



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

**ALGORITMO DE DETERMINACIÓN DE UNA SEÑAL
CONTINUA EN LA BANDA GSM 1900 A PARTIR DE UNA SEÑAL
DISCRETA, MEDIANTE PROCESAMIENTO DE DATOS,
UTILIZANDO MEDICIONES EN LOS PREDIOS DE LA ESPOCH**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORA: JHOSELVYN MARIBEL PAREDES TIXI

DIRECTOR: ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA, DR. C.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Jhosselyn Maribel Paredes Tixi**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jhosselyn Maribel Paredes Tixi, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Jhosselyn Maribel Paredes Tixi

060636239-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, “**ALGORITMO DE DETERMINACIÓN DE UNA SEÑAL CONTINUA EN LA BANDA GSM 1900 A PARTIR DE UNA SEÑAL DISCRETA, MEDIANTE PROCESAMIENTO DE DATOS, UTILIZANDO MEDICIONES EN LOS PREDIOS DE LA ESPOCH**”, realizado por la señorita: **JHOSELYN MARIBEL PAREDES TIXI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Jefferson Ribadeneira Ramírez Ph.D.



2023-11-15

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Pedro Severo Infante Moreira Dr.C.



2023-11-15

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés Ph.D.



2023-11-15

**ASESOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

DEDICATORIA

A mis queridos padres Rosa Tixi y Vinicio Paredes cuya dedicación y amor han sido base de mi vida y de mi éxito académico. Sin su apoyo incondicional y sus sabias palabras todo el camino recorrido no habría sido posible. Gracias por ser mis guías, mi refugio y mi inspiración en cada paso del camino. Deseo que estas páginas sean un tributo a su amor y sacrificio y espero que se sientan orgullosos con este logro.

A mis hermanos Jhoel y Johanna quienes han sido parte fundamental en mi vida académica y por ser una fuente constante de inspiración y motivación para mí, gracias por ser mi apoyo incondicional en este camino, por haberme motivado a seguir adelante en todo momento.

Jhosselyn Maribel Paredes Tixi

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen de la peña por haber permitido llegar hasta aquí, por permitirme lograr este objetivo y los objetivos futuros, por darme fuerza y salud para llevar a cabo mi metas y nunca permitir que mi camino se desvíe.

A mi familia tíos, tías, primos, primas y abuelos por su apoyo absoluto, principalmente a mi abuelito Rafel Tixi cuyo amor por mí no conocía límites y quien me enseñó el valor del trabajo duro gracias por todo el amor incondicional, por inculcarme sus valores quienes me han llevado lejos para concluir esta etapa.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme formado profesional y académicamente, a cada uno de los docentes que pasaron por mi camino académico por haberme compartido sus conocimientos y experiencias los mismo que me han permitido lograr mis objetivos.

A mi tutor Ing. Pedro Infante, por su orientación y asesoramiento durante todo el proceso del trabajo de titulación, por apoyarme con sus conocimientos, con sus consejos y paciencia los mismos que me permitieron lograr esta meta.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS	XVIII
RESUMEN.....	XIX
SUMMARY	XX
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Formulación del problema	4
1.3.	Sistematización del problema.....	4
1.4.	Justificación del trabajo de Integración Curricular	4
1.4.1.	Justificación teórica	4
1.4.2.	Justificación aplicativa	5
1.5.	Objetivos	6
1.5.1.	Objetivo General.....	6
1.5.2.	Objetivos específicos	6

CAPITULO II

2.	MARCO TEÓRICO	7
2.1.	Campo electromagnético	7
2.1.1.	<i>Campo Eléctrico</i>	7

2.1.2.	<i>Campo Magnético</i>	8
2.1.3.	<i>Espectro Electromagnético</i>	9
2.2.	Tipos de radiaciones	11
2.2.1.	<i>Radiación ionizante</i>	11
2.2.2.	<i>Radiación no ionizante</i>	12
2.3.	Señales Discretas y Continuas	13
2.3.1.	<i>Señales Discretas</i>	13
2.3.1.1.	<i>Señal Discreta Escalón Unitario</i>	15
2.3.1.2.	<i>Señal discreta exponencial</i>	15
2.3.1.3.	<i>Señal rampa unitaria</i>	16
2.3.2.	<i>Señales Continuas</i>	17
2.3.2.1.	<i>Señal escalón unitario</i>	18
2.3.2.2.	<i>Señal Exponencial</i>	19
2.3.2.3.	<i>Señal Rampa unitaria</i>	20
2.4.	Filtros	20
2.4.1.	<i>Filtros analógicos</i>	21
2.4.1.1.	<i>Filtro activo</i>	21
2.4.1.2.	<i>Filtro pasivo</i>	22
2.4.1.3.	<i>Filtro pasa bajas</i>	23
2.4.1.4.	<i>Filtro pasoaltas</i>	24
2.4.1.5.	<i>Filtro pasa banda</i>	25
2.4.1.6.	<i>Filtro supresor de banda</i>	26
2.4.2.	<i>Filtro digital</i>	26
2.4.2.1.	<i>Filtro FIR</i>	27
2.4.2.2.	<i>Filtro IIR</i>	28
2.4.2.3.	<i>Media móvil (MA)</i>	29
2.4.2.3.1.	<i>Media móvil simple (SMA)</i>	30
2.4.2.3.2.	<i>Media móvil ponderada (WMA)</i>	30

2.4.2.3.3.	<i>Media móvil exponencial (EMA)</i>	30
2.4.2.3.4.	<i>Media móvil previo $n=2$</i>	31
2.5.	Método Spline Cúbico	31
2.6.	Frecuencias en la banda GSM 1900	32

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	34
3.1.	Introducción	34
3.2.	Enfoque o modalidad de la investigación	34
3.2.1.	<i>Modalidad de la investigación</i>	34
3.2.2.	<i>Nivel de investigación</i>	34
3.3.	Diseño de la investigación	34
3.3.1.	<i>Según la manipulación de la variable</i>	34
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	35
3.4.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	35
3.4.1.	<i>Metodología</i>	35
3.4.2.	<i>Instrumentos de investigación</i>	35
3.4.2.1.	<i>Matlab R2019a</i>	35
3.4.3.	<i>Técnicas de investigación</i>	38
3.4.3.1.	<i>Procedimiento de suavizado media móvil previa $n = 2$</i>	38
3.4.4.	<i>Procedimiento de la conversión de señal discreta a continua</i>	46

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	54
4.1.	Extracción de los datos de intensidad de campo eléctrico discreto (E_d)	54

4.2.	Conformación de los vectores medios de la intensidad de campo eléctrico discreto de una semana	56
4.3.	Extracción de la base de datos de la señal discreta de la intensidad de campo eléctrico discreto en la banda GSM-1900 con la media móvil previo $n = 2$	56
4.3.1.	Grafica del vector de campo eléctrico discreto Ed	56
4.3.2.	Filtrado de la media móvil previo $n = 2$ de la señal de campo eléctrico discreto Ed	57
4.4.	Suavizado de la señal de campo eléctrico discreto Ed resultante del pase 30 ...	61
4.5.	Transformación de la señal de intensidad de campo eléctrico discreto Ed a la señal de intensidad de campo eléctrico continuo Ec mediante la aplicación del método Spline cúbico	61
4.5.1.	Creación de los vectores X y Y.....	61
4.5.2.	Creación del conjunto de pares del vector X	62
4.5.3.	Ecuaciones del conjunto de pares pertenecientes al vector X	62
4.5.3.4.	Reglas del método Spline cubico para puntos interiores y exteriores	64
4.6.	Análisis comparativo entre la señal original, la señal Ed y la señal Ec	71
	CONCLUSIONES.....	74
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	1
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Bandas de Frecuencias del Espectro Electromagnético.....	11
Tabla 2-2: Valores de exposición a la RNI.....	12
Tabla 3-2: Servicios en la banda de frecuencia GSM 1900.....	32
Tabla 4-3: Operaciones básicas en Matlab.....	36
Tabla 5-3: Sentencias y comandos de Matlab.....	37
Tabla 6-3: Datos de la señal discreta.....	38
Tabla 7-3: Media móvil del primer pase de los 10 puntos.....	40
Tabla 8-3: Valores de la media móvil para el pase 2 de los 10 puntos.....	41
Tabla 9-3: Valores de la media móvil para el pase 3 de los 10 puntos.....	42
Tabla 10-3: Valores de la media móvil para el pase 5 de los 10 puntos.....	43
Tabla 11-3: Ecuaciones $S(x)_n$ de los conjuntos de pares.....	47
Tabla 12-3: Ecuaciones remplazados el vector X.....	48
Tabla 13-3: Ecuaciones remplazados los valores del vector Y.....	48
Tabla 14-3: Primera regla del método Spline cubico.....	49
Tabla 15- 3: Resultantes de la primera regla del método Spline Cubico.....	49
Tabla 16-3: Ecuaciones de la segunda derivada del método Spline cubico.....	50
Tabla 17-3: Ecuaciones resultantes de la segunda derivada del método Spline cubico.....	50
Tabla 18-3: Segunda derivada de los puntos exteriores método Spline cubico.....	51
Tabla 19-3: Ecuaciones resultantes de la segunda derivada de los puntos exteriores método Spline cubico.....	51
Tabla 20-3: Incógnitas de los polinomios del método Spline cubico.....	51
Tabla 21-3: Polinomio cubico resultante del método Spline cubico.....	52
Tabla 22-3: Valores en $X = 1$, $X= 1.506$, $X=6$ del método Spline cubico.....	52
Tabla 23-4: Valores del primer pase de la media móvil del vector <i>Ed</i>	57
Tabla 24-4: Valores del pase 2 de la media móvil del vector de campo eléctrico <i>Ed</i>	58
Tabla 25-4: Valores del pase 3 de la media móvil del vector de campo eléctrico <i>Ed</i>	59

Tabla 26-4: Ecuaciones $S(x)_n$ de los conjuntos de pares.....	62
Tabla 27-4: Ecuaciones remplazados por el vector X.....	63
Tabla 28-4: Ecuaciones remplazados los valores del vector Y de los 240 datos.....	63
Tabla 29-4: Primera regla del método Spline cubico.....	64
Tabla 30-4: Resultantes de la primera regla del método Spline cubico.....	64
Tabla 31-4: Ecuaciones de la segunda derivada del método Spline cubico.....	65
Tabla 32-4: Ecuaciones resultantes de la segunda derivada.....	65
Tabla 33-4: Segunda derivada de los puntos exteriores de los 240 puntos.....	66
Tabla 34-4: Ecuaciones resultantes de la derivade de los puntos exteriores de los 240 datos...	66
Tabla 35-4: Incógnitas del polinomio del método Spline cubico de los 240 datos.....	66
Tabla 36-4: Polinomio cubico resultante del método Spline cubico.....	67
Tabla 37-4: Valores en X para su comprobación.....	68

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Campos Eléctricos a) Cargas opuestas b) Cargas Iguales.....	7
Ilustración 2-2: Campos magnético de un imán.....	8
Ilustración 3-2: Campos magnéticos de una corriente eléctrica.....	8
Ilustración 4-2: Señal Coseno Discreta.....	14
Ilustración 5-2: Señal escalón unitario.....	15
Ilustración 6-2: Señal exponencial discreta.....	16
Ilustración 7-2: Señal discreta rampa unitaria.....	17
Ilustración 8-2: Señal continua.....	17
Ilustración 9-2: Señal escalón unitario continua.....	18
Ilustración 10-2: Señal exponencial continua a) Creciente, b) Decreciente.....	19
Ilustración 11-2: Señal rampa unitaria continua.....	20
Ilustración 12-2: Representación gráfica de un filtro.....	21
Ilustración 13-2: Filtro activo.....	22
Ilustración 14-2: Filtro pasivo RLC.....	23
Ilustración 15-2: Filtro pasa bajos.....	23
Ilustración 16-2: Filtro RC pasa bajos.....	24
Ilustración 17-2: Filtro pasa altos.....	24
Ilustración 18-2: Filtro RC pasa altas.....	25
Ilustración 19-2: Filtro pasa banda.....	25
Ilustración 20-2: Filtro Rechaza banda.....	26
Ilustración 21-2: Diagrama de bloques de un filtro FIR.....	27
Ilustración 22-2: Estructura de los filtros FIR.....	28
Ilustración 23-2: Estructura de un filtro IIR.....	28
Ilustración 24-3: Interfaz de inicio en Matlab.....	36
Ilustración 25-3: Xlsread comando de importación de datos en Matlab.....	39
Ilustración 26-3: Señal original del campo eléctrico <i>Ed</i>	39

Ilustración 27-3: Señal original unido con líneas azules.	39
Ilustración 28-3: Primera iteración media móvil previo $n=2$	40
Ilustración 29-3: Segunda iteración de la media móvil previo $n=2$	42
Ilustración 30-3: Tercera iteración de la media móvil previo $n = 2$	43
Ilustración 31-3: Iteración quinta de la media móvil previo $n = 2$	44
Ilustración 32-3: Decima iteración de la media móvil previo $n = 2$	44
Ilustración 33-3: Quinceava iteración de la media móvil previo $n = 2$	45
Ilustración 34-3: Veinteava iteración de la media móvil previo $n = 2$	45
Ilustración 35-3: Señal original vs Señal suavizada.	46
Ilustración 36-3: Conjunto de pares de 10 datos.	47
Ilustración 37-3: Valores de la señal continua.	53
Ilustración 38-3: Señal continua vs Señal discreta.	53
Ilustración 39-4: Mediciones de la intensidad del campo eléctrico discreto a) Del lunes b) Del domingo c) Promedio general de los 7 días de la semana.	55
Ilustración 40-4: Importación de la base de datos a Matlab mediante el código xlsread.	56
Ilustración 41-4: Señal original en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico en la banda GSM-1900.	57
Ilustración 42-4: Primera iteración de la media móvil previo $n=2$ en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico en la banda GSM-1900.	58
Ilustración 43-4: Segunda iteración de la media móvil previo $n=2$ en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico en la banda GSM-1900.	59
Ilustración 44-4: Tercera iteración de la media móvil previo $n=2$ en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico Ed en la banda GSM-1900.	60
Ilustración 45-4: Treintava iteración de la media móvil previo $n=2$ en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico en la banda GSM-1900.	60
Ilustración 46-4: Señal discreta de intensidad de campo eléctrico discreto, suavizada aplicando la media móvil previo con $n=2$	61
Ilustración 47-4: Conjunto de pares de los 240 datos.	62
Ilustración 48-4: Señal discreta de color rojo vs la señal continua de color azul.	68

Ilustración 49-4: Señal continua de la intensidad de campo eléctrico continuo E_c en un tiempo de 24 horas.	69
Ilustración 50-4: Mediciones de la intensidad de campo eléctrico continuo en cada instante del tiempo a) A las 00:00 b) A las 8:52 c) A las 24:00.	70
Ilustración 51-4: Señal original vs Señal suavizada a) Señal original b) Señal discreta del pase 30 de la media móvil previo $n=2$ c) Señal continua con el método Spline cubico.	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Función de la señal discreta.	13
Ecuación 2-2: Señal analógica.	14
Ecuación 3-2: Función de la señal escalón unitario.	15
Ecuación 4-2: Función de la señal exponencial.	16
Ecuación 5-2: Función de la señal exponencial compleja.	16
Ecuación 6-2: Función de la señal rampa unitaria.	17
Ecuación 7-2: Señal escalón unitario continua sin desplazamiento.	18
Ecuación 8-2: Señal escalón unitario continua con desplazamiento.	18
Ecuación 9-2: Señal exponencial continua.	19
Ecuación 10-2: Señal rampa unitaria continua.	20
Ecuación 11-2: Ecuación de un filtro FIR.	27
Ecuación 12-2: Función de transferencia de un filtro FIR.	28
Ecuación 13-2: Función de transferencia de un filtro IIR.	29
Ecuación 14-2: Respuesta completa del filtro IIR.	29
Ecuación 15-2: Ecuación media móvil simple.	30
Ecuación 16-2: Ecuación media móvil ponderada.	30
Ecuación 17-2: Media móvil exponencial.	30
Ecuación 18-2: Media móvil previo $n=2$	31
Ecuación 19-2: Polinomio cúbico spline.	31
Ecuación 20-2: Primera derivada del método spline cúbico.	32
Ecuación 21-3: Vector de intensidad de campo eléctrico discreto con 10 puntos.	38
Ecuación 22-3: Vector x de n datos del método spline cúbico.	46
Ecuación 23-3: Vector Y con los resultados con la iteración 20 de la media móvil previo $n = 2$	46
Ecuación 24-4: Vector de la intensidad de campo eléctrico discreto (Ed) de los 240 datos.	56
Ecuación 25-4: Vector x de n datos del método Spline cubico.	61

Ecuación 26-4: Vector Y con los valores resultantes del pase 30 de la media móvil 62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: SCRIPT DEL SISTEMA DE ECUACIÓN PARA EL MÉTODO SPLINE CÚBICO

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de Integración Curricular fue determinar una señal continua en la banda GSM 1900 a partir de una señal discreta, utilizando la base de datos medidos durante una semana en el interior de la ESPOCH, para ello se utilizó la base de datos de las mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico obtenidas en el monitoreo continuo durante una semana del 15 a 21 de agosto 2016 de la banda de frecuencia GSM 1900 en el interior de la ESPOCH utilizando el equipo NARDA SRM-3000. Posteriormente, se conformaron los vectores de los valores medios diario de la intensidad de campo eléctrico E correspondiente en cada instante de tiempo, durante una semana, determinando el promedio de la señal de campo eléctrico discreta. Luego, se utilizó la media móvil previo con $n=2$, para realizar el suavizado o filtrado de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico discreta E . A continuación, se determinó la señal continua en la banda GSM 1900, de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico discreta E mediante el método Spline Cúbico. Finalmente, se realizó un análisis comparativo entre la señal original (puntos discretos de la media móvil previo $n=2$) y la señal continua de la intensidad de campo eléctrico \vec{E} ; y, para la presentación de los resultados se utilizó el software MATLAB donde se comprueba que la señal filtrada mediante la media móvil no pierde su forma de la señal original, la señal continua es similar a los puntos discretos de la iteración 30 de la media móvil previo $n=2$. Los resultados se utilizarán para la determinación de la tasa de absorción específica (SAR) en futuras investigaciones. Se recomienda no exceder más de 30 pases de la media móvil, ya que al sobrepasar este límite los cambios en el suavizado de la señal son pocos significativos.

Palabras clave: <SEÑAL CONTINUA>, <SEÑAL DISCRETA>, <INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO>, <MEDIA MÓVIL (MA)>, <FILTRADO>, <SUAVIZADO>, <ALGORITMO>, <MATLAB>, <NARDA SRM-3006>, <SPLINE CÚBICO>.



[Handwritten signature]
2308-2023
1701-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

The objective of this Curricular Integration work was to determine a continuous signal in the GSM 1900 band from a discrete signal, using the database measured during a week inside the ESPOCH, For this, the database of temporary measurements of the electric field intensity obtained in the continuous monitoring during a week from August 15 to 21, 2016 of the GSM 1900 frequency band inside the ESPOCH using the NARDA equipment was used. SRM-3000. Subsequently, the vectors of the daily average values of the electric field intensity E corresponding at each instant of time, during a week, were formed, determining the average of the discrete electric field signal. Then, the previous moving average with $n=2$ was used to perform the smoothing or filtering of the average signal of the discrete electric field intensity E . Next, the continuous signal in the GSM 1900 band was determined from the average signal of the discrete electric field intensity E by the Cubic Spline method. Finally, a comparative analysis was performed between the original signal (discrete points of the previous moving average $n=2$) and the continuous signal of the electric field intensity \bar{E} ; and, for the presentation of the results, the MATLAB software was used, where it is verified that the filtered signal by means of the moving average does not lose its shape from the original signal, the continuous signal is similar to the discrete points of iteration 30 of the moving average, previous $n=2$. The results will be used for the determination of the specific absorption rate (SAR) in future investigations. The results will be used for the determination of the specific absorption rate (SAR) in future investigations. It is recommended not to exceed more than 30 passes of the moving average, since when this limit is exceeded, the changes in the smoothing of the signal are insignificant.

Keywords: <CONTINUOUS SIGNAL>,<DISCRETE SIGNAL>,<ELECTRIC FIELD STRENGTH>,<MOVING AVERAGE (MA)>,<FILTERED>,<SMOOTHING>,<ALGORITHM>,<MATLAB (SOFTWARE)>,< NARDA SRM-3006 (HARDWARE)>,<CUBIC SPLINE>.



MSc. Wilson G. Rojas

C.I 0602361842

INTRODUCCIÓN

Se ha empleado la media móvil previo $n=2$ para realizar el suavizado de señales discretas, hoy en día la media móvil se ha convertido en la principal herramienta para el filtrado o suavizado de las señales de intensidad de campo eléctrico gracias a la investigación ambiental de la exposición a campos eléctricos planteada por Wout Joseph en el año 2018, la misma que se aplicará en este trabajo de titulación.

Los datos en forma discreta son representados en varias investigaciones para observar el comportamiento de los campos eléctricos en las cuales presentan problemas como la manipulación y la observación del comportamiento de los datos, para ello se da una solución que es el filtrado y suavizado de los datos, otra solución para la representación, la manipulación y la visualización de estos datos es observarlos de manera continua en cada instante tiempo.

La finalidad del presente trabajo de titulación es utilizar la base de datos de las mediciones temporales de campo eléctrico que se obtuvieron durante el monitoreo continuo de una semana del lunes 15 al 21 de agosto de 2016 al interior de la ESPOCH, empleando la técnica de la media móvil previo $n=2$ (con una ventana de $n = 2$) y una vez obtenido el suavizado transformarlo a señal continua, con la ayuda de MATLAB.

Este trabajo de titulación pretende dejar un gran aporte a futuras investigaciones realizadas sobre el suavizado de una señal y a su vez a la transformación de la señal discreta a continua, ya que el algoritmo a utilizar se adaptará para el suavizado de diferentes señales discretas.

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

El ruido es un gran inconveniente dentro del ámbito de las telecomunicaciones. Desde hace algunos años se han realizado distintas investigaciones para encontrar la forma de eliminar las perturbaciones que sufren las señales al momento de su transmisión por medios inalámbrico o por cable, para el efecto se aplicó lo que actualmente se conoce como filtrado de señales ya que la señal se procesa mediante dispositivos electrónicos, varios logros basados en la tecnología no habrían sido posible si no existirían los filtros los mismo que permitieron un avance en la tecnología (Charles y Sadiku, 2013).

En los últimos años se ha producido un notable desarrollo de los servicios de comunicación inalámbricos, dando como resultado un incremento a gran escala de las estaciones o bases transmisoras o repetidoras de los servicios de radiocomunicación especialmente de televisión, radio y sistemas de telefonía móvil, creándose así un potencial problema de contaminación electromagnética sumada lógicamente a la contaminación visual que estas antenas transmisoras producen.

La investigación realizada en 2018 sobre la exposición ambiental de campos eléctricos se aplica la media móvil con una variación de tiempo o ventana de 1h, con dicha variación de tiempo se puede observar que la señal filtrada resultante pierde la forma de la señal original (Aerts et al., 2018, pp. 136-146).

Se presenta un análisis de los campos electromagnéticos medidos en los predios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) el cual realizó mediciones en la banda GSM 1900MHz durante siete días en una ubicación fija: a 370m de la antena para determinar si los niveles obtenidos se mantienen en los límites establecidos por el ente regulador llegando a establecer que los campos electromagnéticos encontrados se encuentran dentro de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (Infante et al, 2020, pp. 8-13).

Mediante una investigación realizada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) que tuvo como objetivo filtrar la señal discreta de la intensidad de campo eléctrico de la banda de frecuencia de 76 MHz a 2686 MHz utilizando la media móvil previo con $n = 2$ en la que se utilizó la base de datos de las mediciones temporales de \vec{E} obtenidos en el monitoreo continuo del día (lunes 15 al 21 de agosto de 2016) con la utilización del equipo

NARDA SRM-3000 llegando a la conclusión que la señal filtrada no pierde su forma original dejando un aporte a futuras investigaciones (Nieto, 2021, pp. 1-3).

1.2. Formulación del problema.

¿Cómo obtener una señal continua a partir de una señal discreta de la banda de frecuencia GSM 1900 durante una semana en la ESPOCH?

1.3. Sistematización del problema.

¿Cómo se va a utilizar la base de datos de las mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico obtenidos en el monitoreo continuo durante una semana (lunes 15 a 21 de agosto 2016) de la banda de frecuencia GSM 1900 en el interior de la ESPOCH utilizando el equipo NARDA SRM3000?

¿Cómo conformar los vectores de los valores medios diario de la intensidad de campo eléctrico E correspondiente en cada instante de tiempo, durante una semana, para determinar el promedio de la señal de campo eléctrico discreta?

¿Para qué Suavizar o filtrar el vector de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico discreta E aplicando el método de la media móvil previo con $n = 2$?

¿Cómo determinar una señal continua en la banda GSM 1900, a partir de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico discreta?

¿Cómo se realiza un análisis comparativo entre las señales original y continua de la intensidad de campo eléctrico E ?

1.4. Justificación del trabajo de Integración Curricular.

1.4.1. Justificación teórica.

Gracias al filtrado de las señales se han conseguido logros tecnológicos que sin los filtros no podrían ser concluidos, la construcción y el diseño de un filtro es un papel importante permitiendo que muchas investigaciones, artículos y libros escriban todo perteneciente al filtrado de señales como solución al ruido (Charles y Sadiku, 2013, pp. 549).

Un filtro es un sistema que, dependiendo de algunos parámetros, realiza un proceso de discriminación de una señal de entrada obteniendo variaciones en su salida. Los filtros digitales tienen como entrada una señal analógica o digital y su salida tiene otra señal analógica o digital, pudiendo haber cambiado en amplitud, frecuencia o fase, dependiendo de las características del filtro lo que ayuda eliminar y suavizar el ruido de una señal (Alvares et al., 2008).

Las mediciones en el campo eléctrico y magnético ha sido fuente para investigaciones realizadas sobre la exposición ambiental y la afección en la salud, dichas mediciones son realizadas con el equipo NARDA-SRM 3000, donde recolectaban datos en la banda de frecuencia GSM 1900, donde los datos que fueron recolectados son considerables siendo este un gran inconveniente para procesar y manejar una simulación lo que provocó que sea difícil su interpretación como solución a este problema el autor realizó un modelo de propagación para representar los datos, pero se puede presentar otras soluciones como el filtrado o suavizado de señales al igual la aplicación de la media móvil para realizar el promedio de datos, lo que se pretende realizar en el presente trabajo (Andrade y Contreras, 2014).

1.4.2. justificación aplicativa.

En el presente trabajo de titulación se va a determinar una señal continua en la banda GSM 1900 a partir de una señal discreta, utilizando la base de datos medidos durante una semana en el interior de la ESPOCH. Inicialmente, se utilizará la base de datos de las mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico obtenidos en el monitoreo continuo durante una semana (15 a 21 de agosto 2016) de la banda de frecuencia GSM 1900 en el interior de la ESPOCH utilizando el equipo NARDA SRM-3000. A continuación, se conformarán los vectores de los valores medios diario de la intensidad de campo eléctrico E correspondiente en cada instante de tiempo, durante una semana, para determinar el promedio de la señal de campo eléctrico discreta. Posteriormente, utilizando la media móvil previo con $n=2$, se procederá al suavizado (filtrado) de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico discreta E . Finalmente, se determinará la señal continua en la banda GSM 1900, de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico discreta E y, se realizará un análisis comparativo entre las señales original y continua de la intensidad de campo eléctrico E .

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Desarrollar un algoritmo de determinación de una señal continua en la banda GSM 1900 a partir de una señal discreta, mediante procesamiento de datos, utilizando mediciones en los predios de la ESPOCH

1.5.2. Objetivos específicos.

- Utilizar la base de datos de las mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico obtenidos en el monitoreo continuo durante una semana (15 a 21 de agosto 2016) de la banda de frecuencia GSM 1900 en el interior de la ESPOCH utilizando el equipo NARDA SRM-3000.
- Conformar el vector de los valores medios diario de la intensidad de campo eléctrico E correspondiente en cada instante de tiempo, durante una semana.
- Suavizar o filtrar el vector anterior de la señal discreta de la intensidad de campo eléctrico E aplicando el método de la media móvil previo con $n = 2$, utilizando Matlab.
- Determinar una señal continua en la banda GSM 1900, a partir de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico discreta.
- Realizar un análisis comparativo entre las señales original y continua de la intensidad de campo eléctrico E .

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Campo electromagnético.

2.1.1. Campo Eléctrico.

El concepto de campo eléctrico fue introducido en la teoría electromagnética para describir las fuerzas existentes entre cargas eléctricas. El campo eléctrico en un punto del espacio producido por una o varias cargas eléctricas se define en términos de la fuerza que experimenta una unidad de carga estacionaria. El campo eléctrico \vec{E} se expresa en voltios por metro (V/m), o su múltiplo kV/m (1 kV/m = 1.000 V/m) (Grupo Pandora S.A, 2001, pp. 13-16)

El campo eléctrico surge tanto en sistemas de cargas homogéneas como en sistemas de cargas heterogéneas, tal como se muestra en la ilustración 1-2. En la ilustración 1-2a, se representa la interacción de dos cargas con signos opuestos, lo que provoca una repulsión entre ellas. Como resultado, las líneas de campo eléctrico esta dirigidas desde la carga positiva hacia la carga negativa como se ilustra en la figura 1-2a.

