Varianzas	%error (100 pred)
22	0.0946	19.6345	207.6579	0
24	0.1247	19.3774	155.3531	0
26	0.2921	19.9718	68.3745	0
28	0.2804	19.7561	70.4555	0
30	2.6717	20.4146	7.641	0
32	1.2164	21.2812	17.4947	0
34	0.8338	18.7247	22.4562	0
36	0.6981	18.6935	26.7782	0
38	1.6383	21.8013	13.3071	1
40	0.0905	19.7654	218.3462	0
42	0.1043	19.8813	190.5335	0
44	0.0892	19.848	222.4672	0
46	0.1133	19.7337	174.1506	0
48	0.0921	19.7833	214.8467	0

*Tabla 0-3 Resultados de la predicción hecha en el Piso 2 del edificio.*

#### 4.6.3 Disponibilidad Piso 3

La Tabla 4.3 especifica el canal, su varianza, la cantidad de valores de disponibilidad predichas, y el número de errores cometidos al predecir.

Canal	Varianza_datos	Varianza_Umbra	Rate_Varianzas	%error (100pred)
22	1.9706	18.4691	9.3722	0
24	1.1774	18.4801	15.6959	0
26	4.6858	18.8895	4.0313	0
28	2.0367	18.7374	9.1999	0
30	2.0358	18.6804	9.176	1
32	0.6144	18.6962	30.4322	0
34	0.2173	18.5645	85.428	0
36	0.246228	18.5551	74.6228	0
38	5.8507	19.0843	3.2619	2
40	0.0827	18.6341	225.4469	0
42	0.2918	18.6394	63.8843	0
44	0.0818	18.6458	227.915	0
46	0.1261	18.6354	147.7388	0
48	0.0817	18.6418	228.2092	0

*Tabla 0-2 Resultados de la predicción hecha en el Piso 3 del edificio.*

Por último, se procedió establecer la disponibilidad de estos canales, usando la mediciones obtenidas del día viernes para los tres pisos. dichas simulaciones se predijeron 100 minutos a partir del medio día. Se puede observar que la red de 3 capas ocultas acierta en el 99% de los casos.

Canal	Disponibilidad Real	Disponibilidad Predicha
22	Disponible	Disponible
24	Disponible	Disponible
26	Disponible	Disponible
28	Disponible	Disponible
30	Disponible	Disponible
32	Disponible	Disponible
34	Disponible	Disponible
36	Disponible	Disponible
38	Disponible	Disponible
40	Disponible	Disponible
42	Disponible	Disponible
44	Disponible	Disponible
46	Disponible	Disponible
48	Disponible	Disponible

*Tabla 0-3 Prediccion disponibilidad Piso 1 con 100% de confiabilidad*

Canal	Disponibilidad Real	Disponibilidad Predicha
22	Disponible	Disponible
24	Disponible	Disponible
26	Disponible	Disponible
28	Disponible	Disponible
30	Ocupado	Ocupado
32	Ocupado	Ocupado
34	Disponible	Disponible
36	Ocupado	Ocupado
38	Disponible	Disponible
40	Disponible	Disponible
42	Disponible	Disponible
44	Disponible	Disponible
46	Disponible	Disponible
48	Disponible	Disponible

*Tabla 0-4 Prediccion disponibilidad Piso 2 con 100% de confiabilidad*

Canal	Disponibilidad Real	Disponibilidad Predicha
22	Ocupado	Ocupado
24	Ocupado	Ocupado
26	Ocupado	Ocupado
28	Ocupado	Ocupado
30	Ocupado	Ocupado
32	Ocupado	Ocupado
34	Disponible	Disponible
36	Ocupado	Ocupado
38	Ocupado	Ocupado
40	Disponible	Disponible
42	Variante	Disponible
44	Disponible	Disponible
46	Disponible	Disponible
48	Disponible	Disponible

*Tabla 0-5 Prediccion disponibilidad Piso 3 con 80% de confiabilidad*

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

Una vez capturado los datos con el equipo 820T2 & SDR se pudo comprobar que dicho dispositivo era muy sensible a cambios repentinos como movimiento, procesamiento de equipos externos como la computadora con la que se trabaje, entre otros; debido que, constantemente presentaba paradas repentinas al momento de ejecución del código. Además, al analizar diferentes métodos de predicción, se llegó a la conclusión de que las redes neuronales presentan un mejor desempeño al momento de tratarse de valores de señales que involucren un modelo no lineal, como es el caso del espectro radioeléctrico.

Uno de los puntos mas importantes que resaltar en las redes neuronales que se pudo constatar es que, siendo este un método de inteligencia artificial, la cantidad de neuronas y capas que se les otorgue en el algoritmo que lo constituyen serán muy contundentes al momento de obtener resultados con mayor precisión.

El software MATLAB fue una herramienta de vital importancia para el proyecto, gracias a su diversas librerías y aplicaciones, tanto para el procesamiento de los datos censados, como para la implementación de un algoritmo predictivo mediante la elaboración de un script. Dado que la cantidad de datos sobrepasaban los millones; se decidió que, la mejor opción era promediar los valores por canal y por tiempo, de esta manera se podría trabajar de manera eficiente con todos los datos y proveer al algoritmo de predicción información completa y de señal continua en el tiempo.