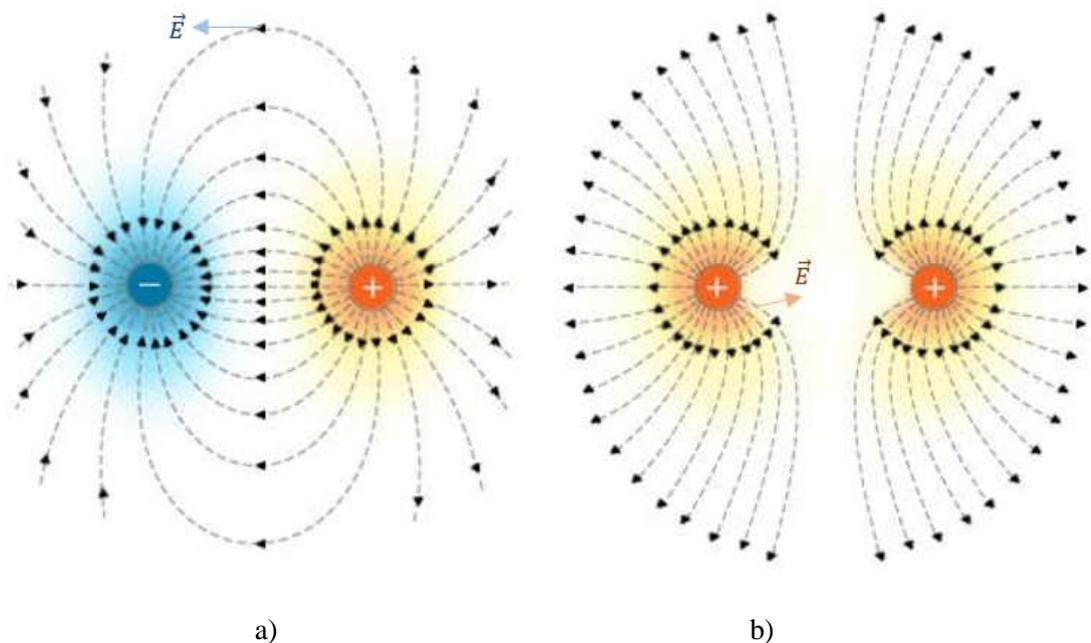


Ilustración 1-2: Campos Eléctricos a) Cargas opuestas b) Cargas Iguales

Fuente: (Marbioec, 2011)

En la ilustración 1-2b, como las dos cargas son de signos positivos para dibujar las líneas de campo eléctrico la carga negativa se lo imagina en el infinito y las líneas que salen de las dos

cargas positivas no pueden cruzarse entre sí; es decir, las líneas de campo eléctrico van desde la carga positiva y terminan en la carga negativa que se encuentra en el infinito como lo indica la ilustración 1-2b.

2.1.2. Campo Magnético.

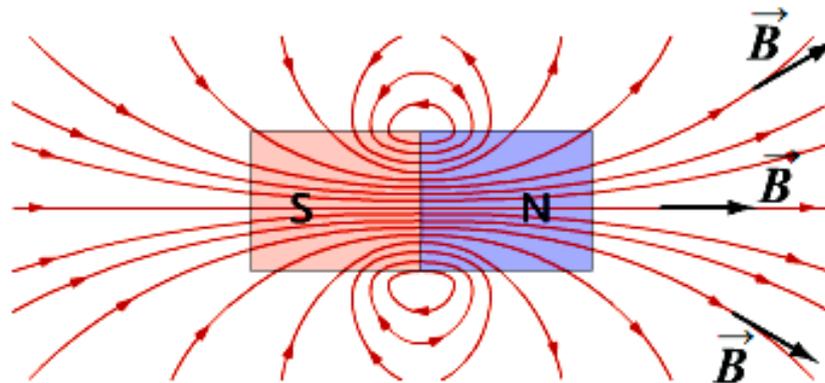


Ilustración 2-2: Campos magnético de un imán.

Fuente: (Marbioec, 2011)

El campo magnético es un concepto introducido en la teoría electromagnética para explicar las fuerzas que aparecen entre corrientes eléctricas. Los campos magnéticos son producidos por cargas en movimiento, es decir por corrientes eléctrica, aunque también se pueden producir campos magnéticos con imanes permanentes como se representa en la ilustración 2-2. (Grupo Pandora S.A, 2001, pp.13-16)

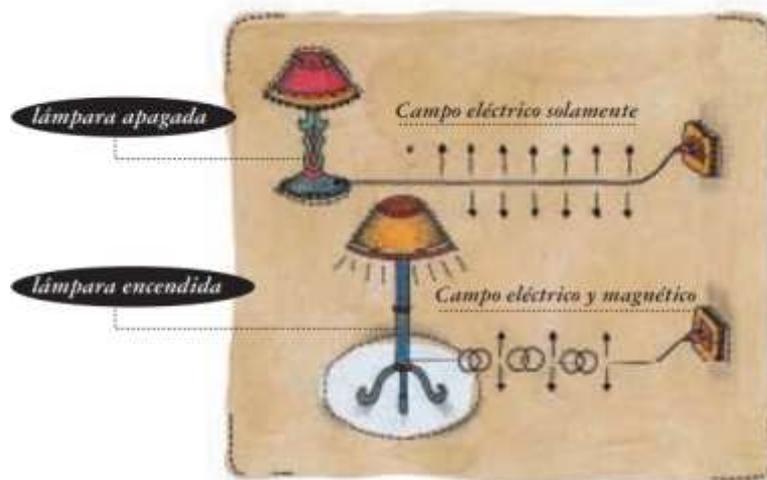


Ilustración 3-2: Campos magnéticos de una corriente eléctrica.

Fuente: (Grupo Pandora S.A, 2001, pp.13-16).

El campo magnético \vec{H} en un punto dado del espacio se define como la fuerza que se ejerce sobre un elemento de corriente situado en dicho punto, y se expresa en amperios por metro (A/m). Así

pues, el campo eléctrico existe siempre que haya cargas eléctricas mientras que solo hay campo magnético cuando esas cargas están en movimiento, es decir, cuando hay un flujo de corriente eléctrica como se muestra en la ilustración 3-2.

2.1.3. Espectro Electromagnético.

El objetivo de un sistema electrónico de comunicaciones es transferir información entre dos o más lugares, cuyo nombre común es estaciones. Esto se logra convirtiendo la información original a energía electromagnética, para transmitirla a continuación a una o más estaciones receptoras, donde se reconvierte a su forma original. La energía electromagnética se puede propagar en forma de voltaje o corriente, a través de un conductor o hilo metálico, o bien en forma de ondas de radio emitidas hacia el espacio libre, o como ondas luminosas a través de una fibra óptica. La energía electromagnética se distribuye en un intervalo casi infinito de frecuencias (Tomasi,2003, pp.4).

El espectro electromagnético de frecuencias total, donde se muestran los lugares aproximados de diversos servicios, se ve en la tabla 1-2. Este espectro de frecuencias va desde las subsónicas (unos pocos hertz) hasta los rayos cósmicos (30 EHz).

El espectro de frecuencias se subdivide en subsecciones o bandas. Cada banda tiene un nombre y sus límites. En los Estados Unidos, las asignaciones de frecuencias para radio propagación en el espacio libre son realizadas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). Por ejemplo, la banda de emisión comercial en FM tiene asignadas las frecuencias de 88 MHz a 108 MHz. Las frecuencias exactas asignadas a transmisores específicos que funcionan en las diversas clases de servicio se actualizan y alteran en forma constante, para cumplir con las necesidades de comunicaciones en una nación (Tomasi,2003, pp.5).

El espectro total útil de **radiofrecuencias** (RF) se divide en bandas de frecuencia más angostas, a las que se dan nombres y números descriptivos, y algunas de ellas se subdividen a su vez en diversos tipos de servicios. Las designaciones de banda según el Comité consultivo internacional de radio (CCIR) se muestran en la tabla 1-2. Estas designaciones se resumen como sigue:

- **Frecuencias extremadamente bajas (ELF).** Son señales en el intervalo de 30 a 300 Hz, y comprenden las señales de distribución eléctrica (60 Hz) y las de telemetría de baja frecuencia (Tomasi,2003, pp.5).
- **Frecuencias de voz (VF).** Son señales en el intervalo de 300 a 3000 Hz, e incluyen a las que generalmente se asocian a la voz humana. Los canales telefónicos normales tienen un ancho de banda de 300 a 3000 Hz, y con frecuencia se llaman canales de frecuencia de voz, o canales de banda de voz (Tomasi,2003, pp.5).
- **Frecuencias muy bajas (VLF).** Son señales dentro de los límites de 3 a 30 kHz, que comprenden al extremo superior del intervalo audible humano. Las VLF se usan en

algunos sistemas especiales, del gobierno y militares, como por ejemplo las comunicaciones con submarinos (Tomasi,2003, pp.5).

- **Frecuencias bajas (LF).** Son señales en el intervalo de 30 a 300 kHz, y se usan principalmente en la navegación marina y aeronáutica (Tomasi,2003, pp.5).
- **Frecuencias intermedias (MF).** Son señales de 300 kHz a 3 MHz, y se usan principalmente para emisiones comerciales de radio AM (535 a 1605 kHz) (Tomasi,2003, pp.5).
- **Frecuencias altas (HF).** Señales en el intervalo de 3 a 30 MHz, con frecuencia llamadas ondas cortas. La mayoría de las radiocomunicaciones en dos sentidos usa este intervalo, y la Voz de América y la Radio Europa Libre transmiten en él. También los radio aficionados y la banda civil usan señales de HF (Tomasi,2003, pp.5).
- **Muy altas frecuencias (VHF).** Son señales de 30 a 300 MHz, y se usan en radios móviles, comunicaciones marinas y aeronáuticas, emisión comercial en FM (de 88 a 108 MHz) y en la emisión de televisión, en los canales 2 a 13 (54 a 216 MHz) (Tomasi,2003, pp.5).
- **Frecuencias ultra altas (UHF).** Son señales entre los límites de 300 MHz a 3 GHz, y las usa la emisión comercial de televisión, en los canales 14 a 83, en los servicios móviles de comunicaciones terrestres, teléfonos celulares, algunos sistemas de radar y de navegación, y los sistemas de radio por microondas y por satélite. Hablando con generalidad, se considera que las frecuencias mayores que 1 GHz son de microondas, y eso incluye al extremo superior del intervalo de UHF (Tomasi,2003, pp.5).
- **Frecuencias super altas (SHF).** Son señales de 3 a 30 GHz, donde está la mayoría de las frecuencias que se usan en sistemas de radiocomunicaciones por microondas y satelitales (Tomasi,2003, pp.6).
- **Frecuencias extremadamente altas (EHF).** Son señales entre 30 y 300 GHz, y casi no se usan para radiocomunicaciones, a excepción de aplicaciones muy complicadas, costosas y especializadas (Tomasi,2003, pp.6).
- **Infrarrojo.** Las frecuencias del infrarrojo son señales de 0.3 a 300 THz, y por lo general no se les considera como ondas de radio. Infrarrojo indica una radiación electromagnética que en general se asocia con el calor. Las señales infrarrojas se usan en sistemas de guía de proyectiles con blancos térmicos, o con la fotografía electrónica (Tomasi,2003, pp.6).
- **Luz visible.** En la luz visible se incluyen las frecuencias electromagnéticas captadas por el ojo humano (0.3 a 3 PHz). Las comunicaciones con ondas luminosas se usan en los sistemas de fibra óptica, que en los últimos años han llegado a ser un medio principal de transmisión en los sistemas electrónicos de comunicaciones (Tomasi,2003, pp.6).

- **Rayos ultravioleta, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos:** tienen poca aplicación en las comunicaciones electrónicas y en consecuencia no se describirán (Tomasi,2003, pp.6).

Tabla 1-2: Bandas de Frecuencias del Espectro Electromagnético.

Bandas de frecuencias del espectro electromagnético y radioeléctrico			
N° de banda	Simbología	Nombre de banda	Frecuencias
4	VLF	Very Low Frequency	3-30 KHz
5	LF	Low Frequency	30-300 KHz
6	MF	Medium Frequency	300-3000 KHz
7	HF	High Frequency	3-30 MHz
8	VHF	Very High Frequency	30-300 MHz
9	UHF	Ultra High Frequency	300-3000 MHz
10	SHF	Super High Frequency	3-30 GHz
11	EHF	Extremely High Frequency	30-300 GHz
12-14	S/N	Luz infrarroja	0.3–300 THz
15	S/N	Luz Visible	0.3-3 PHz
16	S/N	Luz Ultravioleta	3-30 PHz
17	S/N	Rayos X	30-300 PHz
18	S/N	Rayos Gamma	0.3-3 EHz
19	S/N	Rayos Cósmicos	3-30 EHz

Realizado por: Paredes J, 2022

Fuente: (Arcotel Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, 2017)

2.2. Tipos de radiaciones.

2.2.1. Radiación ionizante.

Es un tipo de radiación de alta energía que tiene suficiente energía como para eliminar un electrón (partícula negativa) de un átomo o molécula y causar su ionización. La radiación ionizante produce cambios químicos en las células y daña el ADN. Esto aumenta el riesgo de padecer de ciertas afecciones, como el cáncer. La radiación ionizante proviene de fuentes naturales, como el radón y los rayos cósmicos (rayos que entran en la atmósfera terrestre desde el espacio exterior), y de aparatos de imagenología médica, como las máquinas de radiografía, de tomografía

computarizada (TC) o de tomografía por emisión de positrones (TEP). Los accidentes de plantas nucleares y las armas atómicas también liberan niveles altos de radiación ionizante. Es posible que la exposición a dosis muy altas de radiación ionizante provoque daños inmediatos en el cuerpo, que incluyen daños graves en la piel o los tejidos, enfermedad aguda por radiación y muerte (National Cancer Institute, 2018).

De acuerdo con la relación entre energía, la frecuencia y la longitud de onda de la radiación electromagnética, y considerando que las energías necesarias para ionizar un átomo son típicamente del orden de algunas decenas de electronvoltio, la región de radiaciones ionizantes se restringe a longitudes de onda menores que 10^{-9}m , lo que corresponde principalmente a la región de los rayos X y gamma (Fernández, 2007, pp.26-27).

- **Rayos X:** Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuyas longitudes de onda son menores que 1nm , o que corresponde a energías superiores a unos 100 eV . Usualmente esta radiación se produce cuando electrones emitidos por un filamento caliente (electrodo negativo) y acelerados mediante una diferencia de potencial del orden de algunos kilovoltio inciden sobre una superficie de metal (electrodo positivo) dentro de un recipiente evacuado. Este dispositivo es conocido como tubo de rayos catódicos o, sencillamente, tubo de rayos X (Fernández, 2007, pp.26-27).
- **Rayos gamma:** Los rayos gamma son la forma más energética de la radiación electromagnética. El rango de energías que corresponde a este tipo de radiación se extiende desde unas decenas de kiloelectronvoltio hasta unos miles de kiloelectronvoltio (Fernández, 2007, pp.26-27).

2.2.2. Radiación no ionizante.

Las radiaciones de origen artificial proceden de diversos artefactos creados por el hombre y pueden ser producidas por equipos radioeléctricos o no; por ejemplo, el monitor de una PC, un tubo de iluminación fluorescente, un horno a microondas, un secador de cabello, una licuadora, un televisor, etc. Estas radiaciones electromagnéticas tampoco tienen la energía suficiente para ionizar la materia, razón por la cual se las denomina No Ionizantes. (Frizzera, 2007, pp. 2).

Tabla 2-2: Valores de exposición a la RNI.

Rango de frecuencias (f) en MHz	Densidad de potencia de onda plana (s) en mW/cm^2
0.3 – 1	20
1 – 10	$20 / f^2$
10 – 400	0.2
400 – 2000	$f / 2000$
2000 – 100000	1

Realizado por: Paredes J, 2022.

Fuente: (Frizzera, 2007, pp. 2).

Los niveles de seguridad de exposición a las RNI están reglamentados en todo el mundo de manera similar. Ésta se mide en unidades de potencia (mW) por unidad de superficie (cm²). En la tabla 2-2 se muestran estos niveles de potencia a diferente rango de frecuencias (f). los estándares de exposición pública a las radiaciones no ionizantes son comparables para todos los institutos o comisiones internacionales y las diferencias en los niveles establecidos (Revuelta et al , 2008, pp 28).

2.3. Señales Discretas y Continuas.

El término señal se aplica generalmente a algo que lleva información. Las señales llevan generalmente información sobre el estado o el comportamiento de un sistema físico y a menudo se sintetizan señales con el propósito de comunicar información entre seres humanos o entre seres humanos y máquinas. Aunque las señales se pueden representar de muchas formas, en todos los casos la información está contenida en algún patrón de variaciones. Las señales se representan matemáticamente como funciones de una o más variables independientes. Por ejemplo, una señal de voz se representa matemáticamente como una función del tiempo, y una imagen fotográfica se representa como una función del brillo respecto a dos variables espaciales. Una convención común, es referirse a la variable independiente de la representación matemática de la señal como el tiempo, aunque en ejemplos específicos la variable independiente puede no representar de hecho el tiempo. La variable independiente de la representación matemática de una señal puede ser continua o discreta (Oppenheim y Schafer, 2011, pp. 9-11).

2.3.1. Señales Discretas.

Las señales en tiempo discreto se definen en instantes discretos del tiempo y, por tanto, la variable independiente toma valores discretos, es decir, los instantes discretos del tiempo se representan como secuencias de números. Señales como la voz o la imagen pueden tener una representación utilizando tanto variables continuas como discretas y, si se mantienen ciertas condiciones, ambas representaciones son completamente equivalentes. Además del carácter continuo o discreto de la variable independiente, la amplitud de la señal puede ser también continua o discreta. Las señales digitales son aquellas que son discretas tanto en el tiempo como en la amplitud (Oppenheim y Schafer, 2011, pp. 9-11).

Las señales en tiempo discreto se representan matemáticamente como secuencias de números. Una secuencia de números x , en los que el n -ésimo número se indica como $x[n]$ ¹, se escribe formalmente como se muestra en la ecuación 1-2:

$$x = \{x[n]\}, \quad -\infty < n < \infty \quad (1-2)$$

Ecuación 1-2: Función de la señal discreta.

Donde:

n = número entero

En casos prácticos, estas secuencias surgen frecuentemente de muestrear una señal analógica (es decir, en tiempo continuo) $x_a(t)$. En este caso, el valor numérico del n -ésimo número de la secuencia es igual al valor de la señal analógica, $x_a(t)$, en el instante temporal nT , es decir, como se muestra en la ecuación 2-2.

$$x[n] = x_a(nT), \quad -\infty < n < \infty \quad (2-2)$$

Ecuación 2-2: Señal analógica.

Donde:

T = periodo de muestreo.

nT = instante temporal.

Aunque las secuencias no surgen siempre del muestreo de señales analógicas, es conveniente referirse a $x[n]$ como la “ n -ésima muestra” de la secuencia. Además, aunque estrictamente hablando, $x[n]$ indica el n -ésimo número de la secuencia, la notación de la ecuación (2-1) es innecesariamente compleja, por lo que resulta conveniente y exento de ambigüedad hablar de “la secuencia $x[n]$ ” con lo que queremos indicar la secuencia completa, lo mismo que cuando decimos “la señal analógica $x_a(t)$ ”.

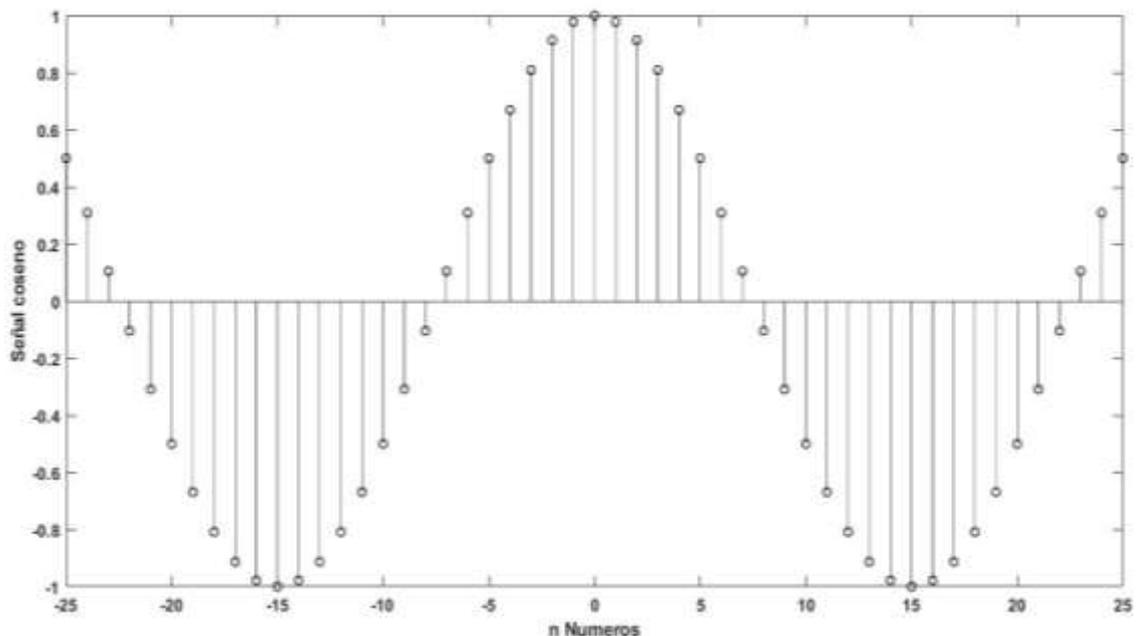


Ilustración 4-2: Señal Coseno Discreta.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Las señales en tiempo discreto se representan frecuentemente en forma gráfica como se indica en la ilustración 4-2 donde el eje de las abscisas X, representa la señal a graficar en este caso una señal coseno y el eje de las ordenadas Y, representa el número entero.

2.3.1.1. Señal Discreta Escalón Unitario.

La señal escalón unitario se denota como $x[n]$ y se define con la ecuación 3-2.

$$x[n] = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases} \quad (3-2)$$

Ecuación 3-2: Función de la señal escalón unitario.

En la señal escalón unitario n es igual a cero para todos los valores negativos y su valor es uno para todos los valores positivos incluyendo el cero, esta función se utiliza para presentar señales que se interrumpen en algún instante de tiempo, se caracteriza por ser una función delimitante, ya que puede delimitar una señal en un intervalo de tiempo (Rojo, 2009).

La representación gráfica de la señal escalón unitario se muestra en la ilustración 5-2 con una amplitud de 1 en valores positivos o mayores que cero y con un valor de cero en valores negativos o menores que cero.

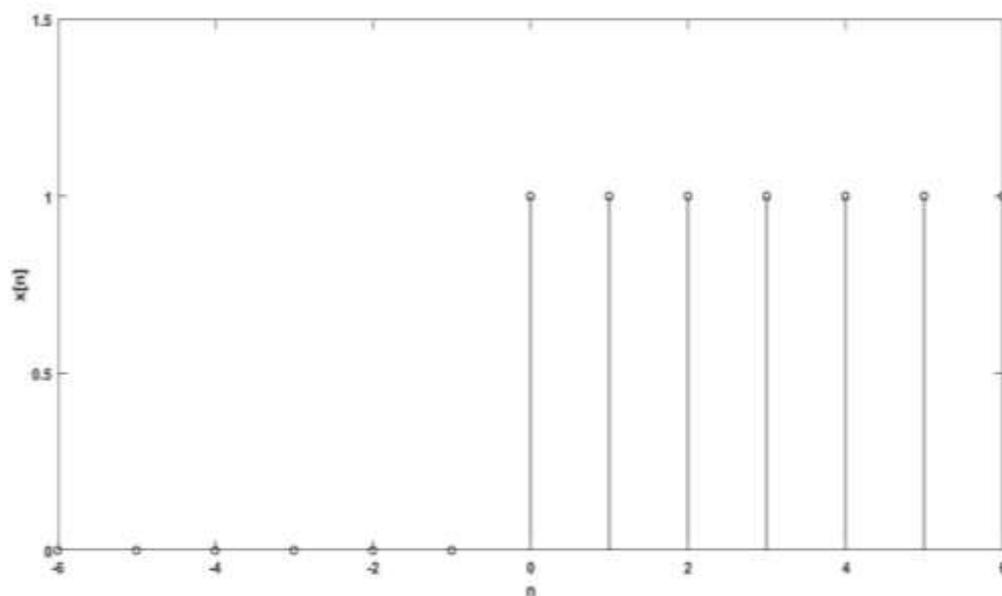


Ilustración 5-2: Señal escalón unitario

Realizado por: Paredes J, 2023

2.3.1.2. Señal discreta exponencial.

La señal exponencial en función discreta se representa en la ecuación 4-2.

$$x[n] = a^n \quad (4-2)$$

Ecuación 4-2: Función de la señal exponencial.

Donde:

a = Es un número real o complejo.

Si el parámetro a es real, entonces $x[n]$ es una señal real, pero si el parámetro a es un valor complejo, la señal $x[n]$ es representada en la ecuación 5-2 (Gomez, 2017).

$$x[n] = a^n (\cos(\theta n) + j \sin(\theta n)) \quad (5-2)$$

Ecuación 5-2: Función de la señal exponencial compleja.

Donde:

a^n = Es la señal exponencial real.

θn = Es un numero completo en términos de θ

La representación gráfica de la señal exponencial se representa en la ilustración 6-2 con $x[n]$ para distintos valores de n , tomando en cuenta que para la señal exponencial existe de forma real y de forma compleja.

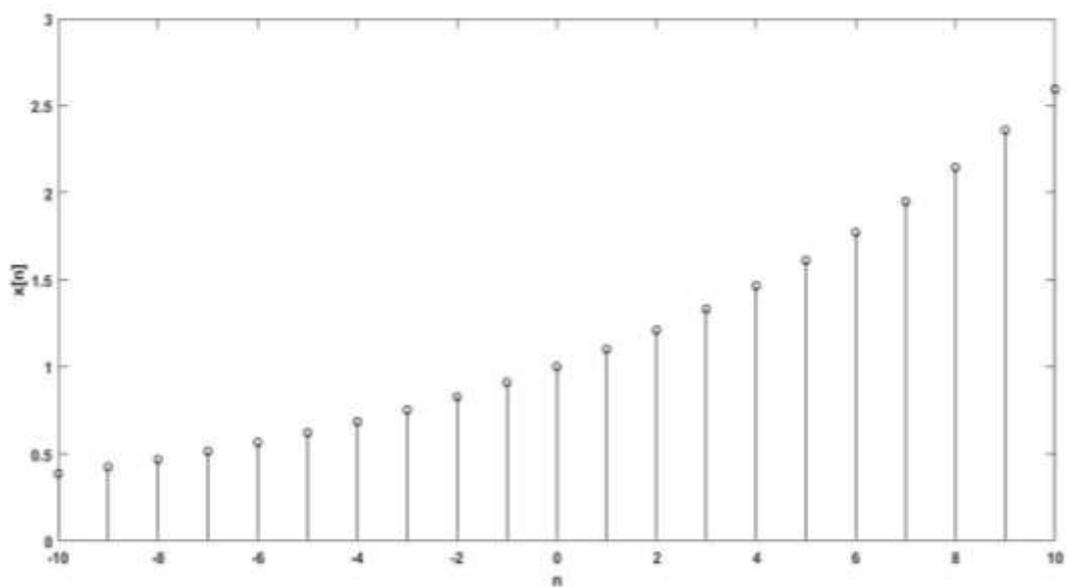


Ilustración 6-2: Señal exponencial discreta

Realizado por: Paredes J, 2023.

2.3.1.3. Señal rampa unitaria.

La función rampa unitaria se muestra en la ecuación 6-2.

$$x[n] = \begin{cases} n; & n = 0, 1, 2, 3, \dots \\ 0; & n < 0 \end{cases} \quad (6-2)$$

Ecuación 6-2: Función de la señal rampa unitaria.

La función rampa unitaria es aquella señal en la que cada valor del dominio se corresponde a sí mismo a partir de $n \geq 0$ es decir sus valores van desde 0 hasta un número n infinito. La representación gráfica de la función rampa unitaria se observa en la ilustración 7-2 donde n representa varios valores enteros. (Carrillo, 2012).

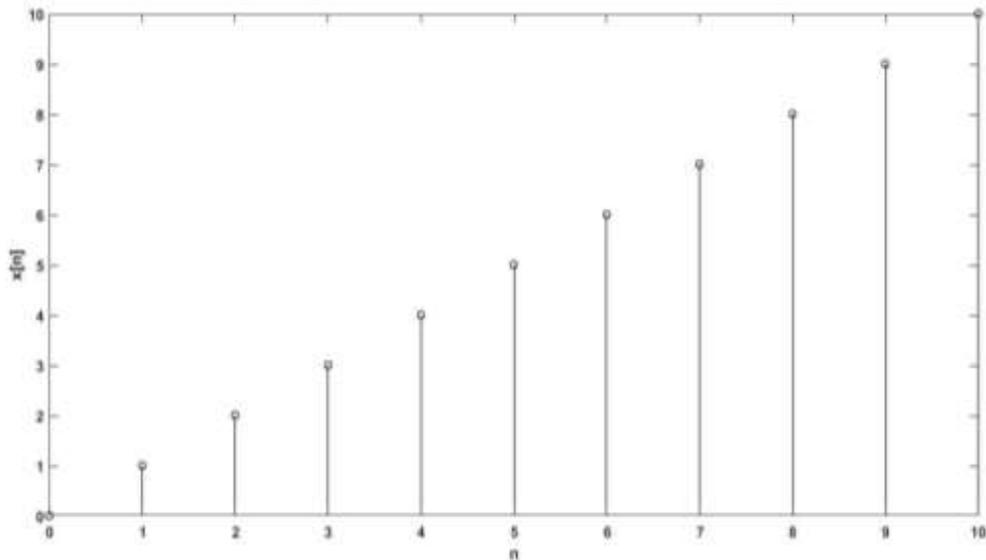


Ilustración 7-2: Señal discreta rampa unitaria

Realizado por: Paredes J, 2023.

2.3.2. Señales Continuas.

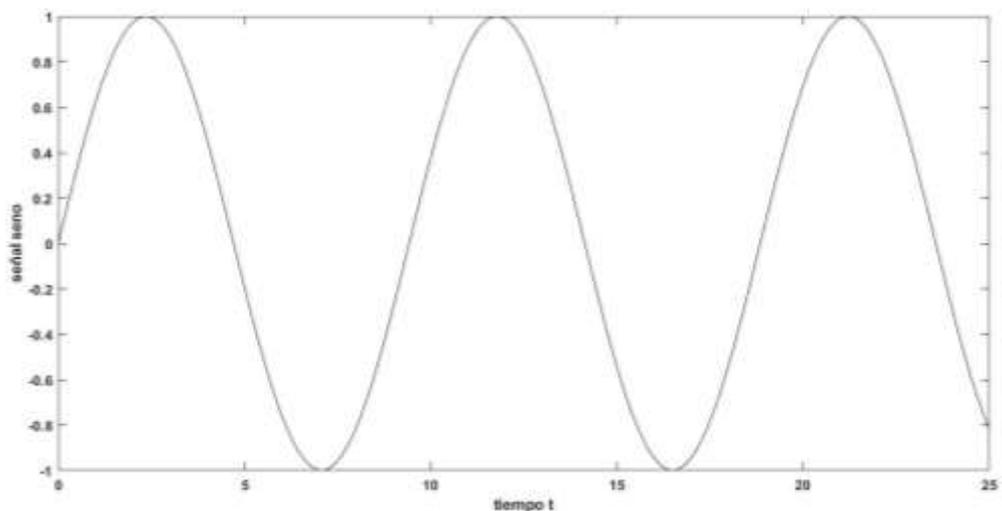


Ilustración 8-2: Señal continua.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Una señal $x(t)$, es una señal en tiempo continuo si la variable independiente t es una variable continua y, por ende, estas señales están definidas para un continuo de valores de esa variable; es decir, el valor de $x(t)$ es especificado en todo instante t de un intervalo de tiempo dado, ya sea mediante una expresión matemática o gráficamente por medio de una curva; en otras palabras, la variable independiente puede tomar cualquier valor real (Moron, 2011, pp 2-3).

Las señales en tiempo continuo se representan frecuentemente en forma gráfica como se indica en la ilustración 8-2 donde el eje de las abscisas X, representa la señal a graficar en este caso una señal coseno y el eje de las ordenadas Y, representa el tiempo t .

2.3.2.1. Señal escalón unitario.

La función escalón unitario continua $x(t)$ también es conocida como función unitaria de Heaviside y se muestra en la ecuación 7-2. (Hwei, 2013, pp 4-5).

$$x(t) = \begin{cases} 1 & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (7-2)$$

Ecuación 7-2: Señal escalón unitario continua sin desplazamiento.

Por otro lado, existe la función de escalón unitario desplazada en $x(t-t_0)$ que es de manera semejante a la función escalón unitario original, se muestra en la ecuación 8-2. (Hwei, 2013, pp 4-5).

$$x(t - t_0) = \begin{cases} 1 & t > t_0 \\ 0 & t < t_0 \end{cases} \quad (8-2)$$

Ecuación 8-2: Señal escalón unitario continua con desplazamiento.

La función escalón unitario se representa gráficamente como se muestra en la ilustración 9-2 en el cual se observa que es discontinua en $t = 0$ y que el valor en $t = 0$ es infinito.

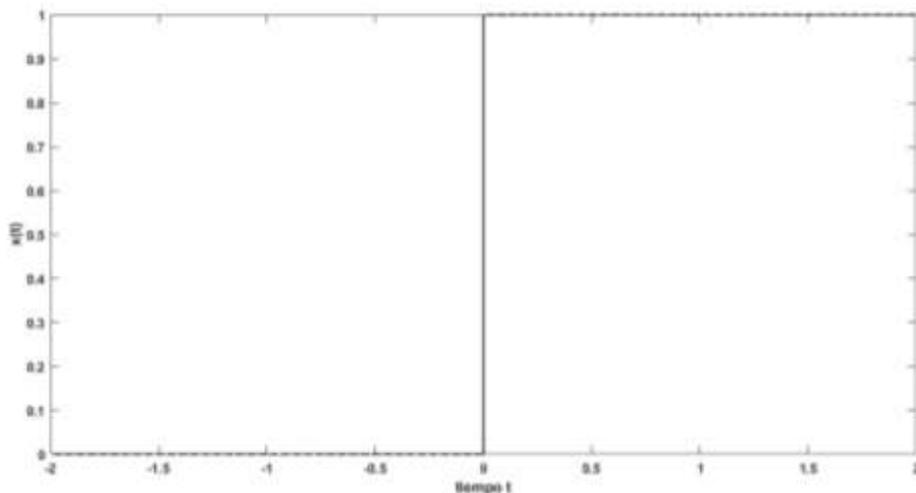


Ilustración 9-2: Señal escalón unitario continua

Realizado por: Paredes J, 2023.

2.3.2.2. Señal Exponencial.

Una señal exponencial real en tiempo continuo se define mediante la ecuación 9-2.

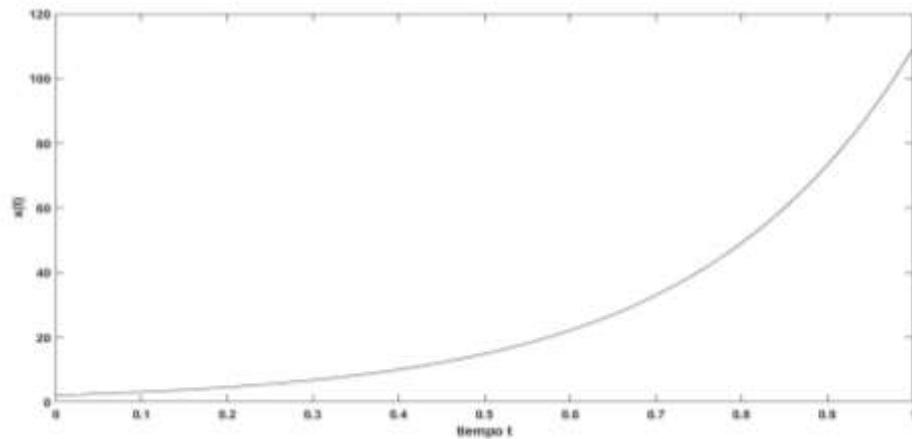
$$x(t) = e^{\alpha t} \quad (9-2)$$

Ecuación 9-2: Señal exponencial continua.

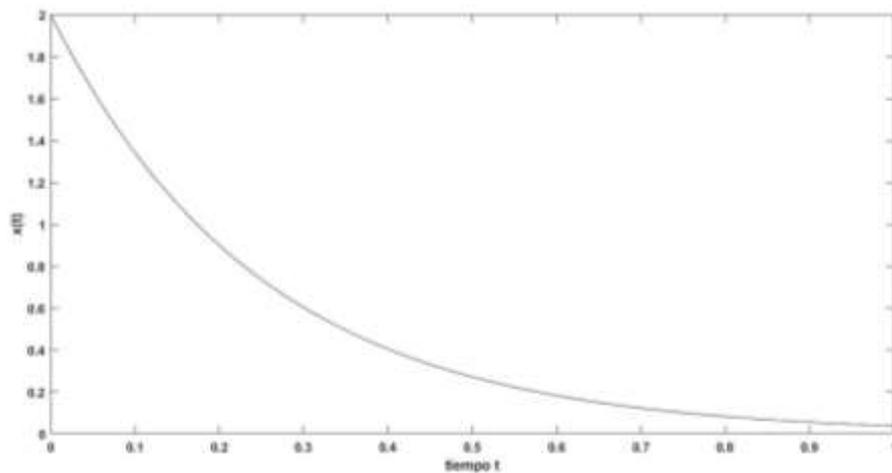
Donde:

α = es un parámetro real.

Si α es mayor que cero, la señal monótona creciente y si α es menor que cero, es monótona decreciente. Cuanto mayor es el valor absoluto de α , más rápido crecerá o decrecerá la función (Aerts et al., 2012).



a)



b)

Ilustración 10-2: Señal exponencial continua a) Creciente, b) Decreciente

Realizado por: Paredes J, 2023.

La función exponencial se representa gráficamente como se muestra en la ilustración 10-2 en el cual se observa que la ilustración 10-2a una señal exponencial creciente y en la ilustración 10-2b se encuentra una señal exponencial decreciente.

2.3.2.3. Señal Rampa unitaria

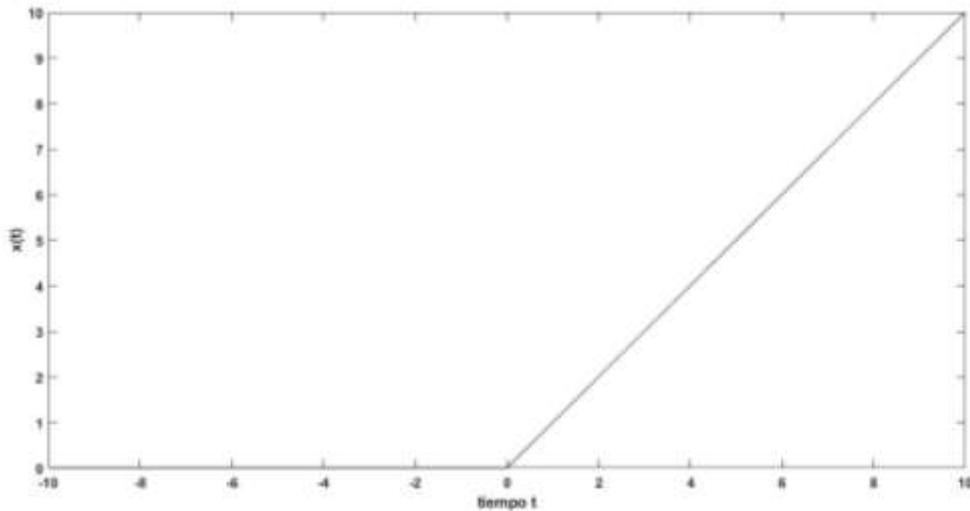


Ilustración 11-2: Señal rampa unitaria continua

Realizado por: Paredes J, 2023.

La función rampa unitaria viene definida como se muestra en la ecuación 10-2.

$$x(t) = \begin{cases} t & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (10-2)$$

Ecuación 10-2: Señal rampa unitaria continua.

La función rampa unitaria se obtiene integrando la función escalón unitaria, la señal función rampa es unitaria en todo el tiempo de $t = 0$, el escalado temporal de una rampa unitaria por un factor ∞ genera una función rampa con pendiente ∞ (Soliman, 1999, pp 22-21).

La función escalón unitario se representa gráficamente como se muestra en la ilustración 11-2 en el cual se observa que es continua en $t = 0$.

2.4. Filtros

Un filtro es un elemento que discrimina una determina frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase. El propósito de los filtros es separar la información de interferencias, ruido y distorsión indeseada. Este elemento se modela con su función de transferencia. Su representación es una caja con tres ondas representando bandas. La banda inferior incluye $f = 0 \text{ Hz}$ la superior incluye $f \rightarrow \infty$ y la

intermedia cualquier rango que no incluya ninguna de estas dos frecuencias. Si no se especifica nada respecto a las bandas, lo habitual es usar el símbolo la representación gráfica de un filtro se muestra en la ilustración 12-2 (Cogollos, 2016).

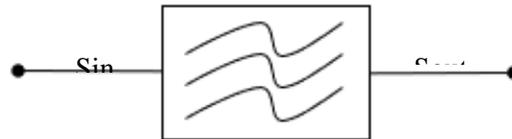


Ilustración 12-2: Representación gráfica de un filtro.

Realizado por: Paredes J, 2023.

2.4.1. Filtros analógicos.

Los filtros digitales y analógicos eliminan el ruido no deseado o los componentes de la señal, pero los filtros funcionan de manera diferente en los dominios analógico y digital. Los filtros analógicos eliminarán todo lo que esté por encima o por debajo de una frecuencia de corte elegida, mientras que los filtros digitales se pueden programar con mayor precisión. Los filtros analógicos que eliminan las señales por encima de una cierta frecuencia se llaman filtros de paso bajo porque permiten que las señales de baja frecuencia pasen a través del filtro mientras bloquean todo lo que está por encima de la frecuencia de corte. Un filtro analógico que elimina todas las señales por debajo de una cierta frecuencia es un filtro de paso alto, porque permite pasar todo lo más alto que la frecuencia de corte (Heath, 2016).

Los filtros analógicos son circuitos hechos de componentes analógicos como resistencias, condensadores, inductores y amplificadores operacionales. Los filtros digitales a menudo están integrados en un chip que opera con señales digitales, como un MCU, SoC, procesador o DSP. Los filtros analógicos son bastante simples, pero aumentan en complejidad si desea un roll-off más preciso; Es decir, hacer que el resultado filtrado sea más preciso "paso a paso" en el roll-off requiere sucesivamente más componentes (Heath, 2016).

2.4.1.1. Filtro activo.

Los filtros activos se llaman así porque están contruidos con componentes activos o componentes que agregan energía a los circuitos. Ejemplos de componentes activos incluyen amplificadores, transistores, osciladores, etc. En los filtros, los componentes activos más utilizados son amplificadores operacionales o amplificadores operacionales para abreviar. Los amplificadores se utilizan en circuitos de filtro para superar los inconvenientes de los filtros pasivos. (Jadhav, 2022).

A continuación, se muestra en la ilustración 13-2, un filtro de paso bajo activo.

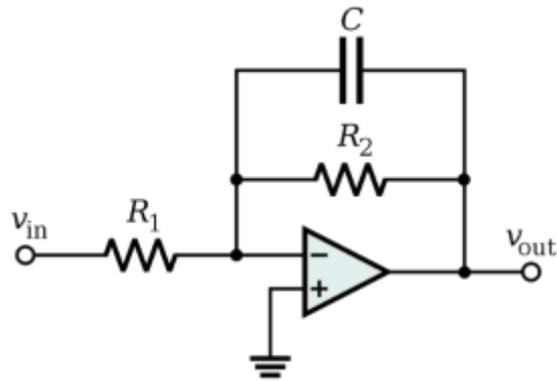


Ilustración 13-2: Filtro activo

Fuente: (Gotens, 2013).

Los filtros activos tienen una ganancia de 0dB para la banda de paso, lo que significa que no atenúan las señales en la banda de paso. Tienen altas impedancias de entrada y baja salida, que corresponden a dos ventajas: una, la impedancia de carga no afecta el rendimiento del filtro, y dos, los filtros múltiples en cascada no causan una disminución en la ganancia o mitigan la carga entre etapas. Estas características los hacen perfectos para la cascada. Dado que son dispositivos activos, se pueden configurar para aumentar las señales en la banda de paso (Jadhav, 2022).

2.4.1.2. Filtro pasivo.

Filtros pasivos (lineales e invariantes en el tiempo) son aquellos constituidos por agrupaciones de resistencias, condensadores, bobinas, y quizás algún transformador. Por este motivo, se les suele llamar también filtros RLC (Huertas, 2004, pp. 4-2).

Estos filtros son, cronológicamente, los primeros que se desarrollaron, ya que a principios del siglo XX no existían elementos activos, o estos eran muy caros y voluminosos. Por este motivo, gran parte de la teoría clásica de filtros esta desarrollada apuntando directa o indirectamente a la realización RLC (Huertas, 2004, pp. 4-2).

La utilización de más de un tipo de elementos (R, L, C) es necesaria para obtener funciones de transferencia V-V o L-L que tengan comportamiento dinámico. La utilización solo de resistencias y condensadores (o solo resistencias y bobinas) no permite la obtención de funciones de transferencia con polos complejos. Los polos complejos (factores de calidad altos) son necesarios para obtener buenas características de filtrado (rápidas transiciones de magnitud). La utilización de solo bobinas y condensadores no permite obtener polos fuera del eje imaginario, por lo que sería imposible realizar funciones de transferencia asintóticamente estables. Por estos motivos los filtros pasivos deben emplear (salvo casos particulares muy simples) simultáneamente elementos R, L y C (Huertas, 2004, pp. 4-2).

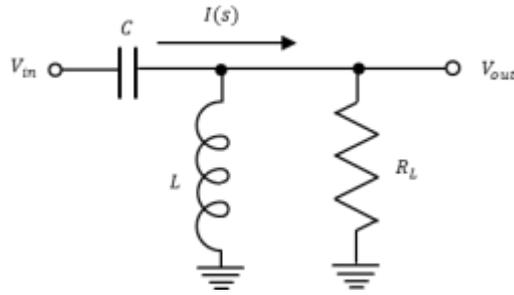


Ilustración 14-2: Filtro pasivo RLC

Fuente: (ISMS, 2016).

2.4.1.3. Filtro pasa bajas.

Un filtro pasa bajas es uno que deja pasar frecuencias desde cero hasta f_c y que atenúa significativamente a todas las demás frecuencias. La banda de paso del filtro pasa bajos ideal se muestra en el área sombreada de la ilustración 15-2; la respuesta se reduce a cero a frecuencias más allá de la banda de paso. Esta respuesta es ideal en ocasiones se conoce como “pared de ladrillos” porque nada lo atraviesa. El ancho de banda de un filtro pasa bajos ideal es igual a f_c (Floyd,2008, pp.756).

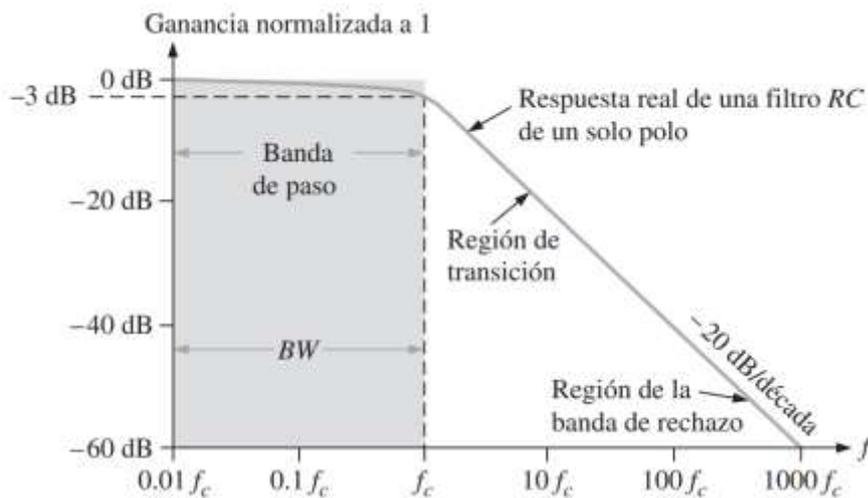


Ilustración 15-2: Filtro pasa bajos

Fuente: (Floyd,2008, pp.756).

La respuesta ideal mostrada en la figura 15-2 no está al alcance de cualquier filtro práctico. Las respuestas de un filtro real dependen del número de polos, un término utilizado con filtros para describir el número de circuitos RC contenidos en él. El filtro paso bajas más básico es un circuito RC sencillo compuesto por un solo resistor y capacitor; la salida se toma a través del capacitor, como muestra la figura 16-2. Este filtro RC básico consta de un solo polo y tiene una pendiente de caída de -20 db/década más allá de la frecuencia crítica. La curva de la gráfica de la figura 15-2 indica la respuesta real. La respuesta se traza en una gráfica logarítmica estándar que se utiliza para filtros para mostrar detalles de la curva a medida que se reduce la ganancia. Note que la

ganancia se reduce lentamente hasta que la frecuencia llega a la frecuencia crítica; después de esto, la ganancia se reduce con rapidez (Floyd,2008, pp.757).

La rapidez de la pendiente de caída de -20 dB/década de la ganancia de un filtro RC básico indica que a una frecuencia de $10f_c$, la salida será de -20 dB (10%) de la entrada. Esta rapidez de la pendiente de caída no es una característica particularmente buena para un filtro porque demasiadas frecuencias indeseables (más allá de la banda de paso) pasan a través del filtro (Floyd,2008, pp.757).

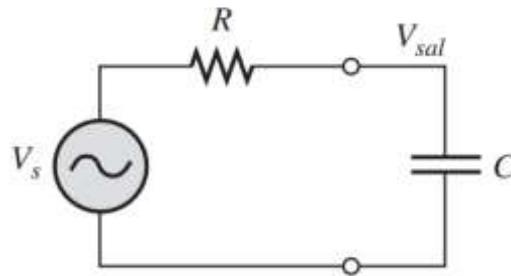


Ilustración 16-2: Filtro RC pasa bajos.

Fuente: (Floyd,2008, pp.757).

2.4.1.4. Filtro pasoaltas.

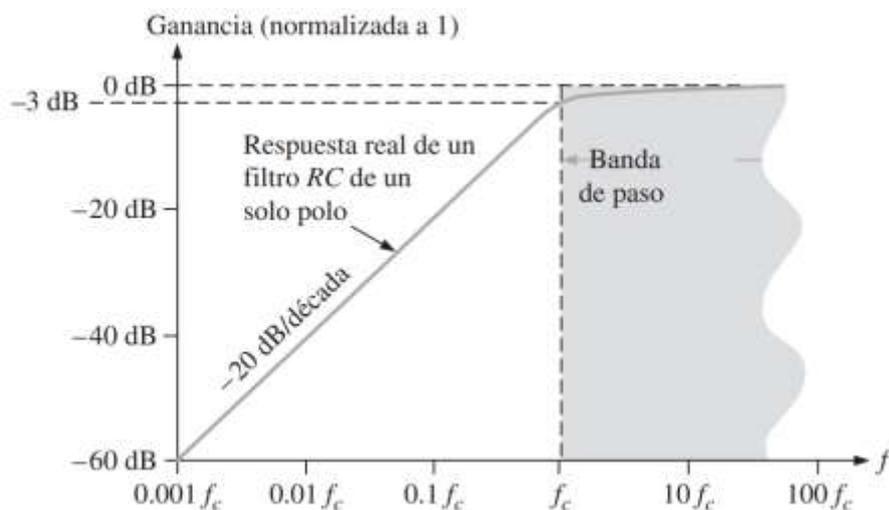


Ilustración 17-2: Filtro pasa altos

Fuente: (Floyd,2008, pp.758).

Un filtro pasoaltas es uno que atenúa o rechaza significativamente todas las frecuencias por debajo de f_c y deja pasar todas las frecuencias por encima de f_c . La frecuencia crítica es, de nuevo, la frecuencia a la cual la salida es 70.7% de la entrada (o de -3 dB), como se muestra en la ilustración 17-2. La respuesta ideal, indicada por el área sombreada, sufre una reducción instantánea a f_c , la que, desde luego, no es alcanzable. Idealmente, la banda de paso de un filtro pasoaltas es todas las frecuencias por encima de la frecuencia crítica. El amplificador operacional y otros

componentes que forman el filtro limitan la respuesta en alta frecuencia de circuitos prácticos. (Floyd,2008, pp.758).

Un circuito RC sencillo que consta de un solo resistor y un capacitor puede ser configurado como un filtro paso altas tomando la salida a través del resistor, como muestra la ilustración 18-2. Como en el caso del filtro paso bajas, la rapidez de la pendiente de caída del circuito RC básico es de -20 dB/década, como lo indica la curva de la gráfica de la ilustración 17-2 (Floyd,2008, pp.758).

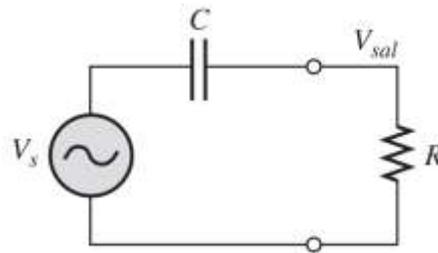


Ilustración 18-2: Filtro RC pasa altas.

Fuente: (Floyd,2008, pp.758).

2.4.1.5. Filtro pasa banda.

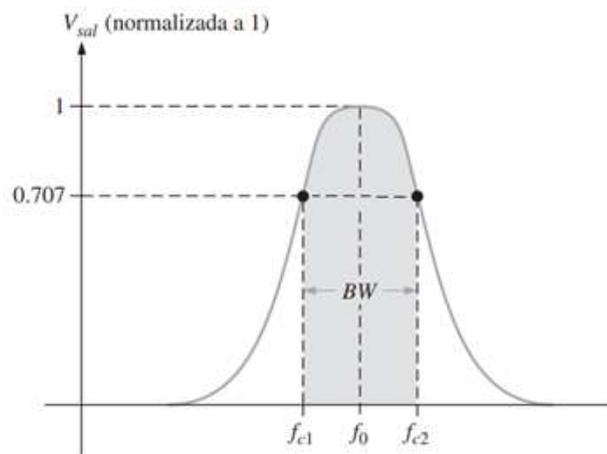


Ilustración 19-2: Filtro pasa banda

Fuente: (Floyd,2008, pp.759).

Una filtro paso banda deja pasar todas las señales situadas dentro de una banda entre un límite inferior de frecuencia y un límite superior de frecuencia y, en esencia, rechaza todas las frecuencias que quedan fuera de esta banda especificada. En la ilustración 19-2 se muestra una curva de respuesta paso banda generalizada. El ancho de banda (BW) se define como la diferencia entre la frecuencia crítica superior (f_{c2}) y la frecuencia crítica inferior (f_{c1}) (Floyd,2008, pp.759).

Las frecuencias críticas son, desde luego, los puntos donde la curva de respuesta de 70.7% de su valor máximo. Recuerde que estas frecuencias críticas también se llaman frecuencias de 3 dB. La

frecuencia en torno a la cual la banda de paso está centralizada se llama frecuencia central, f_0 definida como la media geométrica de las frecuencias críticas (Floyd,2008, pp.759).

2.4.1.6. Filtro supresor de banda.

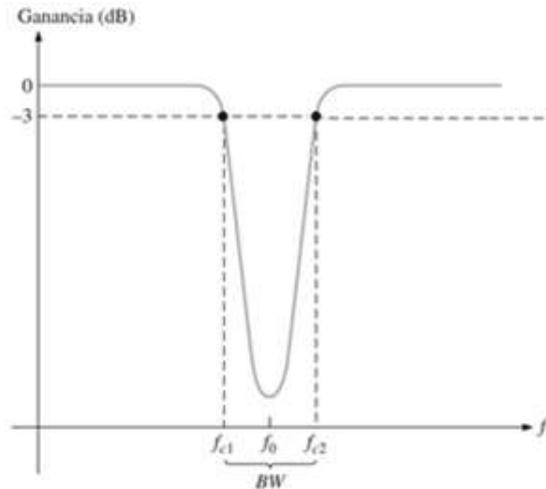


Ilustración 20-2: Filtro Rechaza banda

Fuente: (Floyd,2008, pp.760).

Otra categoría de filtro activo es el filtro supresor de banda, también conocido como filtro muesca, rechaza bandas o de eliminación de bandas. Se puede pensar en su operación como opuesta a la del filtro pasobanda porque las frecuencias dentro de un cierto ancho de banda son rechazadas y a las frecuencias afuera del ancho de banda se les permite pasar. En la ilustración 20-2 se muestra una curva de respuesta general de un filtro supresor de banda. Note que el ancho de banda es la banda de frecuencias entre los puntos 3 dB, tal como en el caso de la respuesta del filtro pasobanda (Floyd,2008, pp.760).

2.4.2. Filtro digital.

Un filtro es un sistema, que, dependiendo de algunos parámetros, realiza un proceso de discriminación de una señal de entrada obteniendo una señal con variaciones en su salida. Los filtros digitales tienen como entrada una señal digital y a su salida tienen otra señal digital, pudiendo haber cambiado en amplitud, frecuencia o fase dependiendo de las características del filtro. El filtrado digital es parte del procesado digital de señales. Se le da la denominación de digital, más por su funcionamiento interno, que, por su dependencia del tipo de señal a filtrar, así podríamos llamar filtro digital tanto a un filtro que realiza el procesado de señales digitales como a otro que lo haga de señales analógicas (J. Paz, 2016, pp.1).

El filtrado digital consiste en la realización interna de un procesamiento de datos de entrada. El valor de la muestra de la entrada actual y algunas muestras anteriores (que previamente habían

sido almacenadas) son multiplicadas, por unos coeficientes definidos. También puede tomar valores de la salida en instantes pasados y multiplicarlos por otros coeficientes. Finalmente, todos los resultados de todas estas multiplicaciones son sumados, dando una salida para el instante actual. Esto implica que internamente, tanto la salida como la entrada del filtro serán digitales, por lo que puede ser necesaria una conversión análogo - digital o digital – análogo para uso de filtros digitales con señales analógicas (J. Paz, 2016, pp.1).

En otras palabras, un filtro digital es un algoritmo implementado en hardware y/o software que opera sobre una señal de entrada digital (discreta en tiempo y cuantificada en amplitud) y genera una señal digital de salida, con la finalidad de efectuar un proceso de filtrado. El término “filtro digital” se refiere al hardware o software específico que ejecuta el algoritmo. Los filtros digitales trabajan sobre valores numéricos asociados a muestras de esas señales analógicas previamente digitalizadas por conversores análogo - digitales (A/D) o simplemente sobre un conjunto de números almacenados en la memoria de una computadora o microprocesador (J. Paz, 2016, pp.1).

Los filtros digitales más comunes utilizados para el filtrado de una señal analógica son los filtros FIR (Filtro de respuesta de impulso finito), filtro IIR (filtro de respuesta de impulso infinito) y el filtro media móvil.

2.4.2.1. Filtro FIR.

Los filtros FIR, también conocidos como filtros digitales no recursivos, tienen una respuesta de impulso finito porque después de un tiempo finito, la respuesta del filtro FIR se establece en cero. el diagrama de bloques del filtro FIR se muestra en la ilustración XXX (Zahoor y Naseem, 2017, pp. 2-3).

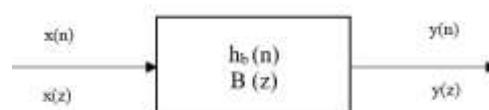


Ilustración 21-2: Diagrama de bloques de un filtro FIR.

Realizado por: Paredes J, 2023.

La ecuación de un filtro digital FIR se muestra en la ecuación 11-2.

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h(n)x(n - k) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x(n - k) \quad (11-2)$$

Ecuación 11-2: Ecuación de un filtro FIR.

Donde:

$N - 1$ = Es el orden del filtro.

N = Es el número de coeficientes del filtro.

b_k = Son los coeficientes del filtro.

k = Es el número del coeficiente del filtro.

La función de transferencia de un filtro FIR se muestra con la ecuación 12-2.

$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \sum_{k=0}^N h_k z^{-k} \quad (12-2)$$

Ecuación 12-2: Función de transferencia de un filtro FIR.

Donde:

$x(z)$ = Es la entrada del filtro.

$y(z)$ = Salida del filtro.

La estructura de un filtro FIR se compone como en la ilustración 21-2.

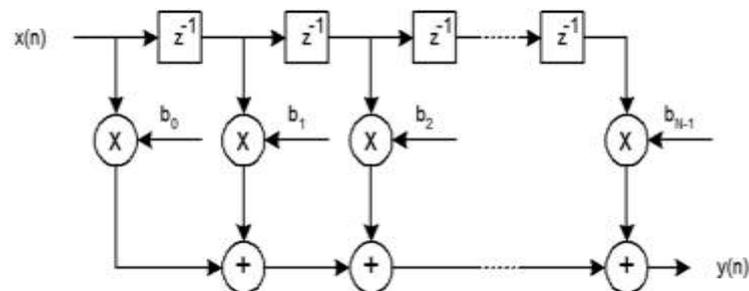


Ilustración 22-2: Estructura de los filtros FIR

Fuente: (Alexa, 2014).

2.4.2.2. Filtro IIR.

La estructura de un filtro IIR se observa en la ilustración 22-2.