Luego de someter a diversas pruebas a la red neuronal, se llegó a la conclusión de que esta, es un buen método de predicción de disponibilidad para los canales de la banda UHF de televisión de media y baja variabilidad, dado que para los canales con alta variabilidad presenta errores.

La NARNET implementada es muy sensible a la tasa de varianza obtenida en el capítulo 4, ya que a medida que el valor de esta va aumentando, los errores en la predicción disminuyen.

Además se logró comprobar que a mayor altura se contará con menos disponibilidad en los canales de la banda UHF de televisión; debido que los niveles de potencia del espectro radioeléctrico alcanzan niveles mayores en los pisos superiores. Dado que el equipo 820T2 & SDR tiene una ganancia pequeña de cinco dBm, los valores en la captura de la señal no resultarán en los óptimos y será necesario colocar los equipos en un lugar con mayor altura y con menos obstáculos para evitar pérdidas de señal por reflexión, esto se puede visualizar con una analogía sobre las antenas usadas para la recepción de la señal en un equipo de tv, como por ejemplo una antena con un rango menor a 13dB de ganancia es indispensable que este instalado cerca del repetidor de la señal, otra con un rango entre 14dB a 16dB podrían alejarse del repetidor pero no demasiado y tener en cuenta que no exista mayor obstáculo de obstrucción, por otro lado las antenas con ganancia mayor a 16dB se pueden colocar en los exteriores alejados del repetidor sin mayor problema.[38]

Por último el estudio determinó que se cuenta con mayor disponibilidad en el piso uno para la implementación de sistemas de comunicación dentro de un edificio que usen técnicas de acceso dinámico al espectro como lo es OSA.



## Recomendaciones

Al momento de colocar los equipos en la etapa de captura de datos, recordar que el equipo 820T2 & SDR tiene una ganancia pequeña de cinco dBm, los valores en la captura de la señal no resultarán en los óptimos y será necesario colocar los equipos en un lugar con mayor altura y con menos obstáculos para evitar pérdidas de señal por reflexión. Por otro lado es recomendable colocar los ordenadores portátiles y los RTL en un ambiente climatizado, debido a que el tiempo al cual estarán expuestos a trabajar es considerablemente largo, y así evitar que la temperatura de los equipos aumente significativamente y su desempeño se vea afectado.

Se debe tener presente que existen varios metodos de predicción, pero es recomendable primero analizar qué tipo de información se necesita predecir y de esta manera elegir un tipo de algoritmo que se adapte mejor a los datos para obtener mejores resultados.

Para un diseño mas minucioso de la red neuronal, se puede hacer uso de las herramientas que nos brindan el software libre como lo es Python, dado que el software MATLAB brinda un script basado en funciones donde muchos parámetros de la red no puede ser configurados fácilmente.

Para mejorar la efectividad de la predicción del espectro radioeléctrico, se recomienda añadir más señales de entrada que los niveles de potencia de cada canal, así como un procesamiento de datos más exhaustivo, considerando el piso de ruido de cada canal.

Por ultimo procurar ingresar data normalizada al algoritmo de predicción; dado que la NARNET alcanza un mejor desempeño de esta manera.

# REFERENCIAS

- [1] F. Swine. (2013, Octubre 26). BBC News [Online]. Available: [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/10/131025\\_tecnologia\\_banda\\_ancha\\_saturacion\\_espectro\\_amv\\_finde](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/10/131025_tecnologia_banda_ancha_saturacion_espectro_amv_finde)
- [2] K. Nishimori.; H. Yomo.; "Cognitive radio operation under directional primary interference and practical path loss models," IEICE Trans. Comu., Vol.E94-B, No.5 Mayo 2011.
- [3] D. Cruz H., G. Olmedo C., R. León V. "Análisis de disponibilidad de espectro radioeléctrico para la transición de Televisión Analógica a Televisión Digital Terrestre en el Ecuador," Quito, ESPE, Quito, Ecu. 2010. [Online]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4517/2/T-ESPE-032713-A.pdf>
- [4] D. Ospina, A. F Ocampo, R. Hincapié. "APLICACIÓN DE ESQUEMAS DE ACCESO OPORTUNISTA AL ESPECTRO EN AMBIENTES INALÁMBRICOS HETEROGÉNEOS", Telecomunicaciones e Informática, vol. 1, no. 1. 2011. [Online]. Available: <https://revistas.upb.edu.co/index.php/telecomunicaciones/article/view/1250>
- [5] A. Pulido. (2018, Septiembre 19. Algoritmos de predicción económica y empresarial. [Online]. Available: <https://www.antoniopulido.es/algoritmos-de-prediccion-economica-y-empresarial/>
- [6] Desconocido. (2014, noviembre). Rastreator [Online]. Available: <https://www.rastreator.com/telefonía/articulos-destacados/por-que-hay-que-resintonizar-la-tv.aspx>.
- [7] R. Muñoz. (2016, Febrero 16). El País [Online]. Available: [https://elpais.com/economia/2016/02/15/actualidad/1455562820\\_091618.htm](https://elpais.com/economia/2016/02/15/actualidad/1455562820_091618.htm)
- [8] admin. (2019, septiembre 9). "About RTL-SDR," [Online]. Available: <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>
- [9] Chang-Jun Yu, Yuan-Yuan He and Tai-Fan Quan, "Frequency Spectrum Prediction Method Based on EMD and SVR" from Institute of Electronic Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, China, 2008.
- [10] Qinkun Xiao and Yang Si, "School of Electronic Information Engineering Xi'an Technological University Xi'an." China, 2017.
- [11] Jerzy Łopatka, Krzysztof Malon and Michał Kryk, "Hybrid model of radio channels occupancy prediction for dynamic spectrum access" from Institute of Telecommunication, Faculty of Electronic, Military University of Technology, Warsaw, Poland, 2018.
- [12] Shibing Zhang, Jinming Hu, Zhihua Bao and Jianrong Wu, "Prediction of spectrum based on improved RBF neural network in cognitive radio" from School of Electronics and Information, Nantong University, Nantong, China and Library, Nantong University, Nantong, China, 2013.