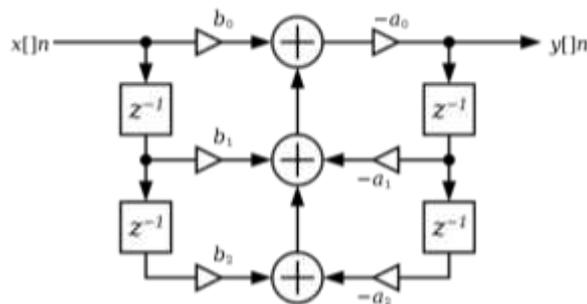


Ilustración 23-2: Estructura de un filtro IIR

Fuente: (Bartosz, 2011).

Un filtro recursivo implica retroalimentación, en otras palabras, los valores de salida se calculan utilizando una o más de las salidas anteriores, así como las entradas. En la mayoría de los casos, un filtro recursivo tiene una respuesta de impulso que teóricamente continúa para siempre. Por lo tanto, se denomina filtro de respuesta de impulso infinito (IIR). Suponiendo que el filtro es causal,

de modo que la respuesta al impulso $h[n] = 0$ para $n < 0$, se sigue que $h[n]$ no puede tener forma simétrica. Por lo tanto, un filtro IIR no puede mostrar características de fase lineal pura como su adversario, el filtro FIR (Schlichtharle, 2020, pp. 177-225).

En general, el diseño de un filtro IIR suele implicar uno o más polos y ceros colocados estratégicamente en el plano z , para aproximarse a la respuesta de frecuencia deseada. Un filtro analógico siempre se puede describir mediante una función de transferencia en el dominio de la frecuencia de la forma general, que se muestra en la ecuación 13-2 (Schlichtharle, 2020, pp. 177-225).

$$H(s) = k \frac{(s-z_1)(s-z_2)(s-z_3)\dots}{(s-p_1)(s-p_2)(s-p_3)\dots} \quad (13-2)$$

Ecuación 13-2: Función de transferencia de un filtro IIR.

Donde:

s = variable de Laplace.

k = es una constante o factor de ganancia.

p = los polos de una función de transferencia.

z = los ceros de una función de transferencia.

El filtro se caracteriza por sus $p_1, p_2, p_3 \dots$, y sus ceros $z_1, z_2, z_3 \dots$, que se puede trazar en el plano s complejo. La respuesta de frecuencia del filtro $H(\omega)$, se puede obtener reemplazando $s = j\omega$ en la ecuación 14-2. La respuesta completa del filtro se genera entonces variando ω en la ecuación 13-2 entre 0 y ∞ (Schlichtharle, 2020, pp. 177-225).

$$H(\omega) = k \frac{(j\omega - z_1)(j\omega - z_2)(j\omega - z_3) \dots}{(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)(j\omega - p_3) \dots}$$

Ecuación 14-2: Respuesta completa del filtro IIR.

2.4.2.3. Media móvil (MA).

La Media Móvil también conocida como Moving Average es utilizada para estudiar un conjunto de datos de series de tiempo los cuales tiene varios puntos creando así una serie de promedios, cada valor de la media móvil es el promedio del subconjunto de los datos originales que muestran dos factores como el promedio y el rango de tiempo (Hasun, 2014).

La media móvil puede ser calculada en cualquier conjunto de datos suavizándolos o filtrándolos para que la salida no tenga ruido este proceso tiene como ventaja agilizar el filtrado o suavizado de una señal (Hasun, 2014), la media móvil tiene un proceso conocido como SMA, WMA, EMA.

2.4.2.3.1. Media móvil simple (SMA).

La media móvil simple SMA, es un promedio común de los n puntos de datos anteriores en datos de series de tiempo. Cada punto de los datos de la serie temporal tiene la misma ponderación, por lo que no se aplican a factores de ponderación a ninguno de los puntos de datos. (Hasun, 2014), y se muestra en la ecuación 15-2.

$$SMA = \frac{P_M + P_{M-1} + \dots + P_{M-(n-1)}}{n} \quad (15-2)$$

Ecuación 15-2: Ecuación media móvil simple.

Donde:

P_M = valor del punto de datos en el momento.

M y n = representa el número de puntos de datos utilizados en el cálculo.

2.4.2.3.2. Media móvil ponderada (WMA).

Una media móvil ponderada (WMA) es una forma de mejora de SMA. Da un mayor peso a los datos más recientes que a los más antiguos. Los factores de ponderación se calculan a partir de la suma de los días utilizados en los datos de series temporales, también conocida como la suma de dígitos (Hasun, 2014), cómo se representa en la ecuación 16-2.

$$WMA = \frac{nP_M + (n-1)P_{M-1} + \dots + 2P_{(M-n+2)} + P_{(M-n+1)}}{n + (n-1) + \dots + 2 + 1} \quad (16-2)$$

Ecuación 16-2: Ecuación media móvil ponderada.

Donde:

P_M = factores de los datos de ponderación.

n = datos utilizados.

2.4.2.3.3. Media móvil exponencial (EMA).

Una media móvil exponencial (EMA) es un tipo de media móvil WMA que asigna un factor de ponderación a cada valor de la serie de datos según su antigüedad. al igual que WMA, en EMA los datos más recientes obtienen el mayor peso, y cada valor de datos obtiene un peso menor a medida que se retrocede cronológicamente. pero a diferencia de WMA en EMA, la ponderación para cada punto de datos más antiguo disminuye exponencialmente, por lo que nunca llega a cero (Hasun, 2014), la media móvil EMA se representa en la ecuación 17-2.

$$EMA = \alpha \cdot y_t + (1-\alpha) \cdot H_t \quad (17-2)$$

Ecuación 17-2: Media móvil exponencial.

Donde:

α = Es el grado de disminución de la ponderación.

y_t = Valor en el periodo del tiempo.

H_t = Valor base para un período de tiempo t

2.4.2.3.4. Media móvil previo n=2.

La media móvil previo n=2, es la media aritmética de dos puntos, esto es $x[n]$ y $x[n+1]$, dando como resultado $y[n]$; y, es utilizada para analizar un conjunto de datos discretos (puntos), que van de dos en dos, creando una serie de promedios de los puntos o datos originales, la media móvil previo se muestra en la ecuación 18-2.

$$y[n] = \frac{x[n]+x[n+1]}{2} \quad (18-2)$$

Ecuación 18-2: Media móvil previo n=2.

2.5. Método Spline Cúbico.

El método de spline cúbico es utilizado para pasar señales discretas a señales continuas, un spline es un polinomio por partes en los que los coeficientes de cada polinomio son fijados por nodos, normalmente se utilizan cúbicos para que los coeficientes que se eligen coincidan con la función y las derivadas primeras y segundas en cada nodo. (Jameson, 2017).

Un spline cúbico generalmente esta creado por diferentes polinomios de forma cubica como se indica en la ecuación 19-2 (Programmth,2021).

$$s(x)_n = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (19-2)$$

Ecuación 19-2: Polinomio cúbico spline.

Donde:

n = es el número de pares.

a, b, c, d = son coeficientes del polinomio cúbico.

Para el procedimiento de un spline cúbico se conforma mediante ecuaciones según el conjunto de valores requeridos y la aplicación de sus derivadas en las partes interiores ($bx^2 + cx$) y exteriores (ax^3, d) del polinomio para ello contiene tres reglas (Programmth,2021).

- **Regla 1:** La primera derivada en los puntos interiores deben ser iguales, es decir se igualan las ecuaciones de los puntos interiores con el número de ecuaciones existentes (Programmth,2021), como se muestra en la ecuación 20-2.

$$s(x)_1 = 3a_1x^2 + 2b_1x + c_1 + d_1$$

$$s(x)_2 = 3a_2x^2 + 2b_2x + c_2 + d_2$$

Derivadas:

$$s(x)'_1 = 3a_1x^2 + 2b_1x + c_1$$

$$s(x)'_2 = 3a_2x^2 + 2b_2x + c_2$$

Regla:

$$s(x)' \rightarrow s(x)'_1 = s(x)'_2 \rightarrow 3a_1x^2 + 2b_1x + c_1 = 3a_2x^2 + 2b_2x + c_2 \quad (20-2)$$

Ecuación 20-2: Primera derivada del método spline cúbico.

- **Regla 2:** Las segundas derivadas en los puntos interiores deben ser iguales, es similar a la regla número uno con diferencia que se aplican las segundas derivadas del polinomio 19-2 (Programmth,2021).
- **Regla 3:** La segunda derivada en el primer y último punto son iguales a 0 (Programmth,2021).

2.6. Frecuencias en la banda GSM 1900.

En la actualidad la telefonía celular ya no solo se restringe al uso de llamadas o mensajes de texto, sino que también se da al uso de Internet el cual se ha expandido aún más, siendo esta la herramienta más indispensable de trabajo y comunicación, ARCOTEL ha asignado frecuencias para la telefonía móvil celular.

Tabla 3-2: Servicios en la banda de frecuencia GSM 1900

SERVICIOS EN LA BANDA DE FRECUENCIAS GSM -1900							
EMPRESA	CONECEL S.A		OTECCEL S.A		CNT E.P		
TELEVISIÓN ANALÓGICA MHz							
BANDA	1900	850	1900	850	1900	1700	700
ANCHO DE BANDA	10	25	10	25	40	40	30
TELEFONÍA MÓVIL MHz							
RANGO DE FRECUENCIA	1865-1870		1885-1890		1885-1910		
					1875-1990		
	1945-1950		1965-1970		1890-1895		
					1970-1975		

Fuente: Arcotel Plan Nacional de frecuencias, Ecuador, 2015

El rango de frecuencias que cubre la banda GSM 1900 está compuesta por estaciones de telefonía móvil y cubre servicios de esta, cada rango de frecuencia depende del país donde se encuentre, la telefonía móvil tiene asignada su frecuencia de 1900 MHz en el Ecuador a la empresa CNT E.P, CONECEL S.A (CLARO), OTECEL S.A (MOVISTAR/TUENTI) por el ARCOTEL en tecnologías como 2G, 3G y 4G, en la banda de 1900Mhz. El rango de frecuencias en 1900 MHz es utilizado para televisión analógica por las empresas ya antes mencionadas con anchos de banda que van de 10 a 40 MHz, cómo se detalla en la tabla 3-2.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.

3.1. Introducción.

En el presente trabajo de titulación se utilizará la base de datos de las mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico discreto obtenidos en el monitoreo continuo durante una semana (15 a 21 de agosto 2016) de la banda de frecuencia GSM 1900 en el interior de la ESPOCH utilizando el equipo NARDA SRM-3000. Luego, se conformará los vectores de los valores medios diario de la intensidad de campo eléctrico E_d , correspondiente en cada instante de tiempo, durante una semana, para determinar el promedio de la señal de campo eléctrico discreta. A continuación, se suavizará (filtrado) el vector de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico discreta E_d aplicando el método de la media móvil previo con $n = 2$. Posteriormente, se determinará una señal continua en la banda GSM 1900, a partir de la señal promedio de la intensidad de campo eléctrico continua. Finalmente, se realizará un análisis comparativo entre las señales original y continua de la intensidad de campo eléctrico E.

3.2. Enfoque o modalidad de la investigación.

3.2.1. *Modalidad de la investigación.*

El enfoque de la investigación es cuantitativo, debido a que se examinarán los datos de manera científica o de forma numérica generalmente con apoyo de algunas herramientas tanto como computacionales o fundamentación matemática.

3.2.2. *Nivel de investigación.*

Se empleará la investigación de tipo descriptiva, donde se establezcan las características y el funcionamiento de la media móvil previo $n = 2$ y del método Spline cúbico para la transformación de la señal o puntos discretos a la señal continua los cuales serán controlados mediante la aplicación en el software Matlab.

3.3. Diseño de la investigación.

3.3.1. *Según la manipulación de la variable.*

En el presente trabajo se desarrollará un diseño de investigación de tipo experimental debido a

que se realizara una acción sobre los datos obtenidos en la base de la semana del 15 a 21 de agosto 2016 en los interiores de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, una vez realizada la acción se analizaran los resultados.

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo.

Se utilizará un estudio de tipo transversal ya que la investigación se centra en el estudio del suavizado de la señal y de la transformación de discreto a continuo, procurando obtener resultados de forma explícita, reduciendo recursos y poder observar diferentes variables.

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.

3.4.1. Metodología.

Para el presente trabajo se optó utilizar el método investigativo y el método experimental:

- **Método investigativo.** - En el método investigativo tiene como objetivo recolectar todo tipo de información acerca del significado, funcionamiento, características y ayudas en los códigos sobre el filtrado de las señales discretas mediante la técnica Media móvil previo $n=2$ para después ser transformada a señal continua.
- **Método experimental.** -En el método experimental se trata de buscar un software matemático adecuado que cumpla con los requisitos y parámetros para realizar las diferentes pruebas de simulación sobre el suavizado de una señal mediante la media móvil previo $n=2$ y la transformación de la señal discreta a continua.

3.4.2. Instrumentos de investigación.

En el siguiente trabajo de titulación se seleccionó el software Matlab R2019a el cual ayudara a cumplir con el objetivo del suavizado de la señal y la transformación de discreta a continua.

3.4.2.1. Matlab R2019a

El nombre Matlab significa Matrix Laboratory, Matlab es un lenguaje de alto rendimiento para computación que integra cálculos, visualización y programación, es un entorno de lenguaje de programación moderno, continente herramientas de depuración para la programación orientada a objetos (Houcque, 2005, pp. 1- 44).

Matlab tiene varias ventajas en comparación con los lenguajes de programación convencionales como C, Fortran los mismo que sirven para resolver problemas técnicos, Matlab es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos contiene información que no requiere

dimensionamiento, Matlab es un software que ha estado disponible comercialmente desde el año 1984 y ahora es considerado como una herramienta estándar en mayoría de universidades e industrias de todo el mundo (Houcque, 2005, pp. 1- 44)..

El inicio de sesión de Matlab es sencillo ya que se puede ingresar haciendo doble clic en el acceso directo de Matlab en el escritorio, cuando se inicia Matlab aparece una ventana especial denominada escritorio de Matlab este mismo contiene ventanas principales como la ventana de comando, el historial de comandos, el espacio de trabajo, el directorio actual, el navegador de ayuda y el botón de comenzar, una vez iniciado MATLAB, aparece el símbolo del sistema o la línea de comando (>>) para empezar con la programación correspondiente.

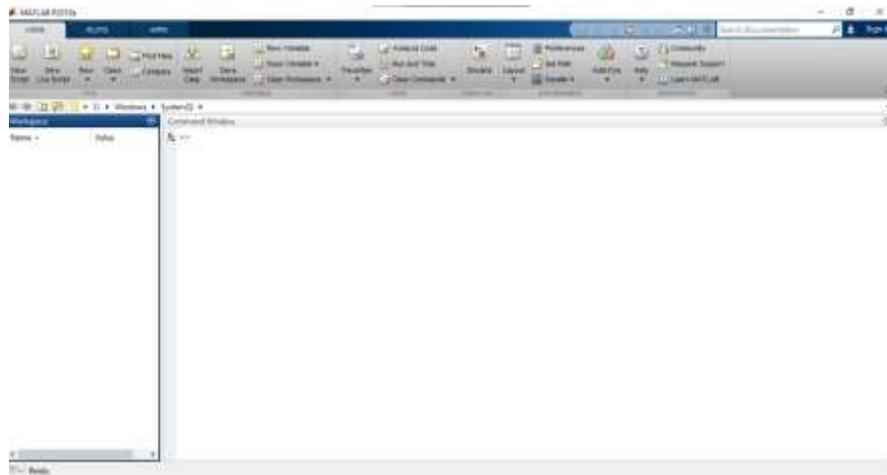


Ilustración 24-3: Interfaz de inicio en Matlab

Realizado por: Paredes J, 2023

En Matlab se puede utilizar operaciones básicas que son esenciales para operaciones matemáticas, este software opera en de las operaciones matemáticas básicas como se muestra en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Operaciones básicas en Matlab.

Símbolo	Función
+	Adición
-	Sustracción
*	Multiplicación y multiplicación de matrices
^	Potencia
/	División
.*	Multiplicación elemento por elemento
.^	Potencia elemento por elemento
'	Trasposición conjugada compleja

Realizado por: Paredes J, 2023

Fuente: https://la.mathworks.com/help/matlab/matlab_prog/matlab-operators-and-special-characters.html

Matlab al utilizar un lenguaje de programación requiere algunas sentencias, símbolos y comandos para su funcionamiento en la mayoría de los programas realizados, las más utilizadas son sentencias como if, else if, comandos como clear, clc como se muestra en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Sentencias y comandos de Matlab

Sentencias y comandos utilizados en Matlab	
Sentencias	
if <expresión> <órdenes evaluadas si la expresión es verdadera> End	Evalúa una expresión lógica si es cierta
if <expresión> <órdenes evaluadas si la expresión es verdadera> else <órdenes evaluadas si la expresión es falsa> End	Evalúa una expresión lógica si es cierta o ejecuta otra orden si es falsa
if <expresión 1> <órdenes evaluadas si la expresión 1 es verdadera> elseif <expresión2> <órdenes evaluadas si la expresión 2 es verdadera> ... else <órdenes evaluadas si ninguna otra expresión es verdadera> end	Evalúan las órdenes asociadas con la primera expresión verdadera de todas o ejecuta otra orden al dejar de ser cierta.
Comandos	
Clear	Borra variables de locales o global
Clc	Elimina todas las salidas anteriores
Plot	Genera una gráfica, los vectores deben ser de la misma longitud
Lenght	Longitud de un vector
Xlabel	Etiqueta del eje x en la grafica
Ylabel	Etiqueta del eje y en la grafica
Hold on	Muestra todas las gráficas.

Realizado por: Paredes J, 2023

Fuente: <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/if.html>

3.4.3. Técnicas de investigación.

Como técnica de investigación se realiza un ejemplo con 10 datos utilizando la media móvil previo $n = 2$ y el método spline el cual se detallará a continuación.

3.4.3.1. Procedimiento de suavizado media móvil previa $n = 2$.

Para este proceso se toman 10 puntos discretos al azar con el objetivo de indicar y demostrar el funcionamiento del algoritmo de la media móvil previa $n=2$ detallando mediante varios **pasos** para la señal discreta, ejemplo (paso 1d), siendo la letra d de discreto.

Se conforma el vector de intensidad de campo eléctrico discreto definido con la variable E_d donde d es de discreto, este vector contiene los n datos de los valores al azar y los índices correspondientes $i=1,2,3\dots 10$, como se muestra en la ecuación 21-3.

$$E_d = ([0.5]_1 [1.5]_2 [4.5]_3 [6.5]_4 [3.5]_5 [4.5]_6 [2.5]_7 [5.5]_8 [1.5]_9 [2.5]_{10}) \quad (21-3)$$

Ecuación 21-3: Vector de intensidad de campo eléctrico discreto con 10 puntos.

Los valores mostrados en el vector están colocados en una hoja de Excel llamada discreta la misma que está conformado por los valores al azar como se indica en la tabla 6-3

Tabla 6-3: Datos de la señal discreta

Punto o dato	V/m
1	0.5
2	1.5
3	4.5
4	6.5
5	3.5
6	4.5
7	2.5
8	5.5
9	1.5
10	2.5

Realizado por: Paredes J,2023.

Se ingresa el documento de Excel llamado discreta a Matlab con el comando xlsread el mismo que permite importar un documento de Excel en Matlab como se indica en la ilustración 24-3 la misma que indica que los puntos ingresados se guardarán en una variable llamada discreta la

misma que al contener los puntos del campo eléctrico E_d en V/m, que permitirá realizar la programación para el suavizado de la señal.

```

clc
close_all
discreta=xlsread('discreta.xlsx');
plot (discreta,"-o")
title("señal del original vs señal suavizada")
xlabel("Tiempo")

```

Ilustración 25-3: Xlsread comando de importación de datos en Matlab.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Paso 1d.

Una vez importado los 10 puntos, como se muestra en la ilustración 26-3, se procede a unir con líneas rectas todos los puntos como se muestra en la ilustración 27-3 y posteriormente se procede a aplicar la media móvil previo con una ventana de $n = 2$.

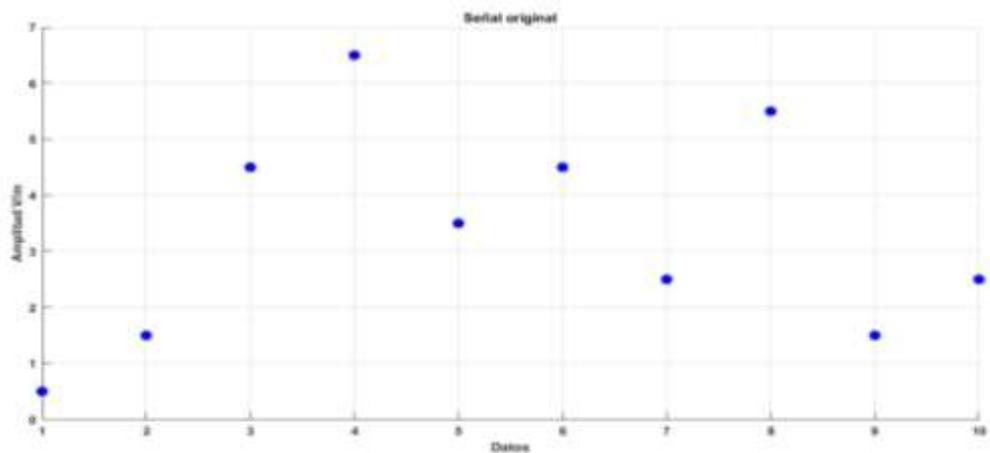


Ilustración 26-3: Señal original del campo eléctrico E_d .

Realizado por: Paredes J, 2023.

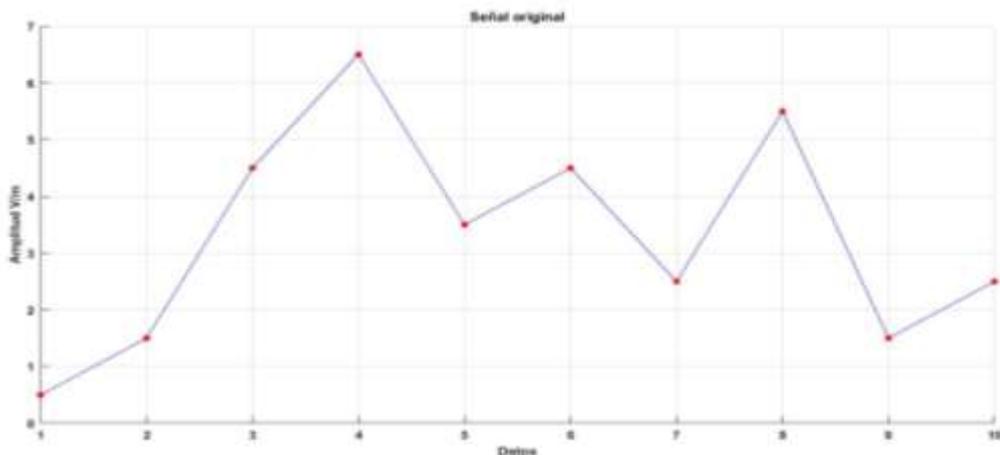


Ilustración 27-3: Señal original unido con líneas azules.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Paso 2d.

Una vez graficado la señal original se procede a realizar la media móvil previo $n = 2$, para lo cual se coje el primer punto $x[1] = 0.5$ y el segundo $x[2] = 1.5$ los cuales se suman y se dividen para 2 dando un valor $y[1] = 1$, como se indicó en la ecuación 18-2. La media móvil previo $n = 2$. Luego se coje entre el punto $x[2] = 1.5$ y el $x[3] = 4.5$ los cuales se suman y se dividen para 2 dando un valor $y[2] = 3$. Se continúa aplicando el mismo procedimiento para los puntos $y[3]$, $y[4]$, ..., $y[9]$, como se muestra en las siguiente tabla 7-3:

Tabla 7-3: Media móvil del primer pase de los 10 puntos.

$y[1] = \frac{x[1] + x[2]}{2} = \frac{0.5 + 1.5}{2} = 1$
$y[2] = \frac{x[2] + x[3]}{2} = \frac{1.5 + 4.5}{2} = 3$
$y[3] = \frac{x[3] + x[4]}{2} = \frac{4.5 + 6.5}{2} = 5.5$
$y[4] = \frac{x[4] + x[5]}{2} = \frac{6.5 + 3.5}{2} = 5$
$y[5] = \frac{x[5] + x[6]}{2} = \frac{3.5 + 4.5}{2} = 4$
$y[6] = \frac{x[6] + x[7]}{2} = \frac{4.5 + 2.5}{2} = 3.5$
$y[7] = \frac{x[7] + x[8]}{2} = \frac{2.5 + 5.5}{2} = 4$
$y[8] = \frac{x[8] + x[9]}{2} = \frac{5.5 + 1.5}{2} = 3.5$
$y[9] = \frac{x[9] + x[10]}{2} = \frac{1.5 + 2.5}{2} = 2$

Realizado por: Paredes J, 2023.

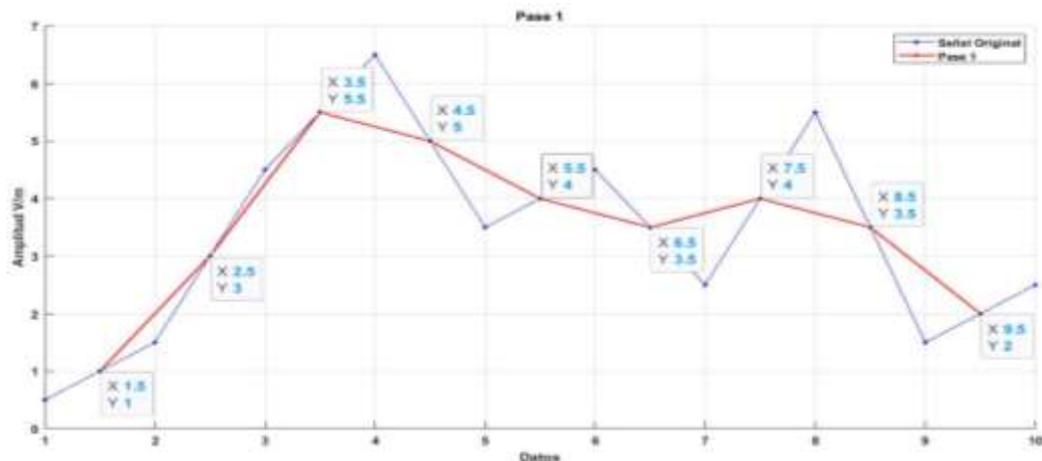


Ilustración 28-3: Primera iteración media móvil previo $n=2$.

Realizado por: Paredes J, 2023.

A continuación, se grafica los 9 puntos desde $y[1]$ hasta $y[9]$, y se unen con líneas rectas de color rojo, tal como se muestra en la ilustración 28-3.

Paso 3d.

Para continuar con el suavizado de la señal de la iteración o pase 2, se procede nuevamente a calcular las medias móviles, pero en esta ocasión se aplica la media móvil previo a los puntos o valores de la señal de la primera iteración, para ello se coje el primer punto $x[1] = 1$ y el segundo $x[2] = 3$ los cuales se suman y se dividen para 2 dando un valor $y[1] = 2$, luego se coje entre el punto $x[2] = 3$ y el $x[3] = 5.5$ los cuales se suman y se dividen para 2 dando un valor $y[2] = 4.25$ y se continúa aplicando el mismo procedimiento, como se muestra en la tabla 8-3.

Tabla 8-3: Valores de la media móvil para el pase 2 de los 10 puntos.

$y[1] = \frac{x[1] + x[2]}{2} = \frac{1 + 3}{2} = 2$
$y[2] = \frac{x[2] + x[3]}{2} = \frac{3 + 5.5}{2} = 4.25$
$y[3] = \frac{x[3] + x[4]}{2} = \frac{5.5 + 5}{2} = 5.25$
$y[4] = \frac{x[4] + x[5]}{2} = \frac{5 + 4}{2} = 4.5$
$y[5] = \frac{x[5] + x[6]}{2} = \frac{4 + 3.5}{2} = 3.75$
$y[6] = \frac{x[6] + x[7]}{2} = \frac{3.5 + 4}{2} = 3.75$
$y[7] = \frac{x[7] + x[8]}{2} = \frac{4 + 3.5}{2} = 3.75$
$y[8] = \frac{x[8] + x[9]}{2} = \frac{3.5 + 2}{2} = 2.75$

Realizado por: Paredes J, 2023.

En esta parte se presenta algo particular dado solo en los pases pares, a causa de los cálculos de los promedios del primer pase se pierde un punto queriendo decir que en un inicio fueron 10 puntos, pero en el transcurso de los cálculos en el primer pase se tiene solo 9 puntos, ahora aplicado el segundo pase se pierde un punto más siendo ahora 8 puntos, para recuperar aquellos puntos perdidos se procede a tomar del punto $y[2]$ en línea recta hacia la izquierda hasta interceptar el eje de las Y para obteniendo el punto $y[1]$, para recuperar $y[10]$ se toma como referencia el punto $y[9]$ en línea recta hacia la derecha hasta interceptar con el eje de las Y obteniendo el punto $y[10]$. Una vez recuperado los puntos se grafica los 10 puntos y se unen con líneas rectas de color negro, tal como se muestra en la ilustración 29-3

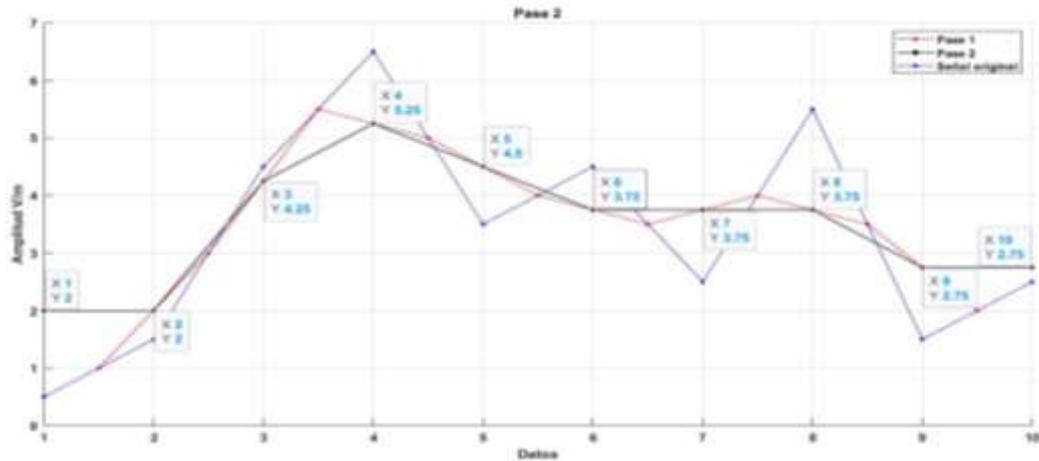


Ilustración 29-3: Segunda interacción de la media móvil previo n=2.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Pase 4d.

Para continuar con pase 3 se procede nuevamente a calcular las medias móviles, pero en esta ocasión se aplica la media móvil previo a los puntos o valores de la señal del segundo pase, para ello se coje el primer punto $x[1]=2$ y el segundo $x[2]=2$ los cuales se suman y se dividen para 2 dando un valor $y[1]=2$, luego se coje entre el punto $x[2]=2$ y el $x[3]=4.25$ los cuales se suman y se dividen para 2 dando un valor $y[2]=3.125$. Se continúa aplicando el mismo procedimiento para los puntos $y[3]$, $y[4]$, ..., $y[9]$ como se muestra en la tabla .

Tabla 9-3: Valores de la media móvil para el pase 3 de los 10 puntos.

$y[1] = \frac{x[1] + x[2]}{2} = \frac{2 + 2}{2} = 2$
$y[2] = \frac{x[2] + x[3]}{2} = \frac{2 + 4.25}{2} = 3.125$
$y[3] = \frac{x[3] + x[4]}{2} = \frac{4.25 + 5.25}{2} = 4.75$
$y[4] = \frac{x[4] + x[5]}{2} = \frac{5.25 + 4.5}{2} = 4.875$
$y[5] = \frac{x[5] + x[6]}{2} = \frac{4.5 + 3.75}{2} = 4.125$
$y[6] = \frac{x[6] + x[7]}{2} = \frac{3.75 + 3.75}{2} = 3.75$
$y[7] = \frac{x[7] + x[8]}{2} = \frac{3.75 + 3.75}{2} = 3.75$
$y[8] = \frac{x[8] + x[9]}{2} = \frac{3.75 + 2.75}{2} = 3.25$
$y[9] = \frac{x[9] + x[10]}{2} = \frac{2.75 + 2.75}{2} = 2.75$

Realizado por: Paredes J, 2023.

A continuación, se grafica los 9 puntos desde y [1] hasta y [9], y se unen con líneas rectas de color naranja, tal como se muestra en la ilustración 30-3.

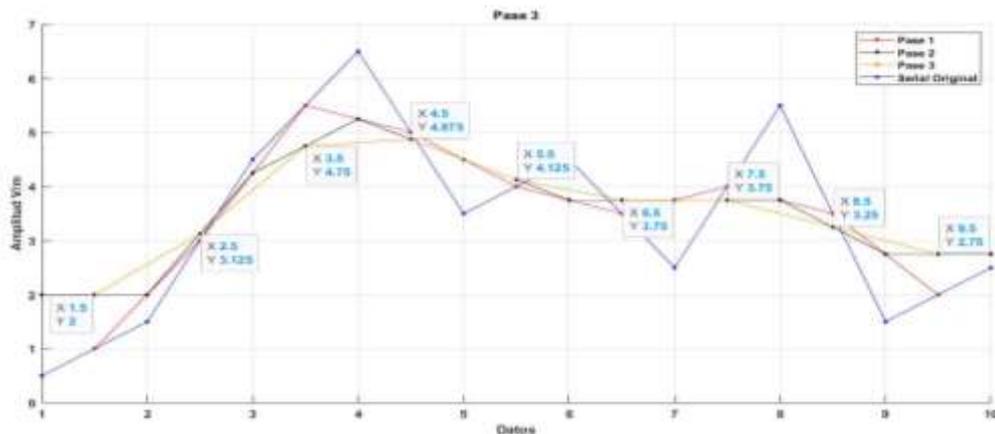


Ilustración 30-3: Tercera iteración de la media móvil previo n = 2.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Pase 5d.

Continuando con el suavizado de la señal para el pase 5 se procede a calcular las medias móviles, pero en esta ocasión se aplica la media móvil previo a los puntos o valores de la señal del cuarto pase, para ello se coje el primer punto x [1] =2.56 y el segundo x [2] =3.94 los cuales se suman y se dividen para 2 dando un valor y [1] = 3.25, luego se coje entre el punto x [2] = 3.94 y el x [3] = 4.81 los cuales se suman y se dividen para 2 dando un valor y [2] = 4.38. Se continúa aplicando el mismo procedimiento para los demás puntos, como se muestra en la tabla 10-3

Tabla 10-3: Valores de la media móvil para el pase 5 de los 10 puntos.

$y[1] = \frac{x[1] + x[2]}{2} = \frac{2.56 + 3.94}{2} = 3.25$
$y[2] = \frac{x[2] + x[3]}{2} = \frac{3.94 + 4.81}{2} = 4.38$
$y[3] = \frac{x[3] + x[4]}{2} = \frac{4.81 + 4.5}{2} = 4.66$
$y[4] = \frac{x[4] + x[5]}{2} = \frac{4.5 + 3.94}{2} = 4.22$
$y[5] = \frac{x[5] + x[6]}{2} = \frac{3.94 + 3.75}{2} = 3.84$
$y[6] = \frac{x[6] + x[7]}{2} = \frac{3.75 + 3.5}{2} = 3.63$
$y[7] = \frac{x[7] + x[8]}{2} = \frac{3.5 + 3}{2} = 3.25$
$y[8] = \frac{x[8] + x[9]}{2} = \frac{3 + 3}{2} = 3$

Realizado por: Paredes J, 2023.

A continuación, se grafica los 9 puntos de la iteración quinta que van desde y [1] hasta y [8], y se unen con líneas rectas de color celeste, tal como se muestra en la ilustración 31-3.

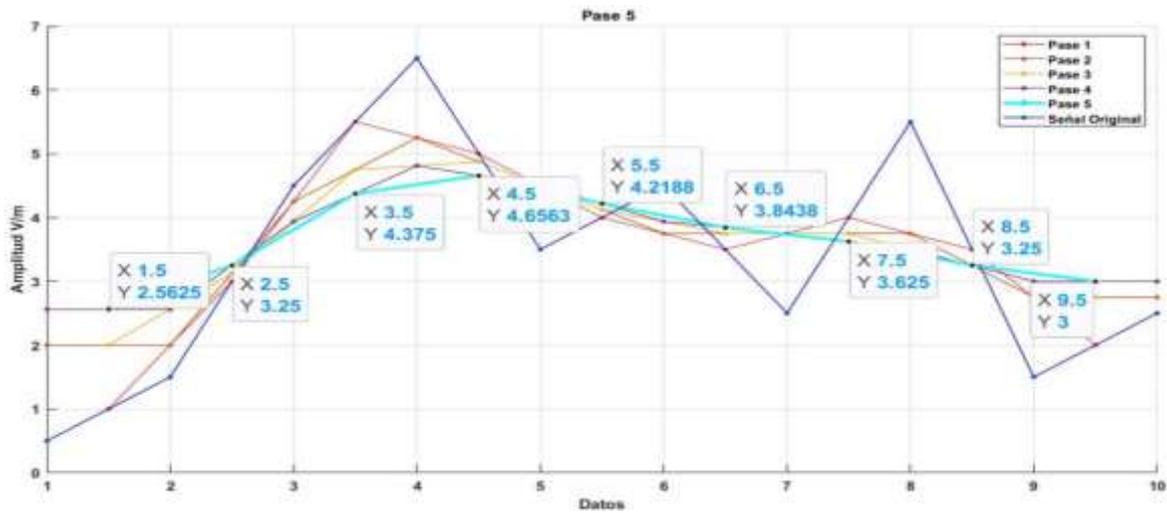


Ilustración 31-3: Iteración quinta de la media móvil previo $n = 2$.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Paso 5d.

Para obtener la señal suavizada del pase 10 se aplica la media móvil de la interacción previa es decir de la novena interacción que van desde y [1] hasta y [10], y se unen con líneas rectas de color negro, tal como se muestra en la ilustración 32-3, y al igual se observa que al ser un pase par se trasladan los puntos y[2] al punto de inicio y[1] y el punto y[9] al punto final y[10].

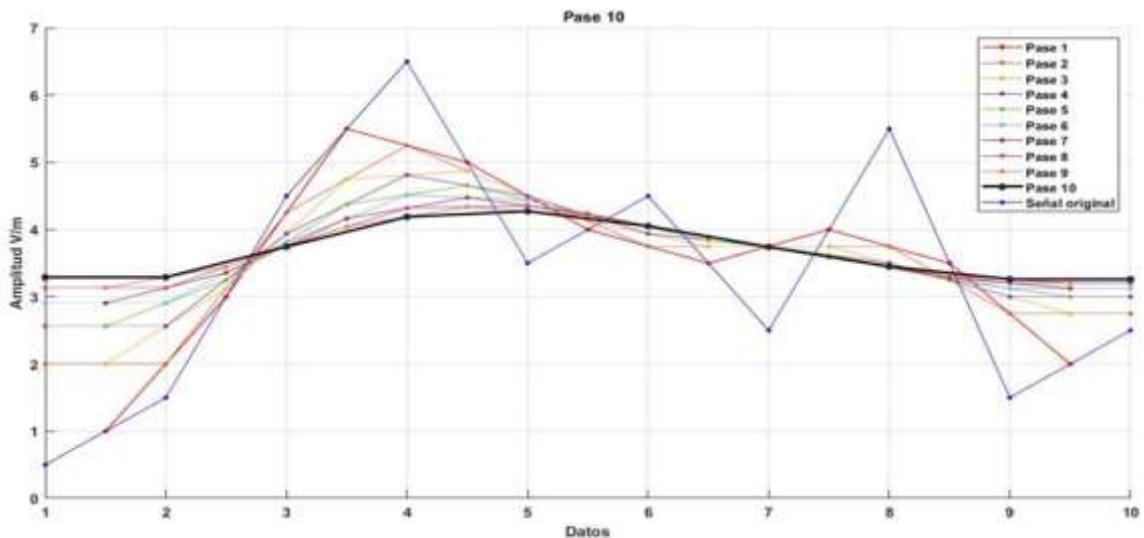


Ilustración 32-3: Decima iteración de la media móvil previo $n = 2$.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Paso 6d.

De la misma manera se obtiene el pase 15 aplicando el previo de la interacción 14 que van desde y [2] hasta y [9], y se unen con líneas rectas de color magenta, tal como se muestra en la ilustración 33-3, y al ser un pase impar se pierde los puntos y [1] y y [10].

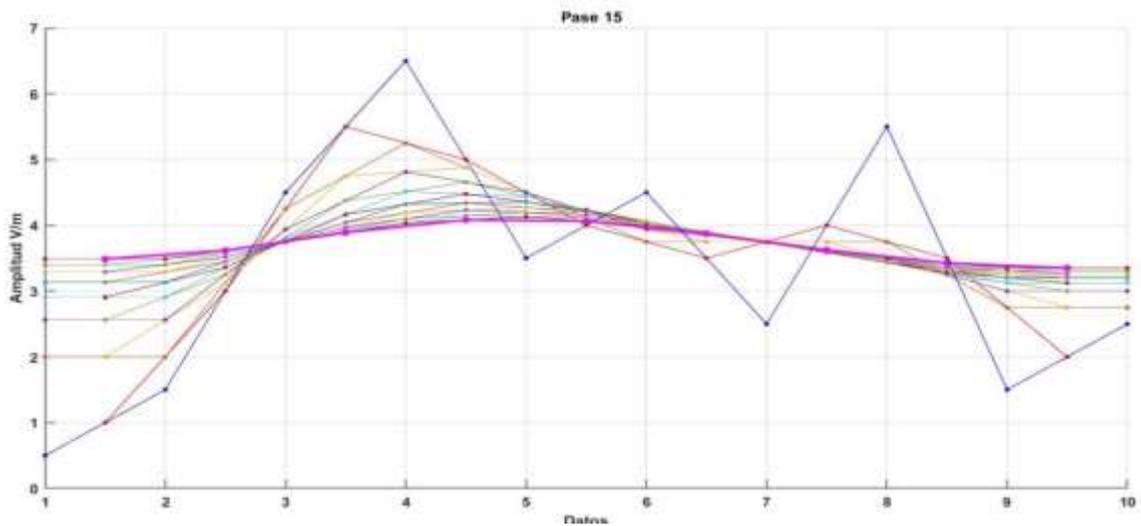


Ilustración 33-3: Quinceava iteración de la media móvil previo $n = 2$.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Paso 7d.

Continuando con el suavizado de la señal se realiza el pase 20, aplicando el previo de la interacción 19 que van desde y [1] hasta y [10], y se unen con líneas rectas de color verde, tal como se muestra en la ilustración 34-3.

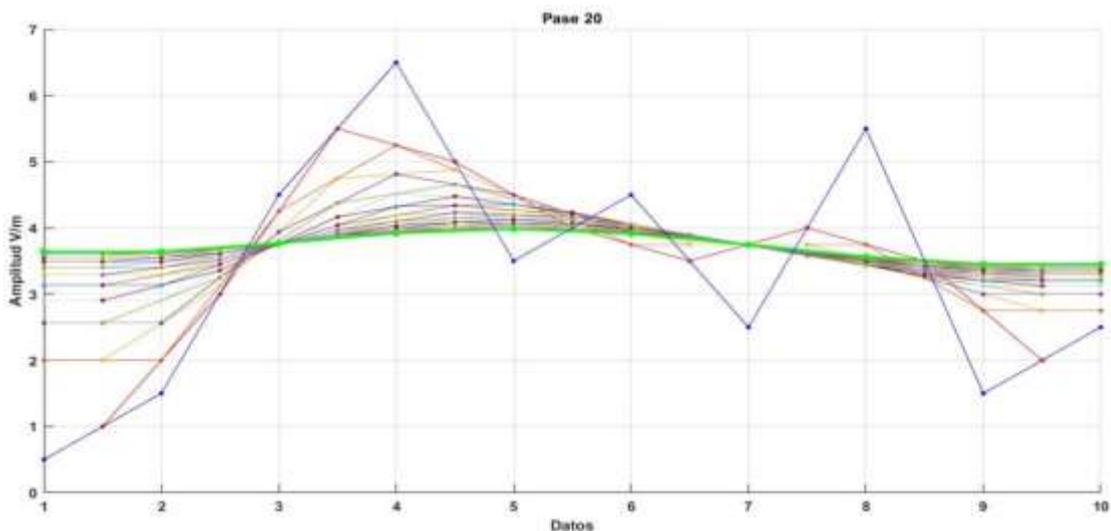


Ilustración 34-3: Veinteava iteración de la media móvil previo $n = 2$.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Paso 8d.

En la iteración 20 se muestra la señal totalmente suavizada con el método de la media móvil previo $n = 2$ y la señal de datos originales, como se observa en la ilustración 35-3 donde la señal de color azul es la señal original y la de color rojo la señal de la media móvil dando como resultado que el algoritmo realizado en el software Matlab funciona y se puede aplicar para más iteraciones.

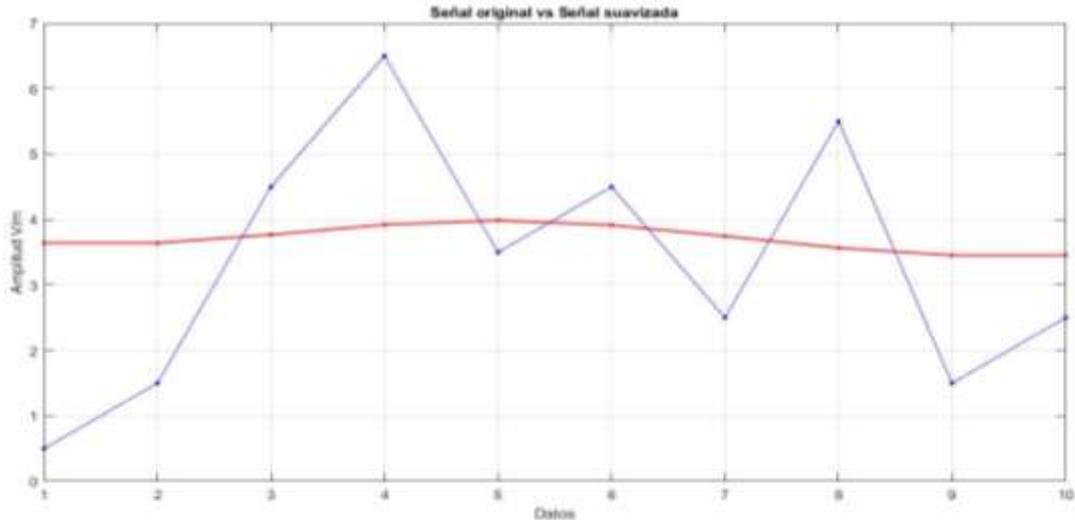


Ilustración 35-3: Señal original vs Señal suavizada.

Realizado por: Paredes J, 2023.

3.4.4. Procedimiento de la conversión de señal discreta a continua.

Continuando con el ejemplo se realiza el procedimiento de transformación de una señal de puntos discretos a una señal continua mediante los datos finales de la última iteración en este ejemplo la iteración veinte, para ello se aplica el método de Spline cúbico detallando mediante varios **pasos** para la señal continua, ejemplo (paso 1c), siendo la letra c de continuo.

Paso 1c.

Con la señal totalmente suavizada con la media móvil previo $n = 2$, tal como se muestra en la ilustra 35-3 de color rojo. Se procede a crear dos vectores: el primer vector llamado X contiene el número de la posición de los 10 datos de la aplicación de la media móvil (ilustración 35-3 color rojo) como se indica en la ecuación 22-3; mientras que, el segundo vector denominado Y que se muestra en la ecuación 23-3, contiene todos los datos de la media móvil de color rojo.

$$X = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10] \quad (23-3)$$

Ecuación 22-3: Vector x de n datos del método Spline cúbico.

$$Y = [3.6427 \ 3.6427 \ 3.7691 \ 3.9219 \ 3.9857 \ 3.9141 \ 3.7465 \ 3.5665 \ 3.4536 \ 3.4536]. \quad (23-3)$$

Ecuación 23-3: Vector Y con los resultados con la iteración 20 de la media móvil previo $n = 2$.

Paso 2c.

A continuación, se crea las ecuaciones con el conjunto de pares creados por el vector X, es decir, el primer par se crea con la posición de X1 y X2, el segundo par se crea con la posición X2 y X3, el tercer par se crea con la posición X3 y X4, hasta llegar al noveno par creado por la posición X9 y X10. En definitiva, son 9 conjuntos de pares como se muestra en la ilustración 36-3, esto se realiza ya que el método Spline cúbico crea un sistema de ecuaciones con el conjunto de pares permitiendo crear los polinomios cúbicos resultantes los mismos que crean la señal continua.

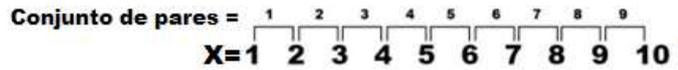


Ilustración 36-3: Conjunto de pares de 10 datos.

Realizado por: Paredes J, 2023.

A continuación, el método Spline cubico se obtiene del video, (Programmath,2021), el cual nos permitirá ir realizando los pasos con los 10 puntos resultantes de la media móvil. Entonces, por cada uno de los 9 pares, se crea una ecuación del polinomio denominado $s(x)_n$, como se muestra en la ecuación 19-2. Las 9 ecuaciones como resultado de los 9 pares se encuentran en la tabla 11 - 3:

Tabla 11-3: Ecuaciones $S(x)_n$ de los conjuntos de pares.

$S(x)_1 = a_1x^3 + b_1x^2 + c_1x + d_1$
$S(x)_2 = a_2x^3 + b_2x^2 + c_2x + d_2$
$S(x)_3 = a_3x^3 + b_3x^2 + c_3x + d_3$
$S(x)_4 = a_4x^3 + b_4x^2 + c_4x + d_4$
$S(x)_5 = a_5x^3 + b_5x^2 + c_5x + d_5$
$S(x)_6 = a_6x^3 + b_6x^2 + c_6x + d_6$
$S(x)_7 = a_7x^3 + b_7x^2 + c_7x + d_7$
$S(x)_8 = a_8x^3 + b_8x^2 + c_8x + d_8$
$S(x)_9 = a_9x^3 + b_9x^2 + c_9x + d_9$

Realizado por: Paredes J, 2023

Paso 3c.

A continuación, se remplazan los valores de X en cada ecuación $s(x)_n$, como es un conjunto de 9 pares el valor de la posición 1 se remplaza en el conjunto de par 1 ($S(x)_1 = a_1(1)^3 + b_1(1)^2 + c_1(1) + d_1$) y el valor de la posición 2 se remplaza en el conjunto de par 1 ($S(x)_2 = a_1(2)^3 + b_1(2)^2 + c_1(2) + d_1$), el valor de la posición 3 se remplaza en el conjunto de par 2 ($S(x)_2 = a_1(2)^3 + b_1(2)^2 + c_1(2) + d_1$), así consecutivamente hasta llegar a las 18 ecuaciones como se observa en la tabla 12 - 3:

Tabla 12-3: Ecuaciones remplazados el vector X.

$S(x)_1 = a_1(1)^3 + b_1(1)^2 + c_1(1) + d_1$	$S(x)_{10} = a_5(6)^3 + b_5(6)^2 + c_5(6) + d_5$
$S(x)_2 = a_1(2)^3 + b_1(2)^2 + c_1(2) + d_1$	$S(x)_{11} = a_6(6)^3 + b_6(6)^2 + c_6(6) + d_6$
$S(x)_3 = a_2(2)^3 + b_2(2)^2 + c_2(2) + d_2$	$S(x)_{12} = a_6(7)^3 + b_6(7)^2 + c_6(7) + d_6$
$S(x)_4 = a_2(3)^3 + b_2(3)^2 + c_2(3) + d_2$	$S(x)_{13} = a_7(7)^3 + b_7(7)^2 + c_7(7) + d_7$
$S(x)_5 = a_3(3)^3 + b_3(3)^2 + c_3(3) + d_3$	$S(x)_{14} = a_7(8)^3 + b_7(8)^2 + c_7(8) + d_7$
$S(x)_6 = a_3(4)^3 + b_3(4)^2 + c_3(4) + d_3$	$S(x)_{15} = a_8(8)^3 + b_8(8)^2 + c_8(8) + d_8$
$S(x)_7 = a_4(4)^3 + b_4(4)^2 + c_4(4) + d_4$	$S(x)_{16} = a_8(9)^3 + b_8(9)^2 + c_8(9) + d_8$
$S(x)_8 = a_4(5)^3 + b_4(5)^2 + c_4(5) + d_4$	$S(x)_{17} = a_9(9)^3 + b_9(9)^2 + c_9(9) + d_9$
$S(x)_9 = a_5(5)^3 + b_5(5)^2 + c_5(5) + d_5$	$S(x)_{18} = a_9(10)^3 + b_9(10)^2 + c_9(10) + d_9$

Realizado por: Paredes J, 2023

A continuación, se procede a resolver las ecuaciones igualando los valores del vector Y en cada conjunto de pares correspondiente, es decir, se iguala la ecuación $S(x)_1$ del primer conjunto de pares con primer valor de $Y = 3.6427$ ($S(x)_1 = 1a_1 + 1b_1 + 1c_1 + 1d_1 = 3.6427$), el segundo valor de $Y = 3.6427$ se iguala a la ecuación ($S(x)_2 = 8a_1 + 4b_1 + 2c_1 + 1d_1 = 3.6427$), el tercer valor de $Y = 3.6427$ se iguala a la ecuación del segundo conjunto de pares ($S(x)_3 = 8a_2 + 4b_2 + 2c_2 + 1d_2 = 3.6427$), así consecutivamente hasta llegar a la ecuación $S(x)_{18}$, dando como resultado las siguientes ecuaciones de la tabla 13-3:

Tabla 13-3. Ecuaciones remplazados los valores del vector Y.

$S(x)_1 = 1a_1 + 1b_1 + 1c_1 + 1d_1 = 3.6427$	$S(x)_{10} = 216a_5 + 36b_5 + 6c_5 + 1d_5 = 3.9141$
$S(x)_2 = 8a_1 + 4b_1 + 2c_1 + 1d_1 = 3.6427$	$S(x)_{11} = 216a_6 + 36b_6 + 6c_6 + 1d_6 = 3.9141$
$S(x)_3 = 8a_2 + 4b_2 + 2c_2 + 1d_2 = 3.6427$	$S(x)_{12} = 343a_6 + 49b_6 + 7c_6 + 1d_6 = 3.7465$
$S(x)_4 = 27a_2 + 9b_2 + 3c_2 + 1d_2 = 3.7691$	$S(x)_{13} = 343a_7 + 49b_7 + 7c_7 + 1d_7 = 3.7465$
$S(x)_5 = 27a_3 + 9b_3 + 3c_3 + 1d_3 = 3.7691$	$S(x)_{14} = 512a_7 + 64b_7 + 8c_7 + 1d_7 = 3.5665$
$S(x)_6 = 64a_3 + 16b_3 + 4c_3 + 1d_3 = 3.9219$	$S(x)_{15} = 512a_8 + 64b_8 + 8c_8 + 1d_8 = 3.5665$
$S(x)_7 = 64a_4 + 16b_4 + 4c_4 + 1d_4 = 3.9219$	$S(x)_{16} = 729a_8 + 81b_8 + 9c_8 + 1d_8 = 3.4536$
$S(x)_8 = 125a_4 + 25b_4 + 5c_4 + 1d_4 = 3.9857$	$S(x)_{17} = 729a_9 + 81b_9 + 9c_9 + 1d_9 = 3.4536$
$S(x)_9 = 125a_5 + 25b_5 + 5c_5 + 1d_5 = 3.9857$	$S(x)_{18} = 1000a_{10} + 100b_{10} + 10c_{10} + 1d_{10} = 3.4536$

Realizado por: Paredes J, 2023**Paso 4c.**

A continuación, se aplica las reglas del método Spline cúbico mencionadas en el capítulo dos las mismas que se desarrollarán por partes primero las interiores y segundo las exteriores.

Se procede aplicar la primera regla en todas las ecuaciones interiores es decir ecuación 2,3,4,5,6,7,8,9, con la ecuación de la primera derivada del polinomio cubico $S(x)_n' = 3ax^2 + 2bx + c$, donde en la derivada $S(x)_2'$ se reemplaza con el valor de $X = 2$ del conjunto de par 1 y 2 en la derivada $S(x)_3'$ se reemplaza con el valor $X = 3$ del conjunto de par 2 y 3, en la derivada $S(x)_4'$ se reemplaza con el valor de $X = 4$ del conjunto de pares 3 y 4, así consecutivamente hasta llegar a la ecuación de la derivada $S(x)_9'$ donde se reemplaza el valor de $X = 9$ del conjunto de pares 8 y 9, dando como resultado 8 ecuaciones interiores que se muestran en la siguiente tabla 14- 3:

Tabla 14-3: Primera regla del método Spline cubico.

$S(x)_2' \rightarrow 3a_1(2)^2 + 2b_1(2) + c_1 = 3a_2(2)^2 + 2b_2(2) + c_2$
$S(x)_3' \rightarrow 3a_2(3)^2 + 2b_2(3) + c_2 = 3a_3(3)^2 + 2b_3(3) + c_3$
$S(x)_4' \rightarrow 3a_3(4)^2 + 2b_3(4) + c_3 = 3a_4(4)^2 + 2b_4(4) + c_4$
$S(x)_5' \rightarrow 3a_4(5)^2 + 2b_4(5) + c_4 = 3a_5(5)^2 + 2b_5(5) + c_5$
$S(x)_6' \rightarrow 3a_5(6)^2 + 2b_5(6) + c_5 = 3a_6(6)^2 + 2b_6(6) + c_6$
$S(x)_7' \rightarrow 3a_6(7)^2 + 2b_6(7) + c_6 = 3a_7(7)^2 + 2b_7(7) + c_7$
$S(x)_8' \rightarrow 3a_7(8)^2 + 2b_7(8) + c_7 = 3a_8(8)^2 + 2b_8(8) + c_8$
$S(x)_9' \rightarrow 3a_8(9)^2 + 2b_8(9) + c_8 = 3a_9(9)^2 + 2b_9(9) + c_9$

Realizado por: Paredes J, 2023

A continuación, se procede a resolver las ecuaciones de la tabla 14-3 quedando 8 ecuaciones como se muestra en las ecuaciones de la tabla 15-3 .

Tabla 15- 3: Resultantes de la primera regla del método Spline Cubico.

$S(x)_2' = 12a_1 + 4b_1 + c_1 - 12a_2 - 4b_2 - c_2 = 0$
$S(x)_3' = 27a_2 + 6b_2 + c_2 - 27a_3 - 6b_3 - c_3 = 0$
$S(x)_4' = 48a_3 + 8b_3 + c_3 - 48a_4 - 8b_4 - c_4 = 0$
$S(x)_5' = 375a_4 + 10b_4 + c_4 - 75a_5 - 10b_5 - c_5 = 0$
$S(x)_6' = 108a_5 + 12b_5 + c_5 - 108a_6 - 12b_6 - c_6 = 0$
$S(x)_7' = 147a_6 + 14b_6 + c_6 - 147a_7 - 14b_7 - c_7 = 0$
$S(x)_8' = 192a_7 + 16b_7 + c_7 - 192a_8 - 16b_8 - c_8 = 0$
$S(x)_9' = 243a_8 + 18b_8 + c_8 - 243a_9 - 18b_9 - c_9 = 0$

Realizado por: Paredes J, 2023

A continuación, se aplica la segunda regla descrita en el segundo capítulo reemplazando los valores del vector X en las ecuaciones interiores 2,3,4,5,6,7,8 de la segunda derivada $S(x)''_n = 6ax +$

$2b$, donde la ecuación $S(x)''_2$ se reemplaza el valor de $X = 2$ del conjunto de par 1 y 2 $S(x)''_2 \rightarrow 6a_1(2) + 2b_1 = 6a_2(2) + 2b_2$, en la ecuación $S(x)''_3$ se reemplaza por el valor de $X = 3$ del conjunto de par 2 y 3 $S(x)''_3 \rightarrow 6a_2(3) + 2b_2 = 6a_3(3) + 2b_3$, en la ecuación $S(x)''_4$ se reemplaza el valor de $X = 4$ del conjunto de pares 3 y 4 $S(x)''_4 \rightarrow 6a_3(4) + 2b_3 = 6a_4(4) + 2b_4$, así consecutivamente hasta la ecuación $S(x)''_9$ donde se reemplaza el valor de $X = 9$ del conjunto de pares 8 y 9, quedando en total 8 ecuaciones mostradas en la tabla 16-3 .

Tabla 16-3: Ecuaciones de la segunda derivada del método Spline cubico.