- [13] A. Medina, M. Villalba, "Diseño de un algoritmo predictivo para el análisis de disponibilidad de canales y el uso eficiente de sistemas con acceso oportunista al espectro basado en el modelo k-vecinos más cercanos," Ing. Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2018. [Online]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44836>
- [14] C. Babillo, G. Torres, "Diseño de algoritmos para comprobar y determinar la disponibilidad de canales conjuntos UHF-TV en el interior de un inmueble de una zona urbana de Guayaquil, a partir de mediciones espectrales," Ing. Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2018. [Online]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44797>
- [15] J. Triana, A. Mera, "Diseño de un algoritmo de predicción de canales disponibles en el rango de frecuencia asignada a televisión basado en el método oculto de Markov para lograr acceso dinámico al espectro en ambientes Indoor en zonas urbanas," Ing. Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2018. [Online]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44796>
- [16] J. Lopez, J. Ubilla, "Diseño de algoritmo de predicción para analizar y detectar la disponibilidad espectral en canales libres o subutilizados de la banda UHF-TV en el interior de un edificio usando redes neuronales artificiales," Ing. Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2018. [Online]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44809>
- [17] Varios, Espectro Radioeléctrico. [Online]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>
- [18] "Wireless, LAN (WLAN)," [Online]. Available: [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/tech/wireless-2f-mobility/wireless-lan-wlan/index.html](https://www.cisco.com/c/es_mx/tech/wireless-2f-mobility/wireless-lan-wlan/index.html)
- [19] R. Bordón, S. Montejo, "La Radio Cognitiva y su Impacto en el Uso Eficiente del Espectro de Radio," Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, vol.36, no.1, abril 2015. [Online]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282015000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282015000100004)
- [20] Comunicación Inalámbrica - Radio Cognitiva y Radio Trunking, 2012, diciembre 5. [Online]. Available: <https://davidcominablambrica2012.blogspot.com/2012/12/radio-cognitiva-y-radio-trunking.html>
- [21] L. Pedraza, F. Forero, I. Páez. "Detección de espectro para radio cognitiva," Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 20, N° 2, pp. 197-210, 2012. [Online]. Available: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-33052012000200007&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-33052012000200007&script=sci_arttext)
- [23] E&Q Engineering, 2010. "Radio Definida por Software," [Online]. Available: <http://www.eqeng.com/site/es/node/38>
- [22] M. Husain, 2011, diciembre. "Cognitive radio network architecture - Opportunistic Data Dissemination in Ad-Hoc Cognitive Radio Network," [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Cognitive-radio-network-architecture-Figure-taken-from-1\\_fig2\\_281660406](https://www.researchgate.net/figure/Cognitive-radio-network-architecture-Figure-taken-from-1_fig2_281660406)
- [23] E&Q Engineering, 2010. "Radio Definida por Software," [Online]. Available: <http://www.eqeng.com/site/es/node/38>

[24] Baidu, 2019. "OTA (Tecnología de descarga de aire)," [Online]. Available: <https://www.translatetheweb.com/?from=&to=es&ref=SERP&dl=es&rr=UC&a=https%3a%2f%2fbaike.baidu.com%2fitem%2fota%2f1381310>

[25] D. Ospina, A. Ocampo, R. Hincapié, "Opportunistic Spectrum Access approach in heterogeneous wireless scenario," presented at Communications (LATINCOM), IEEE Latin-American Conference, 2010. [Online].

[26] [https://www.researchgate.net/publication/268440328\\_Aplicacion\\_de\\_esquemas\\_de\\_Acceso\\_Oportunista\\_al\\_Espectro\\_en\\_ambientes\\_inalambricos\\_heterogeneos](https://www.researchgate.net/publication/268440328_Aplicacion_de_esquemas_de_Acceso_Oportunista_al_Espectro_en_ambientes_inalambricos_heterogeneos)

[27] E. Moreno Sarmiento, "Predicción con Series de tiempo y regresión", Paper.

[28] Detección de espectro para radio cognitiva. [Online]. Available: [https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=67%2FUdD7v&id=8B6833252C011D03B1F4CB9FBC92107A96BF3889&thid=OIP.67\\_UdD7vh\\_bC\\_NBjTykBvAAAAA&mediaurl=http%3A%2F%2Fwww.scielo.cl%2Ffbpe%2Fimg%2Fingeniare%2Fv20n2%2Fart07-fig01.jpg&exph=275&expw=374&q=figuras+de+radio+cognitiva&simid=608030569028847149&selectedindex=6&ajaxhist=0&vt=0](https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=67%2FUdD7v&id=8B6833252C011D03B1F4CB9FBC92107A96BF3889&thid=OIP.67_UdD7vh_bC_NBjTykBvAAAAA&mediaurl=http%3A%2F%2Fwww.scielo.cl%2Ffbpe%2Fimg%2Fingeniare%2Fv20n2%2Fart07-fig01.jpg&exph=275&expw=374&q=figuras+de+radio+cognitiva&simid=608030569028847149&selectedindex=6&ajaxhist=0&vt=0)

[29] IBM(2019,Septiembre 9). El modelo de redes neuronales [Online].Available: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3RA7\\_sub/modeler\\_mainhelp\\_client\\_ddita/components/neuralnet/neuralnet\\_model.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3RA7_sub/modeler_mainhelp_client_ddita/components/neuralnet/neuralnet_model.html)

[30] <http://avellano.fis.usal.es/~lalonso/RNA/index.htm>

[31] [https://www.researchgate.net/figure/Figura-III4-Capas-de-una-Red-Neuronal-Capa-de-entrada-neuronas-que-reciben-datos-o\\_fig3\\_315762548](https://www.researchgate.net/figure/Figura-III4-Capas-de-una-Red-Neuronal-Capa-de-entrada-neuronas-que-reciben-datos-o_fig3_315762548)

[32] D. Calvo. (2018, diciembre 7). Función de activación – Redes neuronales [Online] Available: <http://www.diegocalvo.es/funcion-de-activacion-redes-neuronales/>

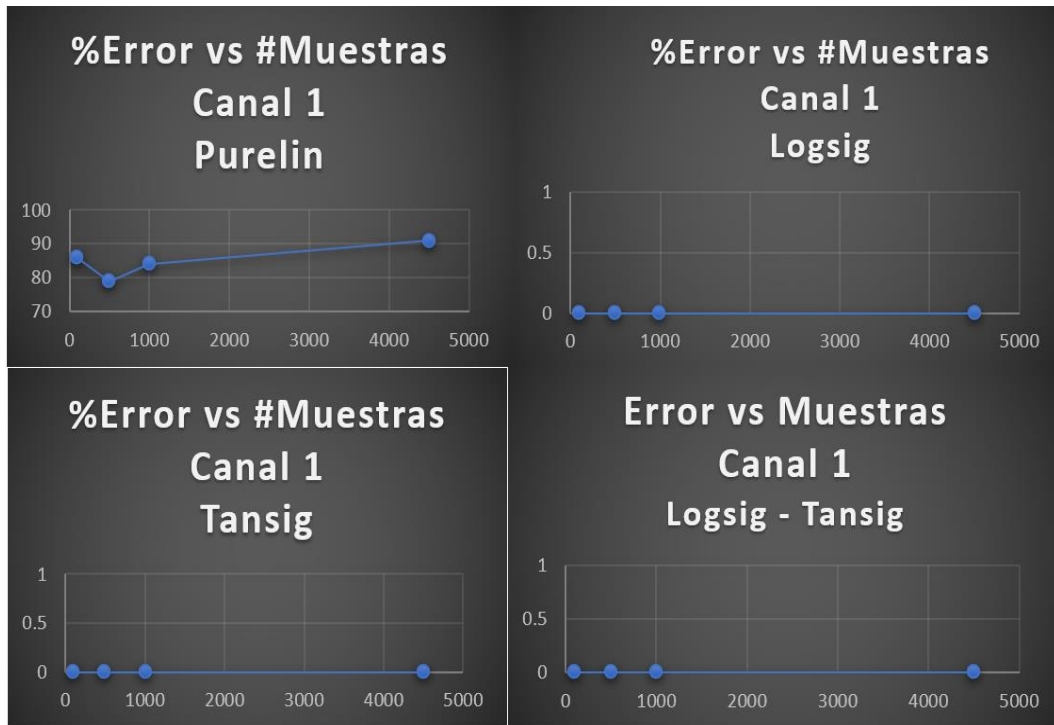
[33] L. F. Bestona. "Entrenamiento de redes neuronales basado en algoritmos evolutivos," Tesis de Grado, Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Arg. 2005. [Online]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/entrenamiento-redes-neuronales-algoritmos-evolutivos/entrenamiento-redes-neuronales-algoritmos-evolutivos.pdf>

[34] Varios. Google maps. [Online]. Available: <https://www.google.es/maps/place/Helisa/@-2.126326,-79.905309,183a,35y,270h/data=!3m1!1e3!4m12!1m6!3m5!1s0x902d6d4464393efd:0xe9d87557fd9e0717!2sHelisa!8m2!3d-2.1261606!4d-79.9049618!3m4!1s0x902d6d4464393efd:0xe9d87557fd9e0717!8m2!3d-2.1261606!4d-79.9049618>