$S(x)''_2 \rightarrow 6a_1(2) + 2b_1 = 6a_2(2) + 2b_2$
$S(x)''_3 \rightarrow 6a_2(3) + 2b_2 = 6a_3(3) + 2b_3$
$S(x)''_4 \rightarrow 6a_3(4) + 2b_3 = 6a_4(4) + 2b_4$
$S(x)''_5 \rightarrow 6a_4(5) + 2b_4 = 6a_5(5) + 2b_5$
$S(x)''_6 \rightarrow 6a_5(6) + 2b_5 = 6a_6(6) + 2b_6$
$S(x)''_7 \rightarrow 6a_6(7) + 2b_6 = 6a_7(7) + 2b_7$
$S(x)''_8 \rightarrow 6a_7(8) + 2b_7 = 6a_8(8) + 2b_8$
$S(x)''_9 \rightarrow 6a_8(9) + 2b_8 = 6a_9(9) + 2b_9$

Realizado por: Paredes J, 2023

A continuación, se procede a resolver las ecuaciones de la tabla 12-3, dando como resultado las 8 ecuaciones de la tabla 16-3.

Tabla 17-3: Ecuaciones resultantes de la segunda derivada del método Spline cubico.

$S(x)''_2 \rightarrow 12a_1 + 2b_1 - 12a_2 - 2b_2 = 0$
$S(x)''_3 \rightarrow 18a_2 + 2b_2 - 18a_3 - 2b_3 = 0$
$S(x)''_4 \rightarrow 24a_3 + 2b_3 - 24a_4 - 2b_4 = 0$
$S(x)''_5 \rightarrow 30a_4 + 2b_4 - 30a_5 - 2b_5 = 0$
$S(x)''_6 \rightarrow 36a_5 + 2b_5 - 36a_6 - 2b_6 = 0$
$S(x)''_7 \rightarrow 42a_6 + 2b_6 - 42a_7 - 2b_7 = 0$
$S(x)''_8 \rightarrow 48a_7 + 2b_7 - 48a_8 - 2b_8 = 0$
$S(x)''_9 \rightarrow 54a_8 + 2b_8 - 54a_9 - 2b_9 = 0$

Realizado por: Paredes J, 2023

Se continúa, aplicando la tercera regla descrita en el segundo capítulo reemplazando los valores del vector X en la segunda derivada $S(x)''_n = 6ax + 2b$ a las ecuaciones de los puntos exteriores 1, 10, donde, $s(x)''_1$ se reemplaza con el valor del vector $X = 1$ en la ecuación del conjunto de par 1 $s(x)''_1 \rightarrow 6a_1(1) + 2b_1 = 0$ y la ecuación $s(x)''_{10}$ se reemplaza con el valor de $X = 10$ en la ecuación del conjunto de par 9 $s(x)''_{10} \rightarrow 6a_9(10) + 2b_9 = 0$ quedando como resultado la tabla 18 – 3.

Tabla 18 – 3: Segunda derivada de los puntos exteriores método Spline cubico.

$s(x)''_1 \rightarrow 6a_1(1) + 2b_1 = 0$
$s(x)''_{10} \rightarrow 6a_9(10) + 2b_9 = 0$

Realizado por: Paredes J, 2023

A continuación, se resuelve las ecuaciones de la tabla 14-3 dando como resultado dos ecuaciones que se muestran en la tabla 19-3.

Tabla 19-3: Ecuaciones resultantes de la segunda derivada de los puntos exteriores método Spline cubico.

$6a_1 + 2b_1 = 0$
$60a_9 + 2b_9 = 0$

Realizado por: Paredes J, 2023

Paso 5c.

A continuación, se procede a crear un sistema de ecuaciones con todas las resultantes que se encuentran en la tabla 13-3,14-3,17-3 y 19-3, las mismas que para resolver se utilizó un programa de Matlab que se encuentra en el anexo A, llegando a despejar las siguientes incógnitas.

Tabla 20-3: Incógnitas de los polinomios del método Spline cubico.

a1= 0.0286	a4= -0.0082	a7= 0.0148
b1= -0.0805	b4= 0.0542	b7= -0.3159
c1= 0.0414	c4= 0.1064	c7= 2.0644
d1= 3.6533	d4= 3.1860	d7= -0.2876
a2= -0.0272	a5= 0.0082	a8= 0.0053
b2= 0.2542	b5= -0.1997	b8= -0.0895
c2= -0.6280	c5= 1.3755	c8= 0.253334
d2= 4.0995	d5= 1.0708	d8= 4.5416
a3= -0.0199	a6= 0.0152	a9= 0.0097
b3= 0.1885	b6= -0.3942	b9= -0.2096

c3= -0.4310	c6= 2.1227	c9= 1.3287
d3= 3.9025	d6= -04236	d9= 1.3158

Realizado por: Paredes J, 2023

Paso 6c.

A continuación, se rempazan las ecuaciones de la tabla 11-3 con el resultado de las incógnitas de la tabla 20-3, es decir, la incógnitas a1=0.0286, b1=-0.0805, c1=0.0414, d1=3.6533, se rempazan en la ecuación $S(x)_1 = a1x^3 + b1x^2 + c1x + d1$ quedando $S(x)_1 = 0.0286x^3 - 0.0805x^2 + 0.0414x + 3.6583$, así consecutivamente con todas las incógnitas de las ecuaciones de la tabla 11-3, las mismas que conformaran los polinomios cúbicos del método Spline cubico quedando las siguientes ecuaciones de la tabla 17-3 los cuales se van a ir uniendo y creando la señal continua:

Tabla 21-3: Polinomio cubico resultante del método Spline cubico.

$S(x)_1 = 0.0286x^3 - 0.0805x^2 + 0.0414x + 3.6583$
$S(x)_2 = -0.0272x^3 + 0.2542x^2 - 0.6280x + 4.0995$
$S(x)_3 = -0.0199x^3 + 0.1885x^2 - 0.4310x + 3.9025$
$S(x)_4 = -0.0087x^3 + 0.0542x^2 + 0.1064x + 3.1860$
$S(x)_5 = 0.0082x^3 - 0.1997x^2 + 1.3755x + 1.0703$
$S(x)_6 = 0.0152x^3 - 0.3242x^2 + 2.1227x - 0.4236$
$S(x)_7 = 0.0148x^3 - 0.3159x^2 + 2.0644x - 0.2876$
$S(x)_8 = 0.0053x^3 - 0.0895x^2 + 0.2534x + 4.5416$
$S(x)_9 = 0.0097x^3 - 0.2096x^2 + 1.3287x + 1.3158$

Realizado por: Paredes J, 2023

Paso 7c.

Finalizando, se procede a rempazar los valores de X =1, X= 1.506, X= 6 para comparar con los valores obtenidos en el software como se observa en la tabla 22-3 y en ilustración 37-3 donde se comprueba que los valores son iguales observando el correcto funcionamiento del algoritmo desarrollado en Matlab.

Tabla 22-3: Valores en X =1 , X= 1.506, X=6 del método Spline cubico.

X = 1
$S(x)_1 = 0.0286(1)^3 - 0.0805(1)^2 + 0.0414(1) + 3.6583$
$S(x)_1 = 3.6478$
X = 1.506

$S(x)_1 = 0.0286(1.506)^3 - 0.0805(1.506)^2 + 0.0414(1.506) + 3.6583$
$S(x)_1 = 3.6258$
$X = 6$
$S(x)_6 = 0.0152(6)^3 - 0.3242(6)^2 + 2.1227(6) - 0.4236$
$S(x)_6 = 3.9201$

Realizado por: Paredes J, 2023

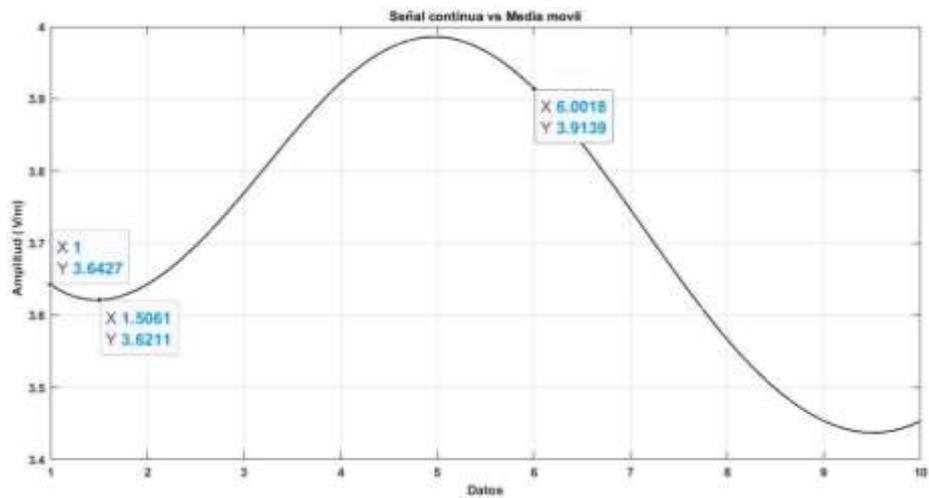


Ilustración 37-3: Valores de la señal continua.

Realizado por: Paredes J, 2023.

En la ilustración 38-3 se observa la señal continua de color negro vs la señal de puntos discretos de la iteración 20 que se encuentra de color rojo donde en la misma se aprecia que no pierde su forma sin embargo varían en datos minúsculos es decir en decimas o milésimas en los picos debido a que esta no une puntos si no está conformada de funciones cúbicas.

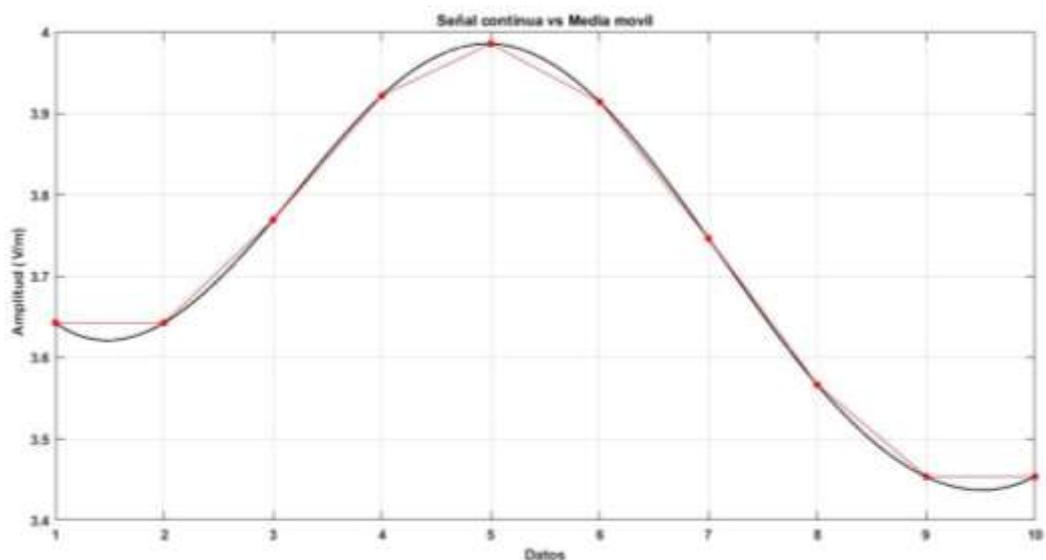


Ilustración 38-3: Señal continua vs Señal discreta.

Realizado por: Paredes J, 2023.

CAPÍTULO IV.

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En el capítulo cuatro se muestra el análisis con los 240 puntos discretos de la intensidad de campo eléctrico de las mediciones obtenidas en una semana del 15 al 21 de agosto del 2016 en el interior de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH en la banda de frecuencias GSM 1900, los mismo que serán analizados con el método de la media móvil previo $n = 2$ y la transformación a señal continua con el método Spline cubico realizado con el software Matlab explicados en el capítulo 3.

4.1. Extracción de los datos de intensidad de campo eléctrico discreto (E_d).

En este apartado se extrae la información correspondiente a las mediciones de intensidad de campo eléctrico E_d que se realizaron dentro de la ESPOCH durante una semana en la banda de frecuencias de GSM 1900, correspondiente a la semana del 15 al 21 de agosto del 2016.

En la ilustración 39-4 se muestran las mediciones de un total de 240 mediciones temporales de la intensidad de campo eléctrico E_d , en la ilustración 39-4a, se muestra las primeras 4 mediciones del minuto 0 al minuto 24 del lunes mientras que en la ilustración 39-4b se muestran las 4 primeras mediciones del domingo del minuto 0 al minuto 24, siendo un total de 240 mediciones de la intensidad de campo eléctrico discreto representando las 24 horas del día en un semana del 15 al 21 de agosto del 2016 en el interior de la ESPOCH en la banda de frecuencia GSM 1900.

Se procede a realizar una tabla con los promedios de los puntos discretos de la banda GSM 1900 de las bandas del 1961.1 al 1963.9 del lunes al domingo correspondiente a las 24 horas por cada 6 minutos, es decir, la suma de todos los valores de intensidad del lunes 0.0010014, 0.0011324, 0.0010166, 0.005282 a la hora 00h00-00h06 los cuales se suman y se promedian para 4 así mismo para el martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo a la misma hora y el mismo minuto por las 24 horas del día por los 7 días de la semana.

La ilustración 39-4c muestra los promedios de los puntos de la intensidad de campo eléctrico discreto medidos desde las 00:00 hasta las 24:00 de la semana desde el lunes al domingo y un promedio general donde se realiza la suma de cada valor correspondiente a la semana es decir del lunes al domingo a las 00:00 – 00:06, del lunes al domingo a las 00:06 – 00:12, del lunes al domingo a las 00:12 – 00:18, así consecutivamente hasta el lunes al domingo de las 23:54 – 24:00, dando un total de 240 datos discretos de las 24 horas del día de los 7 días de la semana.

MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO DURANTE 7 DIAS EN LA ESPHOCH									
Longitud: 79 40'27.8" V Latitud: 1 39' 26.3" S						Fecha: 16 de agosto de 2016			
Altura de la antena sobre el piso: 1.5 m						Altura sobre el nivel del mar: 2018 m			
Distancia antena transmisor al SRM-3000: 370 m						Ubicación: PE-Em. Finanzas y Comercio			
Item	HORA	Código SRM-3000	Frecuencias GSM-1900 (MHz)	Promedio E (V/m)	T (°C)	Estado del tiempo	Humedad [%]	Presión [hPa]	Sum Prom E (V/m)
1	00h00 - 00h06	3126.1	1961.1 - 1961.3	0,0010014	13,6	Despejado	0,7	730	0,0084324
			1962.5 - 1962.7	0,0011324					
			1962.9 - 1963.1	0,0010186					
			1963.7 - 1963.9	0,005282					
			76 - 2686	0,55817					
2	00h06 - 00h12	3127.1	1961.1 - 1961.3	0,0009958	12,7	Despejado	0,8	729,9	0,0145918
			1962.5 - 1962.7	0,0010988					
			1962.9 - 1963.1	0,011476					
			1963.7 - 1963.9	0,0010232					
			76 - 2686	0,63579					
3	00h12 - 00h18	3128.1	1961.1 - 1961.3	0,0010799	13,1	Despejado	0,4	729,9	0,0045623
			1962.5 - 1962.7	0,0013045					
			1962.9 - 1963.1	0,0010849					
			1963.7 - 1963.9	0,0011922					
			76 - 2686	0,6111					
4	00h18 - 00h24	3129.1	1961.1 - 1961.3	0,0011402	12,4	Despejado	0,1	729,8	0,0042245
			1962.5 - 1962.7	0,0013044					
			1962.9 - 1963.1	0,0009806					
			76 - 2686	0,6111					
			1961.1 - 1961.3	0,0011402					

a)

MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO DURANTE 7 DIAS EN LA ESPHOCH									
Longitud: 79 40'27.8" V Latitud: 1 39' 26.3" S						Fecha: 21 de Agosto de 2016			
Altura de la antena sobre el piso: 1.5 m						Altura sobre el nivel del mar: 2018 m			
Distancia antena transmisor al SRM-3000: 370 m						Ubicación: PE-Em. Finanzas y Comercio Estrella			
Item	HORA	Código SRM-3000	Frecuencias GSM-1900 (MHz)	Promedio E (V/m)	T (°C)	Estado del tiempo	Humedad [%]	Presión [hPa]	Sum Prom E (V/m)
1	00h00 - 00h06	4578.1	1961.1 - 1961.3	0,0010449	10,5	Despejado	-0,9	730,9	0,0048114
			1962.5 - 1962.7	0,0013205					
			1962.9 - 1963.1	0,001021					
			1963.7 - 1963.9	0,0011435					
			76 - 2686	0,79885996					
2	00h06 - 00h12	4679.1	1961.1 - 1961.3	0,0010563	9,9	Despejado	-1,2	731	0,0043240
			1962.5 - 1962.7	0,0011286					
			1962.9 - 1963.1	0,0012046					
			1963.7 - 1963.9	0,0011855					
			76 - 2686	0,79874699					
3	00h12 - 00h18	4580.1	1961.1 - 1961.3	0,0010349	9,5	Despejado	-1,4	731	0,0198234
			1962.5 - 1962.7	0,0014768					
			1962.9 - 1963.1	0,0015197					
			1963.7 - 1963.9	0,024600					
			76 - 2686	0,75000997					
4	00h18 - 00h24	4581.1	1961.1 - 1961.3	0,001101	9,5	Despejado	-1,4	731	0,0043811
			1962.5 - 1962.7	0,0011524					
			1962.9 - 1963.1	0,0010482					
			1963.7 - 1963.9	0,0010806					
			76 - 2686	0,75879001					
1961.1 - 1961.3	0,0010624								

b)

Item	Frecuencias GSM-1900 (MHz)	PromDia (V/m)							PromSem (V/m)
		Lunes	Martes	Mierco	Jueves	Viernes	Sabado	Doming	
1	1961.1 - 1961.3	0,008432	0,026007	0,044097	0,054811	0,018335	0,004108	0,004613	0,160463641
	1962.5 - 1962.7								
	1962.9 - 1963.1								
	1963.7 - 1963.9								
2	1961.1 - 1961.3	0,014592	0,005111	0,037353	0,011048	0,0096	0,027159	0,004634	0,103436869
	1962.5 - 1962.7								
	1962.9 - 1963.1								
	1963.7 - 1963.9								
3	1961.1 - 1961.3	0,004561	0,0047700	0,0219635	0,032184	0,009184	0,016806	0,018635	0,108110302
	1962.5 - 1962.7								
	1962.9 - 1963.1								
	1963.7 - 1963.9								
4	1961.1 - 1961.3	0,004225	0,0067390	0,0278678	0,007558	0,026504	0,004595	0,004383	0,081871661
	1962.5 - 1962.7								
	1962.9 - 1963.1								
	1963.7 - 1963.9								
5	1961.1 - 1961.3	0,00473	0,0040369	0,0383455	0,008089	0,004432	0,008143	0,005059	0,07343477
	1962.5 - 1962.7								
	1962.9 - 1963.1								
	1963.7 - 1963.9								
6	1961.1 - 1961.3	0,010292	0,0043301	0,0553949	0,010835	0,004869	0,005213	0,004434	0,095368401
	1962.5 - 1962.7								
	1962.9 - 1963.1								
	1963.7 - 1963.9								

c)

Ilustración 39-4: Mediciones de la intensidad del campo eléctrico discreto a) Del lunes b) Del domingo c) Promedio general de los 7 días de la semana.

Realizado por: Paredes J, 2023.

4.2. Conformación de los vectores medios de la intensidad de campo eléctrico discreto de una semana.

Con la información extraída de la base de datos y debidamente organizada como lo muestra la ilustración 39-4c se conformó el vector de los valores medios diario de la intensidad de campo eléctrico discreto E_d en cada instante de tiempo, tal y como se indicó en el capítulo anterior en el ejemplo de los 10 puntos y, por lo tanto, el vector para los datos de la ilustración 39-4c está expresada por la ecuación 24-4.

$$\begin{aligned} \text{Vector} &= E_{di} \\ E_{di} &= \{[E_{di}]_1 [E_{di}]_2 \dots [E_{di}]_n\} \\ i &= 1, 2, \dots n \\ E_{di} &= \{[E_{di}]_1 [E_d]_2 \dots [E_{di}]_{240}\} \\ E_d &= [22.9234]_1 [15.6424]_2 [11.6960]_3 [10.4907]_4 \dots [21.1016]_{240} \end{aligned} \quad (24-4)$$

Ecuación 24-4: Vector de la intensidad de campo eléctrico discreto (E_d) de los 240 datos.

4.3. Extracción de la base de datos de la señal discreta de la intensidad de campo eléctrico discreto en la banda GSM-1900 con la media móvil previo $n = 2$.

Para realizar la media móvil previo $n=2$, se siguió el mismo procedimiento del capítulo 3, pero con los 240 datos del promedio de la semana para eso se importa los datos de la base datos con el comando “XLSREAD”, como se muestra en la ilustración 40-4 en el recuadro rojo

```
clear all
clc
close all
datos=xlsread('datos.xlsx');
```

Ilustración 40-4: Importación de la base de datos a Matlab mediante el código xlsread.

Realizado por: Paredes J, 2023.

4.3.1. Grafica del vector de campo eléctrico discreto E_d .

Se procedió a graficar el vector de campo eléctrico discreto E_d correspondiente a la señal original que contiene los 240 puntos que se encuentra en la ecuación 24-4, como se muestra en la ilustración 41-4, donde el eje de las X representa el tiempo de medición que fue cada 6 minutos mientras que el eje de las abscisas Y muestra los valores de la intensidad del campo eléctrico discreto en milivoltios metros (mV/m).

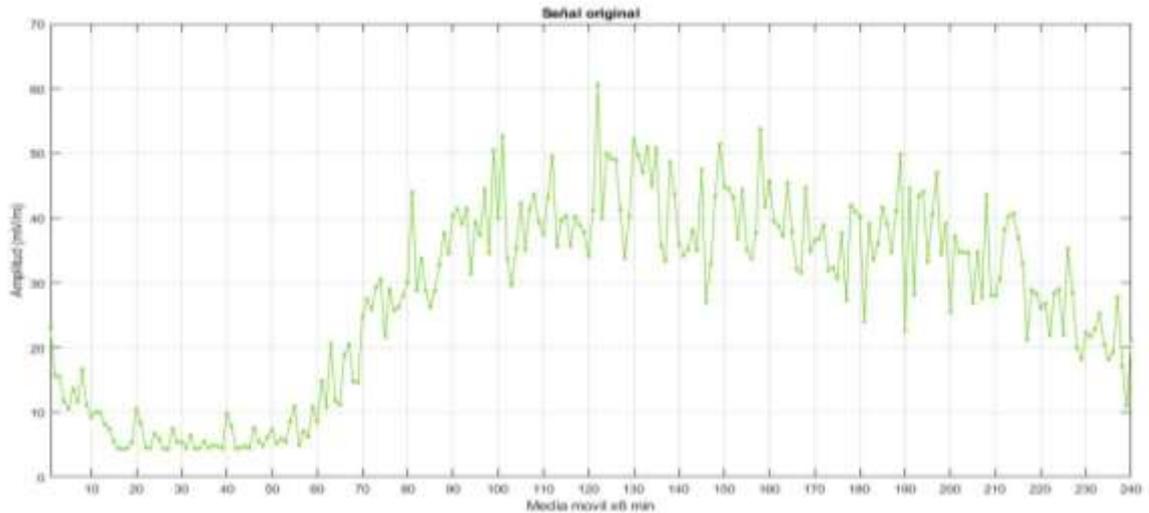


Ilustración 41-4: Señal original en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico en la banda GSM-1900

Realizado por: Paredes J, 2023.

4.3.2. Filtrado de la media móvil previo $n = 2$ de la señal de campo eléctrico discreto E_d .

Para filtrar la señal de campo eléctrico discreto E_d se realiza mediante 30 pases o iteraciones.

Pase 1d.

Para iniciar con el suavizado de la señal de campo eléctrico discreto E_d cuyos datos se encuentran en la ecuación 24-4, se utilizó la ecuación 18-2 de la media móvil previa. Donde para obtener el valor de $y[1]$ se coje el dato 1 y 2 del vector E_d , para obtener el valor de $y[2]$ se coje el dato 2 y 3 del vector E_d , para obtener el valor de $y[3]$ se coje el dado 3 y 4 del vector E_d , así consecutivamente hasta llegar al valor de $y[239]$ que corresponde a dato 239 y 240, cuyos datos se encuentran representados en la tabla (19-4)

Tabla 23-4: Valores del primer pase de la media móvil del vector E_d .

$y[1] = \frac{x[1] + x[2]}{2} = \frac{22.9234 + 15.6424}{2} = 19.2829$
$y[2] = \frac{x[2] + x[3]}{2} = \frac{15.6424 + 15.4443}{2} = 15.5434$
$y[3] = \frac{x[3] + x[4]}{2} = \frac{15.4443 + 10.4907}{2} = 13.5701$
...
$y[239] = \frac{x[239] + x[240]}{2} = \frac{10.9623 + 21.1016}{2} = 16.0319$

Realizado por: Paredes J, 2023

Los datos de la tabla 19-4 se encuentran graficados en la ilustración 42-4, representados de color azul.

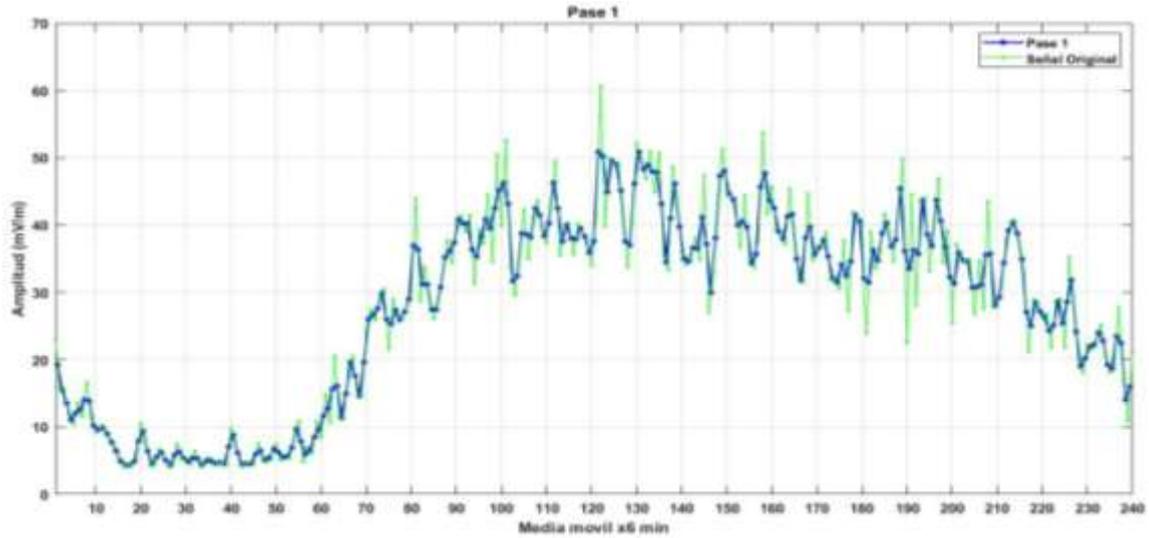


Ilustración 42-4:Primera iteración de la media móvil previo $n=2$ en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico en la banda GSM-1900.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Pase 2d.

Continuando con el filtrado de la señal, se aplicó la media móvil previo a la señal del pase 1d, es decir, que los valores resultantes conforman los nuevos valores del vector E_d , donde para obtener el valor de $y[2]$ se coje el dato 2 y 3 del vector E_d , para obtener el valor de $y[3]$ se coje el dato 3 y 4 del vector E_d , para obtener el valor de $y[3]$ se coje el dado 4 y 3 del vector E_d , así consecutivamente hasta llegar al valor de $y[239]$ que corresponde al dato 238 y 239, cuyos datos se encuentran representados en la tabla (20-4)

Tabla 24-4: Valores del pase 2 de la media móvil del vector de campo eléctrico E_d .

$y[2] = \frac{19.2829 + 15.5434}{2} = 17.4131$
$y[3] = \frac{15.5434 + 13.5701}{2} = 14.5568$
$y[4] = \frac{13.5701 + 11.0933}{2} = 12.3317$
...
$y[239] = \frac{14.0609 + 16.0320}{2} = 15.0464$

Realizado por: Paredes J,2023.

Como se explicó en el capítulo 3 se debe recuperar los puntos que se perdieron temporalmente en los pases pares, donde $y[2]$ se procede a moverse hacia la izquierda del punto $y[1]$ hasta

interceptar con el eje de las Y dando como resultado el mismo valor que el punto $y[1]$, mientras que para el punto $y[239]$ se desplaza hacia la derecha hasta cruzar con el eje de las Y.

Los datos de la tabla 20-4 se encuentran graficados en la ilustración 43-4, representados de color rojo.

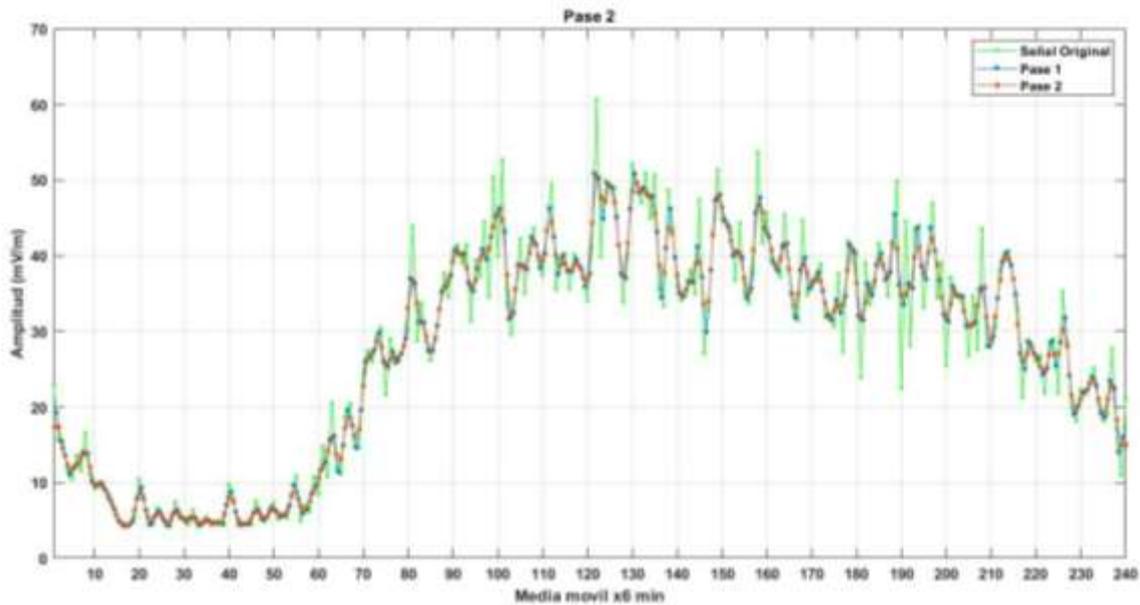


Ilustración 43-4: Segunda iteración de la media móvil previo $n=2$ en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico en la banda GSM-1900.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Pase 3d.