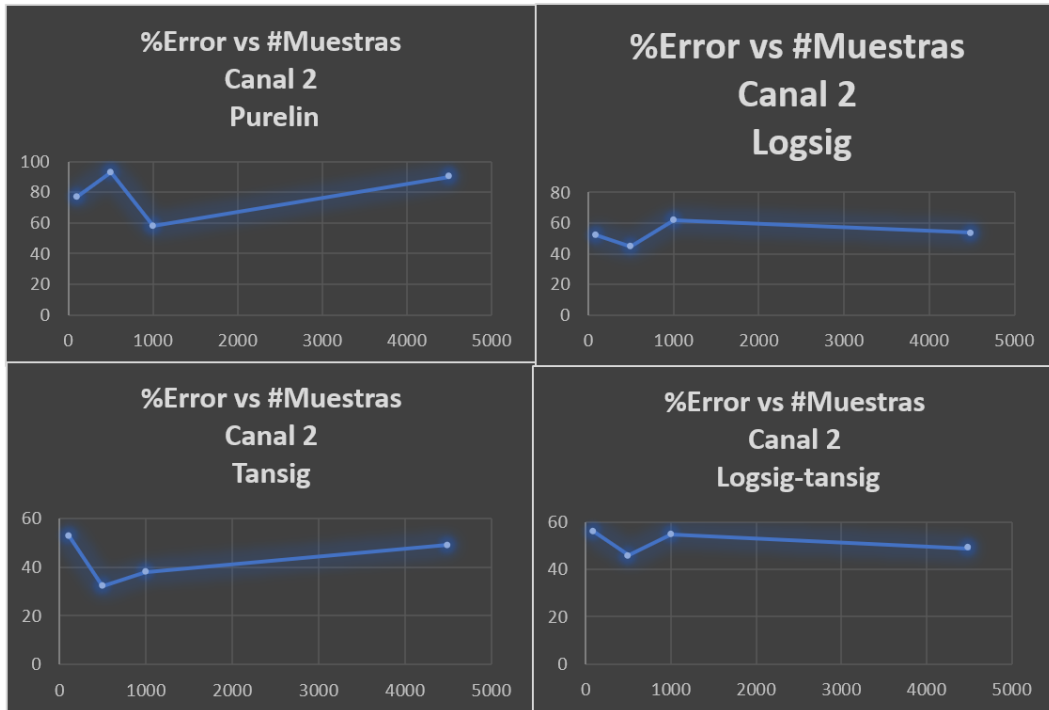
[35] The MathWorks. (2005). Neural Network Toolbox - Variable Learning Rate (traingda, traingdx). [Online]. Available: <http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/nnet/backpr57.html>

- [36] Sociedad Brasileira de Ingeniería en Televisión. “Pruebas de interferencia de la señal lte en la recepción de tv digital en la banda de UHF”. [Online]. Available: [http://set6.tempsite.ws/tecnologia/CONSIDERACIONES%20DE%20LA%20SET%20SOBRE%20LOS%20TESTES%20DA%20MACKENZIE%20DE%20INTERFER%C3%8ANCIA%204G%20LTE%20EN%20LA%20TV%20DIGITAL.pdf?fbclid=IwAR2LM3bJFNu58Ex\\_HCvPlvjnkXQVBar-aTWI-Kk-JeIn\\_GJI\\_gYcZYV\\_eg8](http://set6.tempsite.ws/tecnologia/CONSIDERACIONES%20DE%20LA%20SET%20SOBRE%20LOS%20TESTES%20DA%20MACKENZIE%20DE%20INTERFER%C3%8ANCIA%204G%20LTE%20EN%20LA%20TV%20DIGITAL.pdf?fbclid=IwAR2LM3bJFNu58Ex_HCvPlvjnkXQVBar-aTWI-Kk-JeIn_GJI_gYcZYV_eg8)
- [37] ARCOTEL, “Canalización de las bandas de radiodifusión de televisión abierta”, [Online]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf>
- [38] SuperAntena. (Actual). “Antenas TV TDT (para Exterior),” [Online]. Available: <https://www.superantena.es/26-antenas-tv-tdt-exterior-antenas-tdt-lte-antenas-dipolo#>

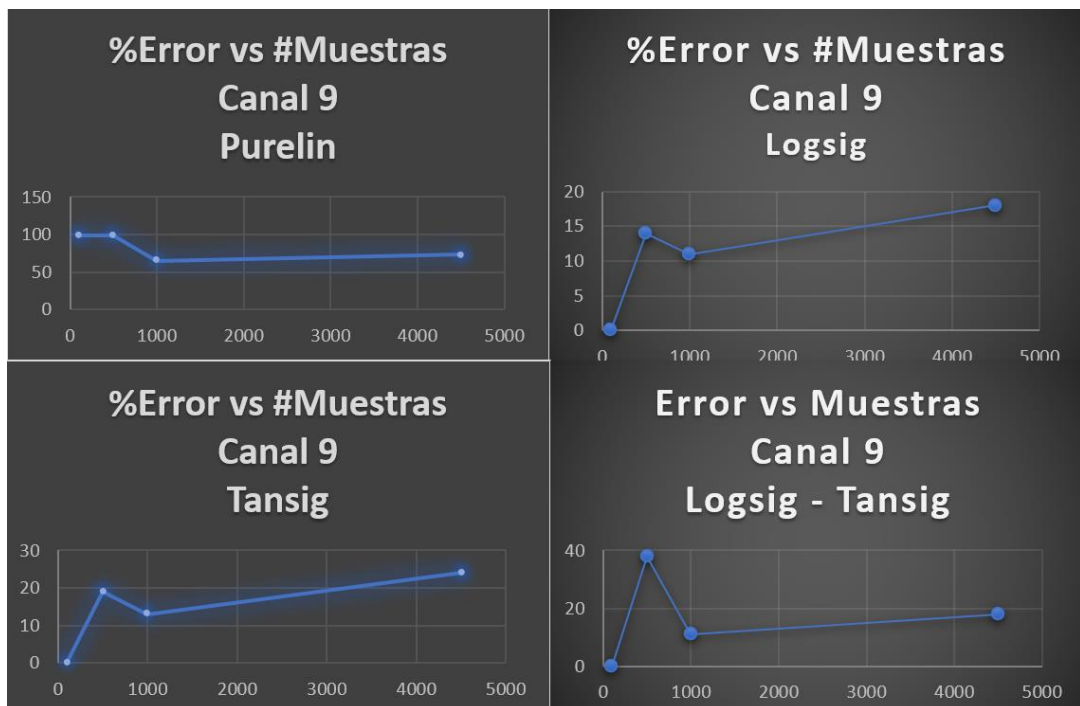
# ANEXOS



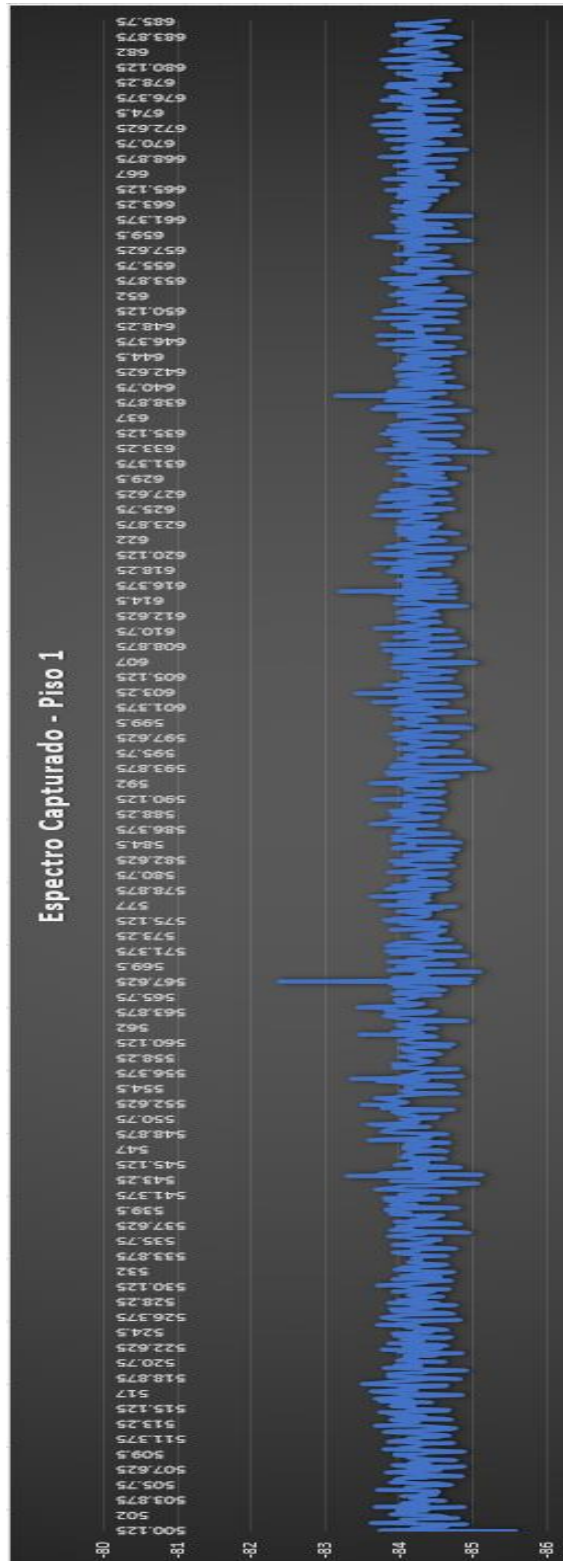
Anexo 1 Gráficas "%error vs #muestras" del canal 1 de los datos proporcionados.



Anexo 2 Gráficas “%error vs #muestras” del canal 2 de los datos proporcionados.