Continuando con el pase 3d, se aplicó la media móvil previo a la señal del pase 2d, donde para obtener el valor de $y[1]$ se coje el dato 1 y 2 del vector E_d , para obtener el valor de $y[2]$ se coje el dato 2 y 3 del vector E_d , para obtener el valor de $y[3]$ se coje el dato 3 y 4 del vector E_d , así consecutivamente hasta llegar al valor de $y[239]$ que corresponde al dato 239 y 240, cuyos datos se encuentran representados en la tabla (21-4)

Tabla 25-4: Valores del pase 3 de la media móvil del vector de campo eléctrico E_d .

$y[1] = \frac{17.4131 + 17.4131}{2} = 17.4131$
$y[2] = \frac{17.4131 + 14.5568}{2} = 15.9849$
$y[3] = \frac{14.5568 + 12.3317}{2} = 13.4442$
...
$y[239] = \frac{15.0464 + 15.0464}{2} = 15.0464$

Realizado por: Paredes J, 2023.

Los datos de la tabla 21-4 se encuentran graficados en la ilustración 44-4, representados de color gris.

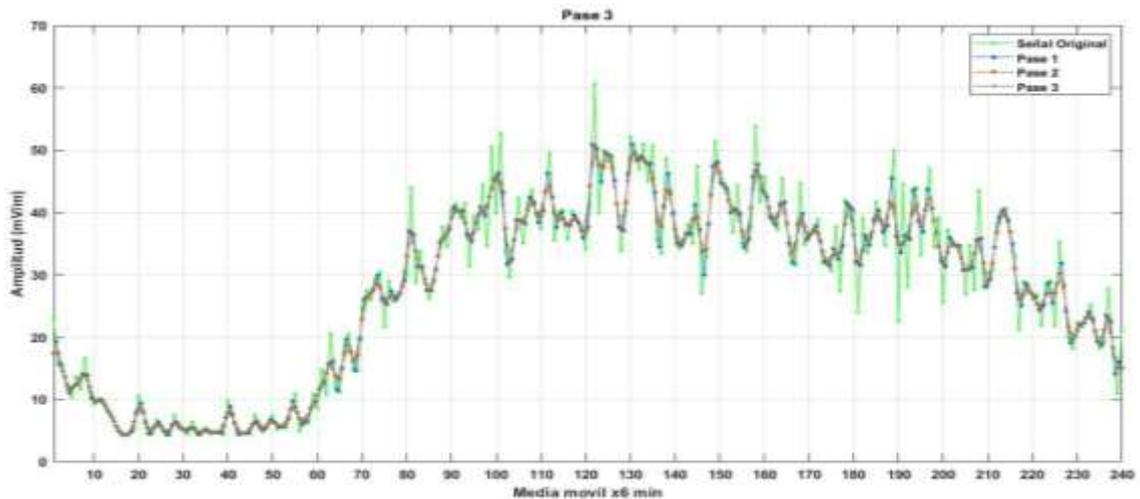


Ilustración 44-4: Tercera iteración de la media móvil previo $n=2$ en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico E_d en la banda GSM-1900.

Realizado por: Paredes J,2023

Se continua con el procedimiento hasta llegar al paso 30.

Pase 30.

Para el suavizado completo de la señal se debe seguir los pases antes mencionados teniendo en cuenta que, en los pases pares se debe realizar la recuperación de los puntos $y[1]$, $y[240]$, una vez realizado los 30 pases se tiene la señal de la media móvil totalmente suavizada dando como resultado la señal de color negro de la ilustración 45-4.

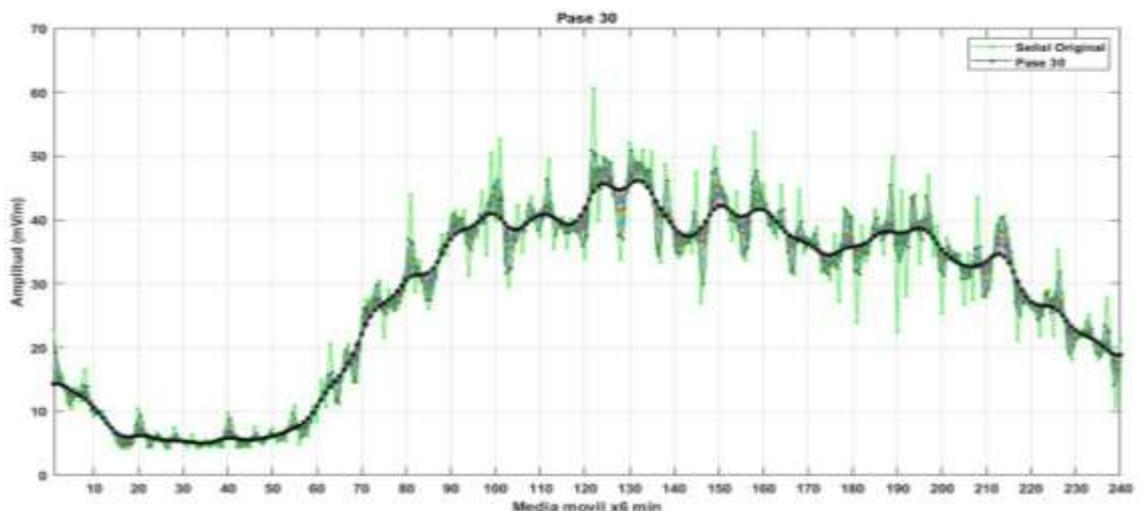


Ilustración 45-4: Treintava iteración de la media móvil previo $n=2$ en función discreta de los 240 puntos de intensidad de campo eléctrico en la banda GSM-1900.

Realizado por: Paredes J, 2023.

4.4. Suavizado de la señal de campo eléctrico discreto E_d resultante del pase 30.

Finalizando el suavizado de la señal de campo eléctrico discreto E_d con el pase 30, la señal resultante se muestra la ilustración 46-4, donde la señal suavizada no pierde la forma de la señal original siendo el eje de las X el tiempo en horas y el eje de las Y el valor de la intensidad de campo eléctrico discreto E_d en milivoltios por metro (mV/m).

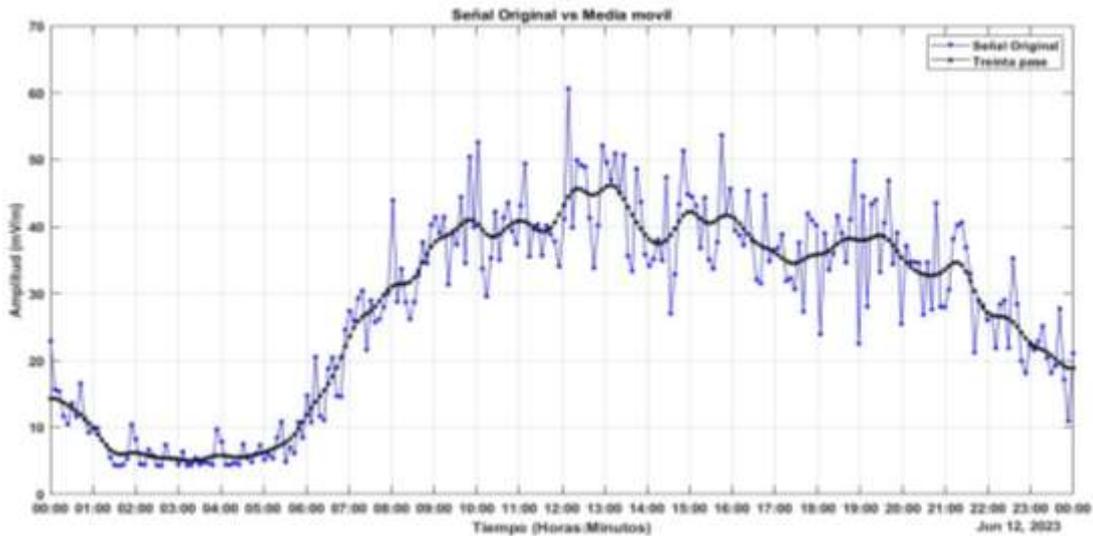


Ilustración 46-4: Señal discreta de intensidad de campo eléctrico discreto, suavizada aplicando la media móvil previo con $n=2$.

Realizado por: Paredes J, 2023.

4.5. Transformación de la señal de intensidad de campo eléctrico discreto E_d a la señal de intensidad de campo eléctrico continuo E_c mediante la aplicación del método Spline cúbico.

Para la transformación de la señal de intensidad de campo eléctrico discreto E_d mostrada en la ilustración 46-4 a la señal de campo eléctrico continuo E_c mediante el método Spline Cúbico y se procede a seguir los pasos descritos en el capítulo 3.

4.5.1. Creación de los vectores X y Y .

Mediante la ilustración 46-4, se procede a crear dos vectores tanto número de la posición de los 240 datos de la aplicación de la media móvil (X) como se muestra en la ecuación 25-4 y todos los datos de la media móvil (Y) como se muestra en la ecuación 26-4.

$$X = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ \dots \ 240] \quad (25-4)$$

Ecuación 25-4: Vector x de n datos del método Spline cúbico.

$$Y = [14.3227 \ 14.3227 \ 14.1024 \ 13.7318 \ 13.3027 \ 12.8711 \ 12.4320 \ 11.9393 \ 11.3476 \ 10.6415 \ \dots \ 18.8873] \quad (26-4)$$

Ecuación 26-4: Vector Y con los valores resultantes del pase 30 de la media móvil

4.5.2. Creación del conjunto de pares del vector X.

Con los valores de los dos vectores se procede a crear el conjunto de pares del vector X, es decir el primer par se crea con la posición de X1 y X2, el segundo par se crea con la posición de X2 y X3 así consecutivamente hasta el par de la posición X239 y X240. Como resultado dando 239 conjuntos de pares como se muestra en la ilustración 47-4.

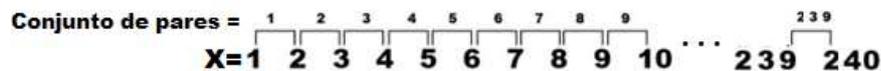


Ilustración 47-4: Conjunto de pares de los 240 datos.

Realizado por: Paredes J, 2023.

4.5.3. Ecuaciones del conjunto de pares pertenecientes al vector X.

Una vez creado el conjunto de pares, se crea una ecuación del polinomio denominado $s(x)_n$, como se muestra en la ecuación 19-2, debido a que el proceso es largo ya que se tendrían 239 ecuaciones se demostrara con 10 datos de los 240 datos discretos por lo que se presenta 9 ecuaciones que se encuentran en la tabla 26- 4:

Tabla 26-4: Ecuaciones $S(x)_n$ de los conjuntos de pares.

$S(x)_1 = a_1x^3 + b_1x^2 + c_1x + d_1$
$S(x)_2 = a_2x^3 + b_2x^2 + c_2x + d_2$
$S(x)_3 = a_3x^3 + b_3x^2 + c_3x + d_3$
$S(x)_4 = a_4x^3 + b_4x^2 + c_4x + d_4$
$S(x)_5 = a_5x^3 + b_5x^2 + c_5x + d_5$
$S(x)_6 = a_6x^3 + b_6x^2 + c_6x + d_6$
$S(x)_7 = a_7x^3 + b_7x^2 + c_7x + d_7$
$S(x)_8 = a_8x^3 + b_8x^2 + c_8x + d_8$
$S(x)_9 = a_9x^3 + b_9x^2 + c_9x + d_9$
...
$S(x)_{239} = a_{239}x^3 + b_{239}x^2 + c_{239}x + d_{239}$

Realizado por: Paredes J, 2023

Se procede a remplazar los valores de X en cada ecuación $s(x)_n$, como es un conjunto de 239 pares el valor de la posición 1 se remplaza en el conjunto de par 1

$(S(x)_1 = a_1(1)^3 + b_1(1)^2 + c_1(1) + d_1)$ y el valor de la posición 2 se reemplaza en el conjunto de par 1 ($S(x)_2 = a_1(2)^3 + b_1(2)^2 + c_1(2) + d_1$), así consecutivamente hasta llegar a las 478 ecuaciones como se observa en la tabla 27 – 4.

Tabla 27-4: Ecuaciones reemplazados por el vector X.

$S(x)_1 = a_1(1)^3 + b_1(1)^2 + c_1(1) + d_1$	$S(x)_{10} = a_5(6)^3 + b_5(6)^2 + c_5(6) + d_5$
$S(x)_2 = a_1(2)^3 + b_1(2)^2 + c_1(2) + d_1$	$S(x)_{11} = a_6(6)^3 + b_6(6)^2 + c_6(6) + d_6$
$S(x)_3 = a_2(2)^3 + b_2(2)^2 + c_2(2) + d_2$	$S(x)_{12} = a_6(7)^3 + b_6(7)^2 + c_6(7) + d_6$
$S(x)_4 = a_2(3)^3 + b_2(3)^2 + c_2(3) + d_2$	$S(x)_{13} = a_7(7)^3 + b_7(7)^2 + c_7(7) + d_7$
$S(x)_5 = a_3(3)^3 + b_3(3)^2 + c_3(3) + d_3$	$S(x)_{14} = a_7(8)^3 + b_7(8)^2 + c_7(8) + d_7$
$S(x)_6 = a_3(4)^3 + b_3(4)^2 + c_3(4) + d_3$	$S(x)_{15} = a_8(8)^3 + b_8(8)^2 + c_8(8) + d_8$
$S(x)_7 = a_4(4)^3 + b_4(4)^2 + c_4(4) + d_4$	$S(x)_{16} = a_8(9)^3 + b_8(9)^2 + c_8(9) + d_8$
$S(x)_8 = a_4(5)^3 + b_4(5)^2 + c_4(5) + d_4$	$S(x)_{17} = a_9(9)^3 + b_9(9)^2 + c_9(9) + d_9$
$S(x)_9 = a_5(5)^3 + b_5(5)^2 + c_5(5) + d_5$	$S(x)_{18} = a_9(10)^3 + b_9(10)^2 + c_9(10) + d_9$
...	
$S(x)_{478} = a_{239}(240)^3 + b_{239}(240)^2 + c_{239}(240) + d_{239}$	

Realizado por: Paredes J, 2023

Se iguala los valores del vector Y en cada conjunto de pares correspondiente, es decir, se iguala la ecuación $S(x)_1$ del primer conjunto de pares con primer valor de Y = 14.3227 ($S(x)_1 = 1a_1 + 1b_1 + 1c_1 + 1d_1 = 14.3227$), el segundo valor de Y = 14.3227 se iguala a la ecuación ($S(x)_2 = 8a_1 + 4b_1 + 2c_1 + 1d_1 = 14.3227$), el tercer valor de Y = 14.1024 se iguala a la ecuación del segundo conjunto de pares ($S(x)_3 = 8a_2 + 4b_2 + 2c_2 + 1d_2 = 14.1024$), así consecutivamente hasta llegar a la ecuación $S(x)_{478}$, dando como resultado las siguientes ecuaciones de la tabla 28-4:

Tabla 28-4: Ecuaciones reemplazados los valores del vector Y de los 240 datos.

$S(x)_1 \rightarrow 1a_1 + 1b_1 + 1c_1 + 1d_1 = 14.3227$	$S(x)_{10} \rightarrow 216a_5 + 36b_5 + 6c_5 + 1d_5 = 12.8711$
$S(x)_2 \rightarrow 8a_1 + 4b_1 + 2c_1 + 1d_1 = 14.3227$	$S(x)_{11} \rightarrow 216a_6 + 36b_6 + 6c_6 + 1d_6 = 12.8711$
$S(x)_3 \rightarrow 8a_2 + 4b_2 + 2c_2 + 1d_2 = 14.3227$	$S(x)_{12} \rightarrow 343a_6 + 49b_6 + 7c_6 + 1d_6 = 12.4320$
$S(x)_4 \rightarrow 27a_2 + 9b_2 + 3c_2 + 1d_2 = 14.1024$	$S(x)_{13} \rightarrow 343a_7 + 49b_7 + 7c_7 + 1d_7 = 12.4320$
$S(x)_5 \rightarrow 27a_3 + 9b_3 + 3c_3 + 1d_3 = 14.1024$	$S(x)_{14} \rightarrow 512a_7 + 64b_7 + 8c_7 + 1d_7 = 11.9393$
$S(x)_6 \rightarrow 64a_3 + 16b_3 + 4c_3 + 1d_3 = 13.7318$	$S(x)_{15} \rightarrow 512a_8 + 64b_8 + 8c_8 + 1d_8 = 11.9393$

$S(x)_7 \rightarrow 64a_4 + 16b_4 + 4c_4 + 1d_4 = 13.7318$	$S(x)_{16} \rightarrow 729a_8 + 81b_8 + 9c_8 + 1d_8 = 11.3476$
$S(x)_8 \rightarrow 125a_4 + 25b_4 + 5c_4 + 1d_4 = 13.3027$	$S(x)_{17} \rightarrow 729a_9 + 81b_9 + 9c_9 + 1d_9 = 11.3476$
$S(x)_9 \rightarrow 125a_5 + 25b_5 + 5c_5 + 1d_5 = 12.3027$	$S(x)_{18} \rightarrow 1000a_{10} + 100b_{10} + 10c_{10} + 1d_{10} = 10.6415$
...	
$S(x)_{478} \rightarrow 13824000a_{239} + 57600b_{239} + 240c_{239} + d_{239} = 18.8873$	

Realizado por: Paredes J, 2023

4.5.3.4. Reglas del método Spline cúbico para puntos interiores y exteriores.

Se aplica las reglas del método Spline cúbico mencionadas realizadas en el capítulo 3 desarrollando las ecuaciones interiores y posterior las ecuaciones exteriores, se aplica la primera regla en todas las ecuaciones de los puntos interiores del vector X es decir ecuación 2,3,4,5,6,7,8,9 ... 239 con la ecuación de la primera derivada del polinomio cubico $S(x)_n' = 3ax^2 + 2bx + c$, donde en la derivada $S(x)_2'$ se remplaza con el valor de X = 2 del conjunto de par 1 y 2 en la derivada $S(x)_3'$ se remplaza con el valor X = 3 del conjunto de par 2 y 3, así consecutivamente hasta llegar a la ecuación de la derivada $S(x)_{239}'$ donde se remplaza el valor de X = 239 del conjunto de pares 238 y 239, dando como resultado 239 ecuaciones interiores que se muestran en la siguiente tabla 29- 4:

Tabla 29-4: Primera regla del método Spline cubico.

$S(x)_2' \rightarrow 3a_1(2)^2 + 2b_1(2) + c_1 = 3a_2(2)^2 + 2b_2(2) + c_2$
$S(x)_3' \rightarrow 3a_2(3)^2 + 2b_2(3) + c_2 = 3a_3(3)^2 + 2b_3(3) + c_3$
$S(x)_4' \rightarrow 3a_3(4)^2 + 2b_3(4) + c_3 = 3a_4(4)^2 + 2b_4(4) + c_4$
$S(x)_5' \rightarrow 3a_4(5)^2 + 2b_4(5) + c_4 = 3a_5(5)^2 + 2b_5(5) + c_5$
$S(x)_6' \rightarrow 3a_5(6)^2 + 2b_5(6) + c_5 = 3a_6(6)^2 + 2b_6(6) + c_6$
$S(x)_7' \rightarrow 3a_6(7)^2 + 2b_6(7) + c_6 = 3a_7(7)^2 + 2b_7(7) + c_7$
$S(x)_8' \rightarrow 3a_7(8)^2 + 2b_7(8) + c_7 = 3a_8(8)^2 + 2b_8(8) + c_8$
$S(x)_9' \rightarrow 3a_8(9)^2 + 2b_8(9) + c_8 = 3a_9(9)^2 + 2b_9(9) + c_9$
...
$S(x)_{239}' \rightarrow 3a_{238}(239)^2 + 2b_{238}(239) + c_{238} = 3a_{239}(239)^2 + 2b_{239}(239) + c_{239}$

Realizado por: Paredes J, 2023

Se procede a resolver las ecuaciones de la tabla 29-4 quedando 239 ecuaciones como se muestra en las ecuaciones de la tabla 30-4.

Tabla 30-4: Resultantes de la primera regla del método Spline cubico.

$S(x)_2' = 12a_1 + 4b_1 + c_1 - 12a_2 - 4b_2 - c_2 = 0$

$S(x)'_3 = 27a_2 + 6b_2 + c_2 - 27a_3 - 6b_3 - c_3 = 0$
$S(x)'_4 = 48a_3 + 8b_3 + c_3 - 48a_4 - 8b_4 - c_4 = 0$
$S(x)'_5 = 375a_4 + 10b_4 + c_4 - 75a_5 - 10b_5 - c_5 = 0$
$S(x)'_6 = 108a_5 + 12b_5 + c_5 - 108a_6 - 12b_6 - c_6 = 0$
$S(x)'_7 = 147a_6 + 14b_6 + c_6 - 147a_7 - 14b_7 - c_7 = 0$
$S(x)'_8 = 192a_7 + 16b_7 + c_7 - 192a_8 - 16b_8 - c_8 = 0$
$S(x)'_9 = 243a_8 + 18b_8 + c_8 - 243a_9 - 18b_9 - c_9 = 0$
...
$S(x)'_{239} = 171363a_{238} + 478b_{238} + c_{238} - 17363a_{240} - 478b_{240} - c_{240} = 0$

Realizado por: Paredes J, 2023

Consiguiente se aplica la segunda regla descrita en el capítulo 3 reemplazando los valores del vector X en las ecuaciones interiores 2,3,4,5,6,7,8...239 de la segunda derivada $S(x)''_n = 6ax + 2b$, donde la ecuación $S(x)''_2$ se reemplaza el valor de X = 2 del conjunto de par 1 y 2 $S(x)''_2 \rightarrow 6a_1(2) + 2b_1 = 6a_2(2) + 2b_2$, en la ecuación $S(x)''_3$ se reemplaza por el valor de X = 3 del conjunto de par 2 y 3 $S(x)''_3 \rightarrow 6a_2(3) + 2b_2 = 6a_3(3) + 2b_3$, así consecutivamente hasta la ecuación $S(x)''_{239}$ donde se reemplaza el valor de X = 239 del conjunto de pares 238 y 239, quedando en total 239 ecuaciones mostradas en la tabla 31-4 .

Tabla 31-4: Ecuaciones de la segunda derivada del método Spline cubico.

$S(x)''_2 \rightarrow 6a_1(2) + 2b_1 = 6a_2(2) + 2b_2$
$S(x)''_3 \rightarrow 6a_2(3) + 2b_2 = 6a_3(3) + 2b_3$
$S(x)''_4 \rightarrow 6a_3(4) + 2b_3 = 6a_4(4) + 2b_4$
$S(x)''_5 \rightarrow 6a_4(5) + 2b_4 = 6a_5(5) + 2b_5$
$S(x)''_6 \rightarrow 6a_5(6) + 2b_5 = 6a_6(6) + 2b_6$
$S(x)''_7 \rightarrow 6a_6(7) + 2b_6 = 6a_7(7) + 2b_7$
$S(x)''_8 \rightarrow 6a_7(8) + 2b_7 = 6a_8(8) + 2b_8$
$S(x)''_9 \rightarrow 6a_8(9) + 2b_8 = 6a_9(9) + 2b_9$
...
$S(x)''_{239} \rightarrow 6a_{238}(239) + 2b_{238} = 6a_{239}(239) + 2b_{239}$

Realizado por: Paredes J, 2023

A continuación, se procede a resolver las ecuaciones de la tabla 30-4, dando como resultado las 239 ecuaciones de la tabla 32-4.

Tabla 32-4: Ecuaciones resultantes de la segunda derivada.

$S(x)''_2 \rightarrow 12a_1 + 2b_1 - 12a_2 - 2b_2 = 0$
--

$S(x)''_3 \rightarrow 18a_2 + 2b_2 - 18a_3 - 2b_3 = 0$
$S(x)''_4 \rightarrow 24a_3 + 2b_3 - 24a_4 - 2b_4 = 0$
$S(x)''_5 \rightarrow 30a_4 + 2b_4 - 30a_5 - 2b_5 = 0$
$S(x)''_6 \rightarrow 36a_5 + 2b_5 - 36a_6 - 2b_6 = 0$
$S(x)''_7 \rightarrow 42a_6 + 2b_6 - 42a_7 - 2b_7 = 0$
$S(x)''_8 \rightarrow 48a_7 + 2b_7 - 48a_8 - 2b_8 = 0$
$S(x)''_9 \rightarrow 54a_8 + 2b_8 - 54a_9 - 2b_9 = 0$
...
$S(x)''_{239} \rightarrow 245a_{239} + 2b_{239} - 245a_{239} - 2b_{239} = 0$

Realizado por: Paredes J, 2023

Se aplica la tercera regla descrita en el capítulo anterior reemplazando los valores del vector X en la segunda derivada $S(x)''_n = 6ax + 2b$ a las ecuaciones de los puntos exteriores 1, 240, donde, $s(x)''_1$ se reemplaza con el valor del vector X = 1 en la ecuación del conjunto de par 1 $s(x)''_1 \rightarrow 6a_1(1) + 2b_1 = 0$ y la ecuación $s(x)''_{240}$ se reemplaza con el valor de X = 240 en la ecuación del conjunto de par 9 $s(x)''_{240} \rightarrow 6a_9(240) + 2b_9 = 0$ quedando como resultado la tabla 33 - 4.

Tabla 33-4: Segunda derivada de los puntos exteriores de los 240 puntos.

$s(x)''_1 \rightarrow 6a_1(1) + 2b_1 = 0$
$s(x)''_{240} \rightarrow 6a_9(240) + 2b_9 = 0$

Realizado por: Paredes J, 2023

A continuación, se resuelve las ecuaciones de la tabla 33-4 dando como resultado dos ecuaciones que se muestran en la tabla 34-4.

Tabla 34-4: Ecuaciones resultantes de la derivada de los puntos exteriores de los 240 datos.

$6a_1 + 2b_1 = 0$
$1440a_9 + 2b_9 = 0$

Realizado por: Paredes J, 2023

Se procede a crear un sistema de ecuaciones con todas las resultantes que se encuentran en la tabla 26-4,30-4,32-4 y 34-4, las mismas que para resolver se utilizó un programa de Matlab que se encuentra en el anexo B, llegando a despejar las siguientes incógnitas.

Tabla 35-4: Incógnitas del polinomio del método Spline cubico de los 240 datos.

a1 = -0.0493	a4 = 0.0110	a7 = -0.0079
b1 = 0.1480	b4 = -0.1604	b7 = 0.1381
c1 = -0.0987	c4 = 0.3415	c7 = -1.2321

d1 = 14.3227	d4 = 14.2264	d7 = 16.9935
a2 = 0.0264	a5 = -0.0017	a8 = -0.0048
b2 = -0.3067	b5 = 0.0311	b8 = 0.0630
c2 = 0.8108	c5 = -0.6160	c8 = -0.6313
d2 = 13.7164	d5 = 15.8221	d8 = 15.3914
c2 = 0.0136	a6 = -0.0091	a9 = 0.0115
d2 = -0.1909	b6 = 0.1642	b9 = -0.3756
a3 = 0.4635	c6 = -1.4145	c9 = 3.3157
b3 = 14.0636	d6 = 17.4192	d9 = 3.5506

Realizado por: Paredes J, 2023

Se remplazan las ecuaciones de la tabla 19-4 con el resultado de las incógnitas de la tabla 28-4, es decir, la incógnitas $a_1 = -0.0493$, $b_1 = 0.1480$, $c_1 = -0.0987$, $d_1 = 14.3227$, se remplazan en la ecuación $S(x)_1 = a_1x^3 + b_1x^2 + c_1x + d_1$ quedando $S(x)_1 = -0.0493x^3 + 0.1480x^2 - 0.0987x + 14.3227$, así consecutivamente con todas las incógnitas de las ecuaciones de la tabla 19-4, las mismas que conformaran los polinomios cúbicos del método Spline cubico quedando las siguientes ecuaciones de la tabla 36-4 los cuales se van a ir uniendo y creando la señal continua:

Tabla 36-4: Polinomio cubico resultante del método Spline cubico.

$S(x)_1 = -0.04934x^3 + 0.1480x^2 - 0.0987x + 14.3227$
$S(x)_2 = 0.0264x^3 - 0.3067x^2 + 0.8108x + 13.7164$
$S(x)_3 = 0.0136x^3 - 0.1909x^2 + 0.4635x + 14.0636$
$S(x)_4 = 0.0110x^3 - 0.1604x^2 + 0.3415x + 14.2264$
$S(x)_5 = -0.0017x^3 + 0.0311x^2 - 0.6160x + 15.8221$
$S(x)_6 = -0.0091x^3 + 0.1642x^2 - 1.4145x + 17.4192$
$S(x)_7 = -0.0079x^3 + 0.1381x^2 - 1.2321x + 16.9935$
$S(x)_8 = -0.0048x^3 + 0.0630x^2 - 0.6313x + 15.3914$
$S(x)_9 = 0.0115x^3 - 0.3756x^2 + 3.3157x + 3.5506$

Realizado por: Paredes J, 2023

Finalizando, se procede a remplazar los valores de $X = 1$, $X = 4.3043$, $X = 6.9787$, $X = 9.059$, para comparar con los valores obtenidos en el software como se observa en la tabla 36-4 donde se

comprueba que los valores son iguales observando el correcto funcionamiento del algoritmo desarrollado en Matlab.

Tabla 37-4: Valores en X para su comprobación.

$S(x)_1 = -0.04934x^3 + 0.1480x^2 - 0.0987x + 14.3227$
$S(x)_1 = 14.3227$
$S(x)_4 = 0.0110x^3 - 0.1604x^2 + 0.3415x + 14.2264$
$S(x)_4 = 13.6018$
$S(x)_6 = -0.0091x^3 + 0.1642x^2 - 1.4145x + 17.4192$
$S(x)_6 = 12.4519$
$S(x)_9 = 0.0115x^3 - 0.3756x^2 + 3.3157x + 3.5506$
$S(x)_9 = 11.3127$

Realizado por: Paredes J, 2023

En la ilustración 48-4 se presenta el resultado de la señal continua vs la señal de puntos discretos donde la señal azul representa a la señal continua y los puntos rojos representa a la señal discreta, como se observa en sus picos tiene variaciones debido que en la señal discreta se conforma por picos o puntos mientras que la señal continua se conforma de curvas en todo el tiempo a ser la señal evaluada dando como resultado que la señal continua es similar a la señal discreta ya que no pierde su forma.