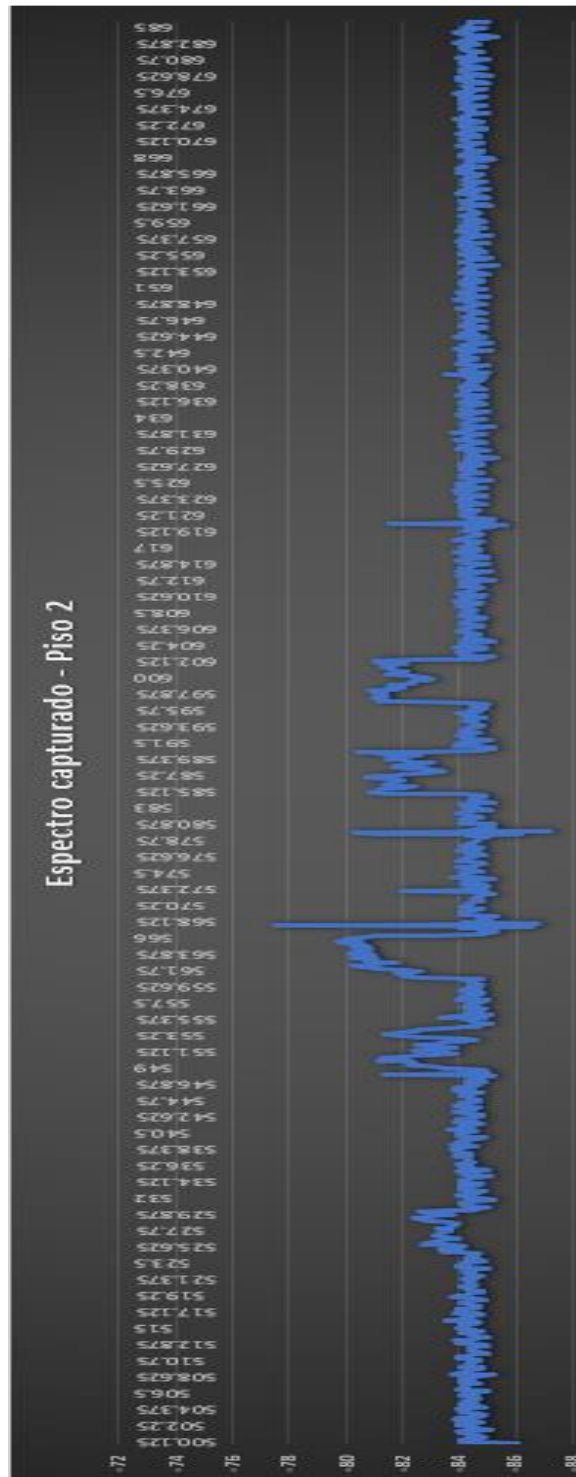


Anexo 3 Gráficas “%error vs #muestras” del canal 9 de los datos proporcionados

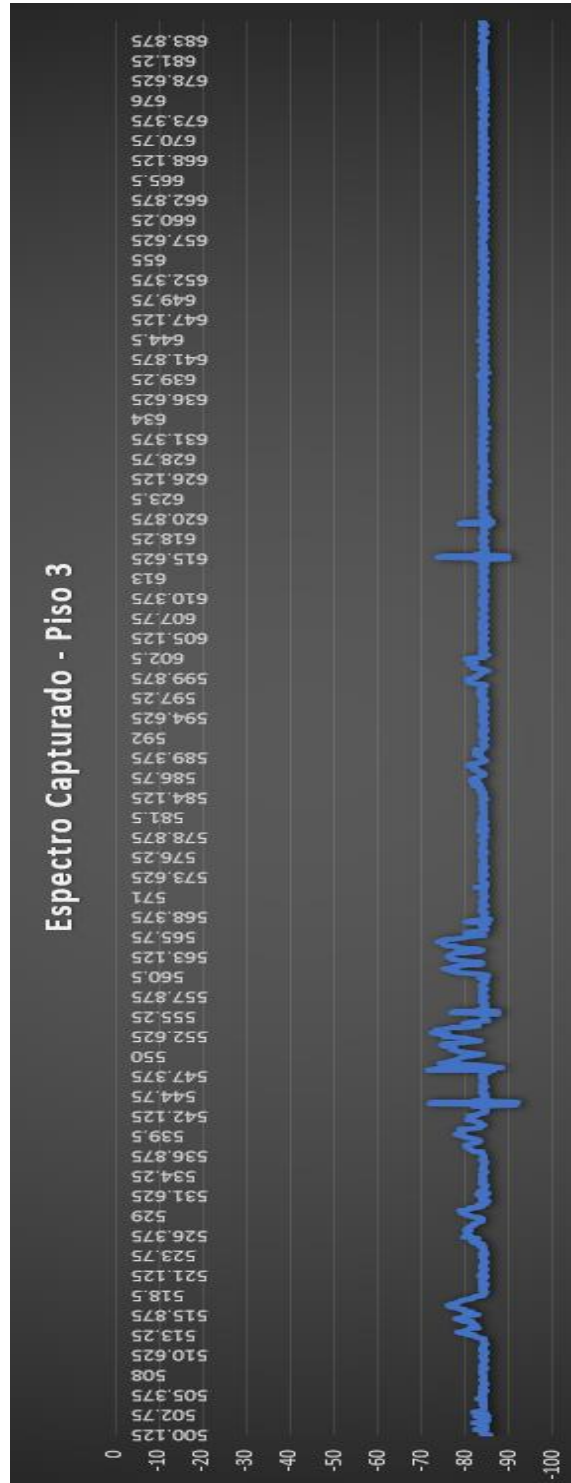


Anexo 4 Espectro medido en el piso 1.





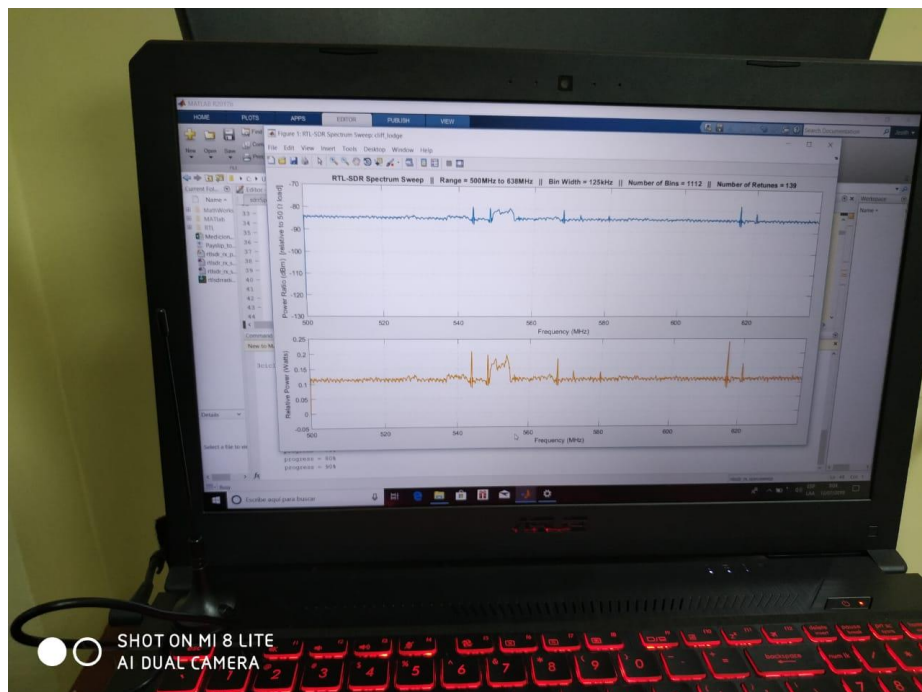
Anexo 5 Espectro medido en el piso 2.



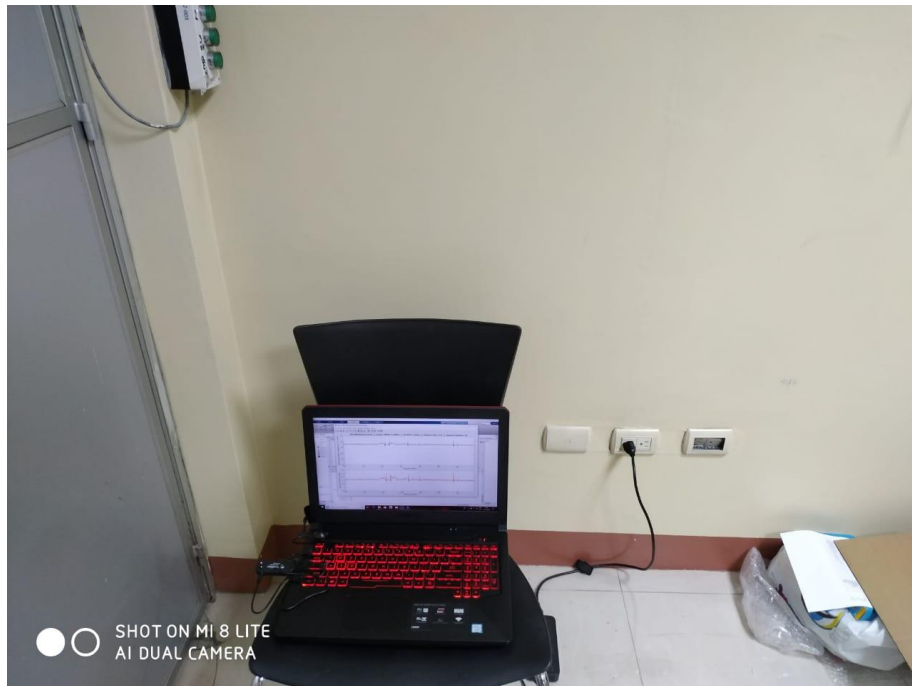
Anexo 6 Espectro medido en el piso 3



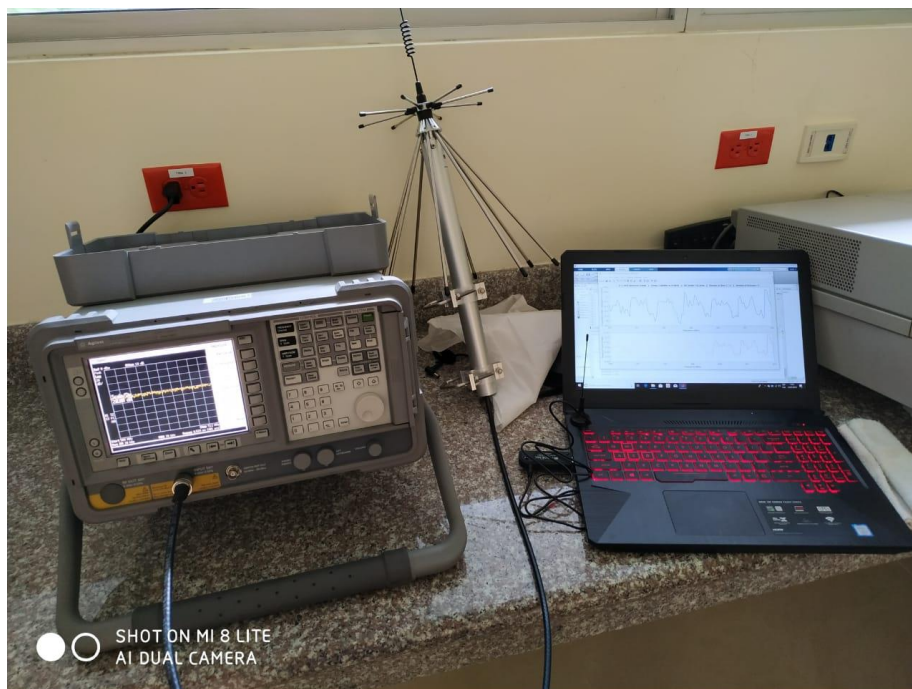
*Anexo 7 Monitoreo equipos durante la captura de datos*



*Anexo 8 Espectro visualizado en el piso 2 del edificio*



*Anexo 9 Visualizacion del equipo durante la captura de datos de potencia*



*Anexo 10 Verificacion de los datos capturados con el analizador de espectro.*