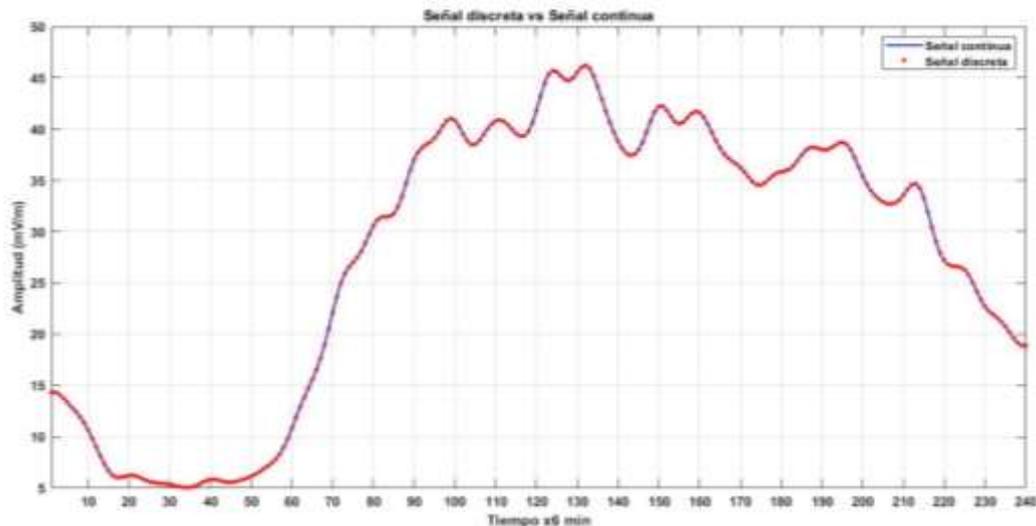


Ilustración 48-4: Señal discreta de color rojo vs la señal continua de color azul.

Realizado por: Paredes J, 2023.

En la ilustración 48-4, se presentan 240 puntos en el eje X, medidos cada 6 minutos durante 24 horas, y se encuentra expresados en función de horas en la ilustración 49-4.

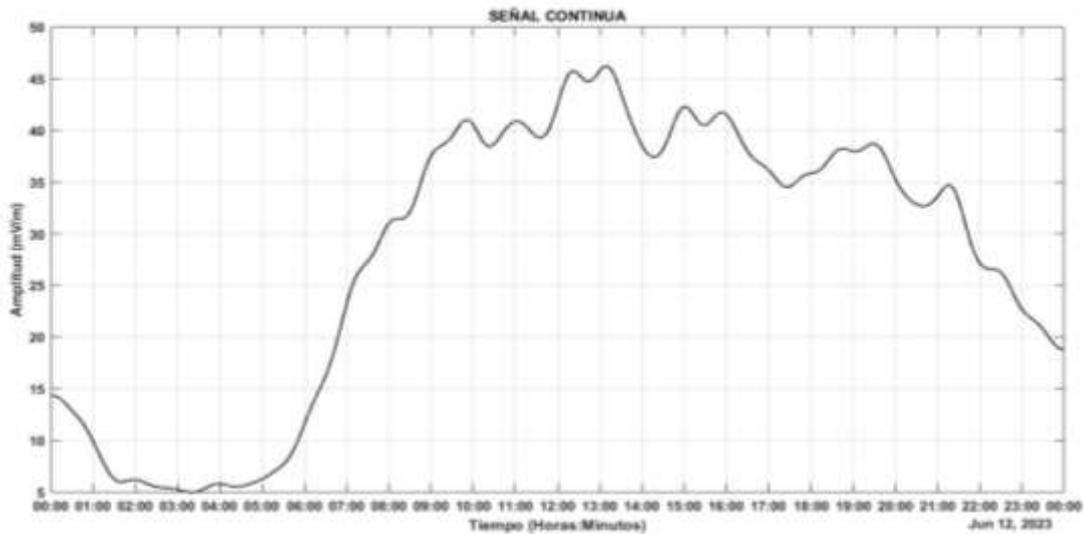


Ilustración 49-4: Señal continua de la intensidad de campo eléctrico continuo E_c en un tiempo de 24 horas.

Realizado por: Paredes J, 2023.

Para observar la intensidad de campo eléctrico continuo E_c , correspondiente a cada hora y cada minuto, creamos una interfaz interactiva utilizando el software Matlab APP Designer. En esta interfaz, el usuario puede ingresar la hora y el minuto deseados, y el programa calculará la intensidad de campo eléctrico continuo correspondiente en cada instante de tiempo a lo largo de un día de 24 horas.

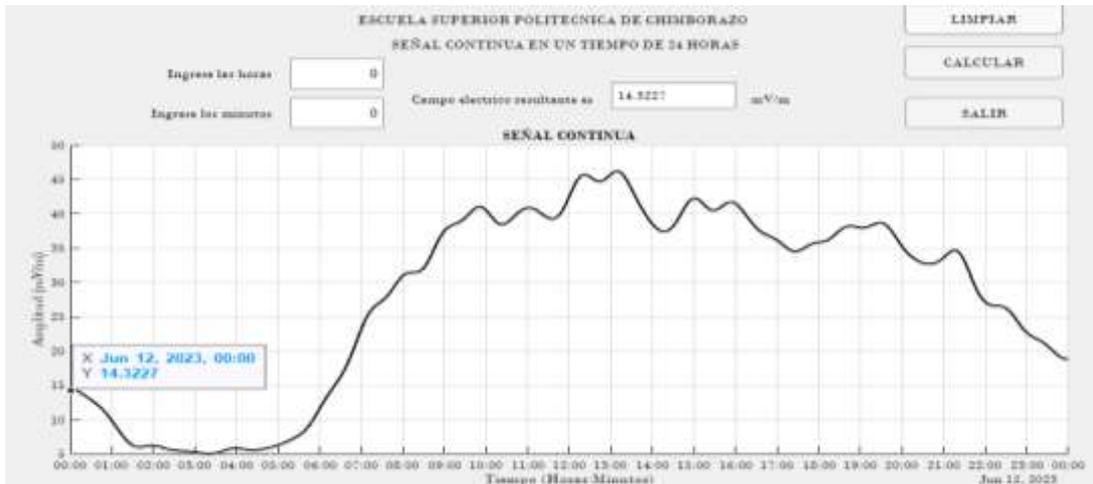
Una vez que el usuario ingresa la hora y el minuto, el programa realiza los cálculos necesarios para determinar la intensidad de campo eléctrico continuo E_c . Luego, la ilustración 50-4 representa la variación de la intensidad de campo eléctrico continuo E_c a lo largo del día. En esta gráfica se destaca con un círculo de color rojo el momento exacto que corresponde a la hora y minuto ingresados.

La interfaz proporciona una forma visual y práctica de entender cómo varía la intensidad de campo eléctrico continuo E_c a lo largo del día, permitiendo identificar los momentos de mayor o menor intensidad. Además, brinda la flexibilidad de ingresar diferentes horas y minutos para explorar diferentes instantes del día.

En la ilustración 50-4a, se puede observar que el valor correspondiente a las 00:00 es de 14.3227 mV/m para el campo eléctrico continuo, en la ilustración 50-4b, nuevamente se ha verificado el resultado de la intensidad de campo eléctrico continuo en las 8:52, encontrando un valor de 52.3321 mV/m. Este resultado concuerda con los cálculos realizados mediante la interpolación con Spline cúbico.

Finalmente, en la ilustración 50-4c, se ha comprobado que la intensidad de campo eléctrico continuo E_c en las 24:00 es de 18.8873 mV/m. Este valor también ha sido obtenido mediante el

método de interpolación Spline cúbico, que permite obtener una señal continua para todo el intervalo de tiempo de 24 horas.



a)



b)



c)

Ilustración 50-4: Mediciones de la intensidad de campo eléctrico continuo en cada instante del tiempo a) A las 00:00 b) A las 8:52 c) A las 24:00.

Realizado por: Paredes J, 2023.

4.6. Análisis comparativo entre la señal original, la señal E_d y la señal E_c .

La diferencia fundamental entre una señal continua E_c y una señal discreta E_d es que la primera es una función continua en el dominio del tiempo, lo que significa que puede tomar cualquier valor en un intervalo continuo de tiempo. Por otro lado, la señal discreta está definida solo en puntos discretos del tiempo, lo que implica que solo toma valores específicos en instantes discretos.

La señal original de color azul se encuentra representada en tiempo discreto, lo cual presenta ciertas dificultades al manipular los datos, tal como se evidencia en la ilustración 51-4a. Con el propósito de abordar esta problemática y mejorar la comprensión de los datos, se aplica el método de la media móvil con un parámetro $n=2$. Como resultado de esta técnica, la señal ha experimentado un proceso de suavización, lo que se puede apreciar en la ilustración 51-4b

En la ilustración 51-4b, se aprecia claramente cómo la aplicación del método de la media móvil ha resultado en una suavización de la señal original. Como consecuencia de este proceso, las variaciones abruptas que previamente dificultaban la interpretación de los datos han sido suavizados de manera significativa. Este procedimiento ha presentado de forma más clara la información contenida en los datos, lo que facilita su análisis y comprensión.

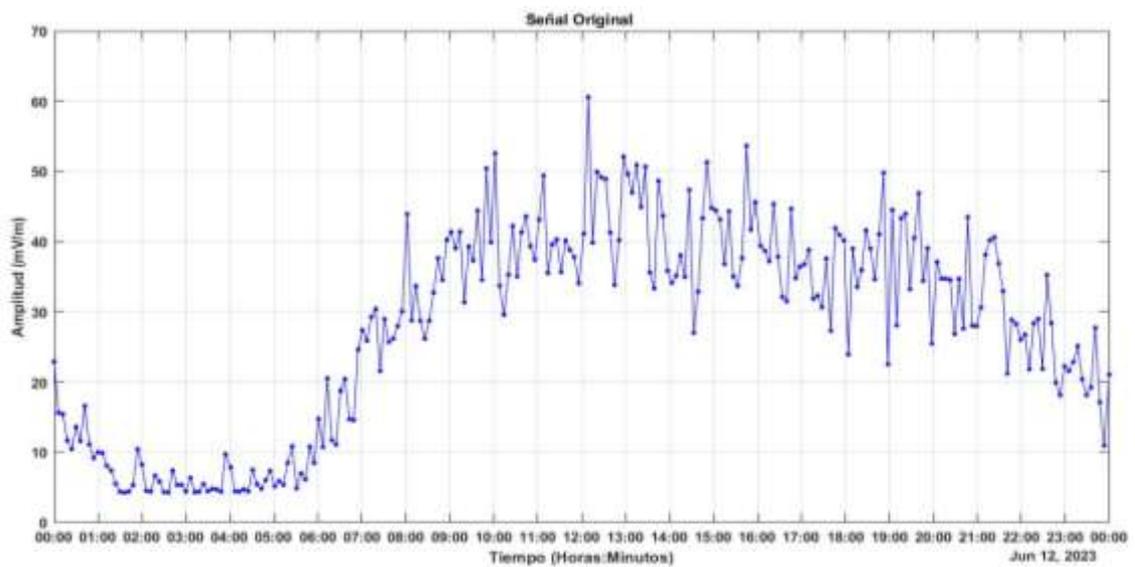
En la ilustración 51-4b, se presenta la señal discreta de color morado, la cual ha sido procesada mediante el método de la media móvil. Por otro lado, en la ilustración 51-4c, se muestra la señal continua de color negro, que ha sido generada mediante el método Spline cúbico.

A pesar de ser diferentes, ambas señales E_c y E_d muestran una gran precisión en la transformación. La aplicación del método media móvil en la señal discreta E_d ha logrado una suavización efectiva, disminuyendo el ruido y manteniendo una representación coherente de la información. Si bien se pueden perder algunos detalles en los picos, el propósito de mejorar la visualización y el análisis general de los datos se ha cumplido de manera satisfactoria. Por otro lado, la señal continua E_c obtenida mediante el método Spline cúbico muestra una representación continua a lo largo del tiempo. Este método ha sido especialmente útil para interpolar los datos y obtener una señal continua que se ajuste perfectamente a los puntos de la señal discreta.

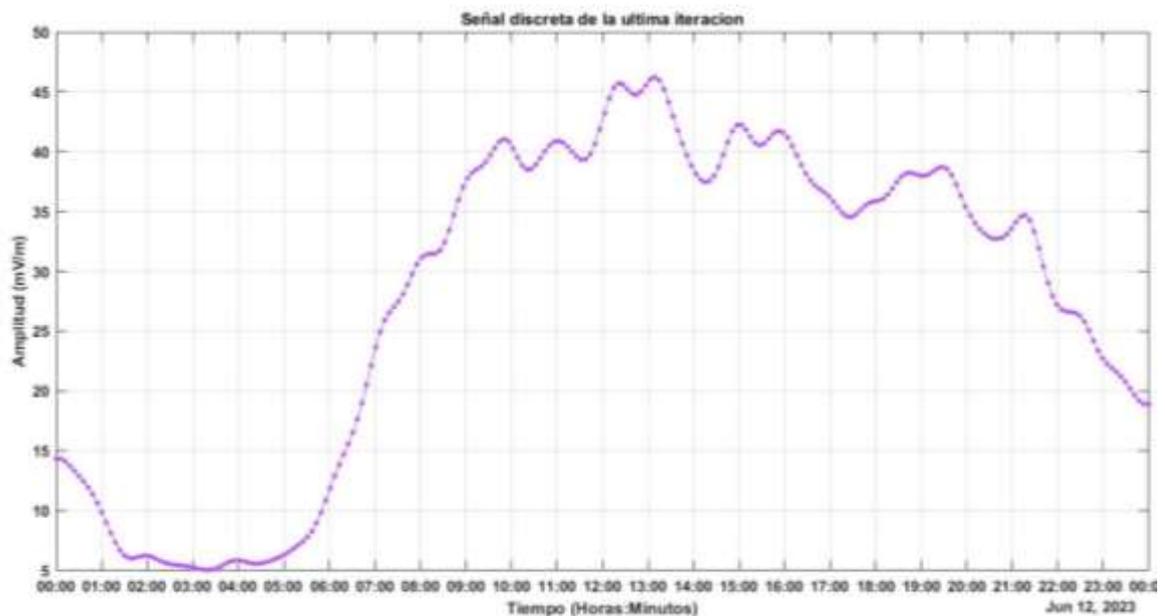
Aunque las señales discreta y continua presentan diferencias inherentes debido a la naturaleza de su medición en tiempo y amplitud, respectivamente, ambos enfoques han sido fundamentales en el análisis y procesamiento de los datos. La señal discreta proporciona datos puntuales, mientras que la señal continua presenta valores en cualquier instante de las 24 horas del día.

En resumen, en la transformación de la señal discreta E_d a la señal continua E_c , se utilizaron dos métodos la media móvil previo $n=2$ y el método Spline cúbico para suavizar y transformar a señal continua E_c de la señal original, lo que permitió una representación más clara y coherente de los

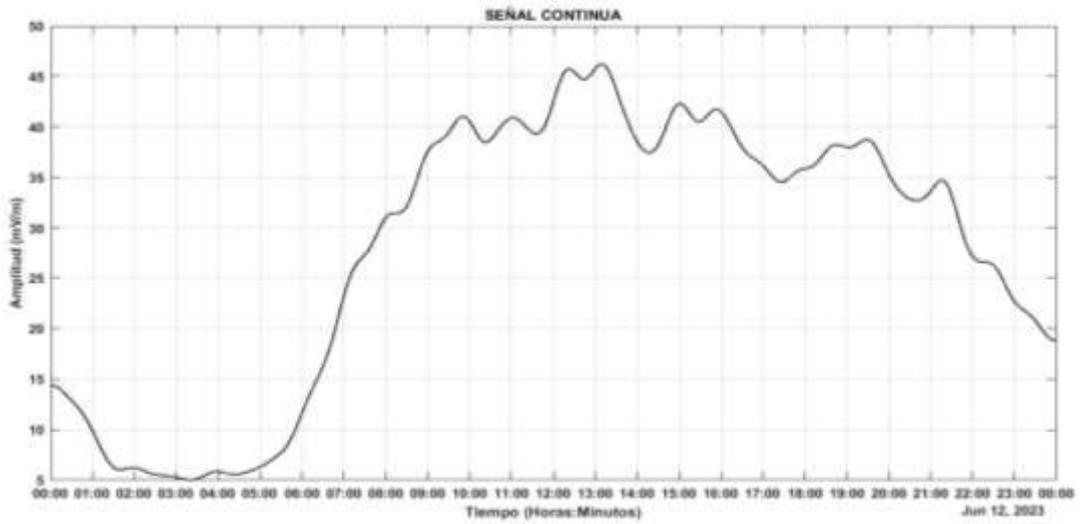
datos. La aplicación del método de la media móvil mejoró la visualización en la señal discreta, mientras que el método Spline cúbico logró una transformación precisa hacia una señal continua. Ambos métodos fueron valiosos para el estudio y análisis de los campos eléctricos tanto en discreto como en continuo. La transformación hacia la señal continua facilitó la manipulación de datos y permitió una comprensión más detallada del comportamiento de la intensidad del campo eléctrico continuo durante las 24 horas. Al comparar la señal original con la señal continua, se destaca la gran diferencia en su manipulación, ya que los datos originales no presentan un método de suavización y resultan en una señal compleja, mientras que la señal continua brinda una representación más manejable y clara del comportamiento de la intensidad de campo eléctrico continuo.



a)



b)



c)

Ilustración 51-4: Señal original vs Señal suavizada a) Señal original b) Señal discreta del pase 30 de la media móvil previo $n=2$ c) Señal continua con el método Spline cúbico.

Realizado por: Paredes J, 2023.

CONCLUSIONES

- Para el desarrollo de este proyecto de investigación se utilizó la base de datos de las mediciones temporales de intensidad de campo eléctrico discreto, la cual fue el resultado de un monitoreo continuo durante una semana, del 15 al 21 de agosto del 2016, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en la banda de frecuencia GSM 1900. Estas mediciones permitieron la creación de un vector con los valores medios diarios de la intensidad de campo eléctrico E_d en cada instante de tiempo, el cual estuvo conformado por 240 puntos. Cada medición se realizó durante un período de tiempo de 6 minutos, abarcando así las 24 horas del día.
- Para el filtrado de la señal de intensidad de campo eléctrico discreto E_d se aplicó el método de la media móvil previo con una ventana de $n=2$ utilizando el software Matlab, dando como resultado una señal más suave sin perder la forma de la señal original. Esto permitió comprobar que el algoritmo del software seleccionado cumplía con el procedimiento correcto del método aplicado.
- Para la transformación del campo eléctrico discreto E_d a una señal de intensidad de campo eléctrico continuo E_c , se utilizó el método Spline Cúbico, el cual utiliza polinomios cúbicos para su interpolación. Utilizando un algoritmo implementado en el software Matlab y los 240 puntos de la señal discreta obtenida después del pase 30 del filtro de media móvil con un previo $n=2$, se generó una señal continua que se ajustó adecuadamente a los puntos discretos. El método Spline Cúbico ha demostrado ser efectivo para obtener una representación continua de los datos discretos E_d en las 24 horas del día, lo que permite una mejor interpretación del comportamiento de la intensidad del campo eléctrico continuo a lo largo del tiempo.
- De la comparativa realizada entre la señal original, la señal discreta E_d y la señal continua E_c , se pudo determinar que la señal continua es una representación cercana a la señal discreta con un cierto margen de error. Esto se debe a que las señales discretas están limitadas a valores específicos en intervalos o conjuntos finitos de puntos, mientras que las señales continuas pueden tomar valores en cualquier instante de tiempo, lo que las hace más manejables y comprensibles.

RECOMENDACIONES

- Verificar que el software a utilizar esté correctamente instalado para que el mismo brinde los resultados buscados.
- Es recomendable probar el funcionamiento del algoritmo con datos pequeños para solventar algún error en el código, ya que, al aplicar a un número de datos mayor, el solventar el error será más complejo.
- Se recomienda que en el método de la media móvil se realice hasta los 30 pases ya que en pases posteriores el resultado no representa cambios significativos

BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ, Jesus & LINGIG, Klaus & MARTINEZ, Gustavo. "Implementacion de Filtros Digitales Tipo Fir en FPGA". *SCIELO*. [En línea] 2008. [Consulta 15 de Diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/poli/n37/n37a12.pdf>.

ANDRADE GUERRERO, Daniel Marcelo, & CONTRERAS ORTIZ, Carlos Felipe. Medicion y Analisis del Nivel de Exposicion a Radiaciones no Ionizantes RNI en Ambientes Indoor en la Ciudad de Cuenca, dentro del Espectro Radioelectrico en la Banda de Frecuencia de Telefonía Celular [En line] (Trabajo de titulacion). (Ingeniería en Electronica). Universidad Politecnica Salesiana, UPS, Cuenca - Ecuador. 2014. [Consulta: 2022-12-20]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7092/1/UPS-CT003850.pdf>.

ARTES, A, & PEREZ, F, & CID, J, & LÓPEZ, R. *Comunicaciones digitales* [en línea]. Madrid-España, 2012. [Consulta: 19 abril 2023]. Disponible en: https://www.tsc.uc3m.es/~antonio/libro_comunicaciones/El_libro_files/comdig_artes_perez.pdf

AERTS, Sam; & MARTENS, Luc; & WOUT, Joseph "Assessment of Long - Term Spatio Temporal Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure". *Elsevier*, vol. 161, (2018), (Paris of Francia) pp. 136-143.

CARRILLO IBARRA, Mario. *Procesamiento digital de señales* [blog]. 2012. [Consulta: 15 abril 2023]. Disponible en: <https://maixx.wordpress.com/2011/08/08/procesamiento-digital-de-senales-para-telecomunicaciones/>.

CHARLES, Alexander; & SADIKU, Matthew. *Fundamentos de circuitos eléctricos*. Mexico-D.F : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, 2013. ISBN 978-607-15-09482.

CHARLES, Alexander; & SADIKU, Matthew. *Fundamentos de circuitos electricos*. 1 ed: McGRAW - HILL/INTERAMERICANA, 2013. ISBN 978-607-15-0948-2, pp.549..

COGOLLOS, S. *Fundamentos de la teoria de filtros*. [en línea]. Valencia - España, 2016. [Consulta: 19 abril 2023]. Disponible en: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/b6e1b8b1-cfc7-46d3-90b7-ac4a9d6ce5a8/TOC_0287_04_01.pdf?guest=true.

CORRALES BARRIOS, L. & PAZ ALVAREZ, J. *Filtros para relés digitales de protección de sistemas eléctricos*. [en línea]. Editorial Universitaria, 2016. pp.1-12. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/udla/titulos/10075>

FERNÁNDEZ NIELLO, J. *El universo de las radiaciones*. [en línea]. Buenos Aires, Argentina, Eudeba, 2007. pp.26-27. [Consulta: 17 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/udla/titulos/101405>.

FLOYD, T. *Dispositivos Electrónicos* [en línea]. octava edición. México, 2008. pp.756-760. [Consulta: 23 marzo 2021]. Disponible en: <https://latecnicalf.com.ar/descargas/material/electronicaanalogica/Dispositivos%20Electronicos%208va.edicion-%20Floyd.pdf>

FRIZZERA, VICTOR DANIEL. 2007. Comision Nacional de Comunicaciones. *Radiaciones no ionizantes*. [Online] [Consulta: Marzo 19, 2007]. Disponible en: https://langeracrigh.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/informe_RNI_CNC.pdf

GOMEZ SANCHEZ, A. *Señales Discretas. Operaciones con secuencia* [blog]. 2017. [Consulta: 17 abril 2023.]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/376987096/Senales-Discretas>.

GRUPO PANDORA S.A. *Campos electricos y Magneticos de 50 Hz* [en línea]. RED ELECTRICA y UNESA, 2001. [Consulta: 23 Febrero 2023]. Disponible en: https://www.redeia.com/sites/webgrupo/files/downloadable/ree_unesa_cem_2001.pdf.

HANSUN, S. "A Novel Research of New Moving Average Method in Time Series Analysis". *ResearchGate*. [en línea], 2014 , (Tangerang of Indonesia) (1). [Consulta: 5 abril 2023]. ISSN 2354-0082. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/301547550_A_Novel_Research_of_New_Moving_Average_Method_in_Time_Series_Analysis.

HEATH, Janet. *Digital filters vs Analog filters* [blog]. 2016. [Consulta: 22 abril 2023]. Disponible en: <https://www.analogictips.com/using-analog-filters-vs-digital-filters/>.

HOUCQUE, D. *Introduction to matlab for engineering students* [en línea]. Evanston - EEUU: mccormick.northwestern.edu, 2005. [Consulta: 11 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.mccormick.northwestern.edu/documents/students/undergraduate/introduction-to-matlab.pdf>.

HUERTAS. *Síntesis de filtros pasivos*. [en línea]. IMS-CNM, 2004. [Consulta: 31 julio 2023]. Disponible en: <http://www2.imse-cnm.csic.es/~huertas/SETI/Tema4.pdf>

HWEL, P. *Señales y Sistemas*. 2^{da} ed. Mexico - D.F : Schaum, 201. ISBN 978-607-15-0921-5, pp. 4-5.

INFANTE, Pedro; & ORTIZ, Neiser; & TRUJILLO, X. "Análisis de los Niveles de Campos Eléctricos de la Banda GSM 1900 MHz en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo". *Revista Técnico - Científica PERSPECTIVAS* [en línea], 2020, (Riobamba of Ecuador) 2(1), pp. 8-13. [Consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: http://perspectivas.esPOCH.edu.ec:8081/index.php/RCP_ESPOCH/article/view/54/74.

JADHAV, Abhishek. *Differences between active and passive filters* [blog], 2022. [Consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.wevolver.com/article/difference-between-active-and-passive-filters>

JAMESON, Antony. *Cubic Spline* [blog]. 2017. [Consulta: 6 mayo 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/Tutoriales/Norma%20ISO%20690.pdf>.

KESTER, W. "Digital Filters". *ResearchGate*. [en línea], 2003, pp- 147-187. [Consulta: 27 abril 2023]. ISSN 9780750676113. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/345041345_Section_6_Digital_Filters.

MORON, J. *Señales y Sistemas*. Maracaibo - Venezuela : Universidad Rafael Urdaneta fondo editorial, 2011. ISBN 978-980-7131-06-3. pp. 2-3.

NATIONAL CANCER INSTITUTE [NIH]. *Diccionario de cáncer. NIH*. [en línea]. 2018. [Consulta: 05 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/radiacion-ionizante>

NIETO MORENO, Pablo Marcelo. Filtrado de una señal discreta de la intensidad de campo eléctrico de la banda de frecuencia de 76 MHz a 2686 MHz durante un día en la ESPOCH utilizando la media móvil. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería en Telecomunicaciones) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Riobamba. 2021. pp. 1-3.

OPPENHEIM, Alan; & SCHAFER, Ronald. *Tratamiento de Señales en Tiempo Discreto*. 3^{ra} ed. España : PEARSON EDUCACION S.A, 2011. ISBN 978-84-8322-718-3, pp. 9-11.

PATHAK, B. *Health effects of ionizing radiation..* Canada : Canadian centre for occupational health and safety CCHOS, 1989. ISBN 0-660-13448-9, pp. 2-3.

PROGRAMMATH. (2021). *Spline Cúbico - Explicación y ejercicio resuelto*. [Archivo de video]. Clases de Matemáticas y Programación. <https://www.youtube.com/watch?v=b1pgaR9Ne9I>

REVUELTA, Miguel.; & FERNANDEZ, Juana.; & HIDALGO, Roberto. "Las radiaciones electromagnéticas y sus efectos en el cuerpo humano". *CNC*. [en línea], 2008, pp. 28. [Consulta: 25 Marzo 2023]. Disponible en:

[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/4308913D12546D9E05257C8900626D6D/\\$FILE/nexos25.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/4308913D12546D9E05257C8900626D6D/$FILE/nexos25.pdf).

ROJO MARTINEZ, Jose. *Señales Basicas de Tiempo Discreto*. ACADEMIA EDU. 2009. [Consulta: 24 Febrero 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/37307377/Pr%C3%A1ctica_1_A_Se%C3%B1ales_b%C3%A1sicas_de_tiempo_discreto.

SCHLICHTHARLE, D. *Digital filters basics and design*. 1^{era} ed. Germany : Springer- Verlag Berlin Heidelberg , 2020. ISBN 978-3-662-04170-3, pp. 177-225

SOLIMAN, Samir; & SRINATH, Mandyam. *Señales y Sistemas*. 2^{da} ed. San Diego : Prentice Hall Iberia S.R.L, 1999. ISBN 98-93-22-154-3, pp. 22-21.

TOMASI, WAYNE. 2003. *Sistemas de Comunicaciones Electronicas*, Cuarta Edicion. Mexico:Mc Graw Hill, 2003. 1. Disponible en: <https://fernandoarciniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Ionizing radiation, health effects and protective measures* [blog]. 2016. [Consulta: 24 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>.

ZAHOR, Sumbal.; & NASEEM, Shahzad. "Desing and implementation of an efficient FIR digital filter". *Cogent Engineering*. [en línea], 2017, (Lahore of Pakistan) 4(1), pp. 2-3. [Consulta: 1 abril 2023]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2017.1323373>.

a=[f1;f2;f3;f4;f5;f6;f7;f8;f9;f10;f11;f12;f13;f14;f15;f16;f17;f18;f19;f20;f21;f22;f23;f24;f25;f26;f27;f28;f29;f30;f31;f32;f33;f34;f35;f36];

b=[3.6427;3.6427;3.6427;3.7691;3.7691;3.9219;3.9219;3.9857;3.9857;3.9141;3.9141;3.7465;3.7465;3.5665;3.5665;3.4536;3.4536;3.4536;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];

c=pinv(a)*b



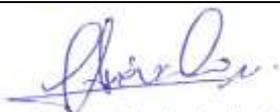
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 23/10/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos: Jhosselyn Maribel Paredes Tixi	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Informática y Electrónica	
Carrera: Telecomunicaciones	
Título a optar: Ingeniera en Telecomunicaciones.	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.

