

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica

IE0499 – Proyecto Eléctrico

**Implementación de un sistema de detección de
precipitaciones mediante el análisis de la atenuación
de enlaces de microondas**

por

Pablo Alfaro Castro

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Agosto de 2018

Implementación de un sistema de detección de precipitaciones mediante el análisis de la atenuación de enlaces de microondas

por

Pablo Alfaro Castro

B20162

IE0499 – Proyecto Eléctrico

Aprobado por

Ing. Fabián Abarca Calderón, M.Sc.
Profesor guía

Ing. Teodoro Willink Castro, M.Sc.
Profesor lector

Ing. Rafael Oreamuno Vega
Profesor lector

Agosto de 2018

Resumen

Implementación de un sistema de detección de precipitaciones mediante el análisis de la atenuación de enlaces de microondas

por

Pablo Alfaro Castro

Universidad de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Eléctrica

Profesor guía: Ing. Fabián Abarca Calderón, M.Sc.

Agosto de 2018

La medición de precipitación se realiza en estaciones meteorológicas con una ubicación geográfica puntual. Para generalizar los datos a una región, se debe realizar interpolaciones a las áreas intermedias. En un clima y una topografía como la costarricense, donde existen cambios abruptos de precipitación, estas estimaciones resultan ser imprecisas. Por su parte, los enlaces de microondas para sistemas de comunicación consisten en el envío de datos de alta velocidad entre dos antenas con línea de vista (sin obstáculos). La precipitación causa atenuaciones en la potencia recibida en el receptor.

Desde el punto de vista de las comunicaciones, la atenuación por lluvias es una desventaja, sin embargo, estas mediciones aportan información que se puede aprovechar para la determinación de la presencia y/o intensidad de las precipitaciones en la región que conecta dos antenas de microondas.

Con base en trabajos de investigación anteriores y herramientas de análisis geográfico, se sabe que es posible analizar estos datos para el estudio de precipitaciones, que eventualmente pueden ayudar a complementar la información meteorológica o ser útiles para sistemas de detección y alerta tempranos de riesgos asociados con la alta precipitación.

El resultado es una plataforma de pruebas y análisis de los datos de atenuación de enlaces de microondas que permite... (aquí hay que esperar a ver qué resulta exactamente)

Palabras claves: *microondas, hidrología, precipitaciones, machine learning, análisis geográfico.*

Acerca de IE0499 – Proyecto Eléctrico

El Proyecto Eléctrico es un curso semestral bajo la modalidad de trabajo individual supervisado, con el propósito de aplicar estrategias de diseño y análisis a un problema de temática abierta de la ingeniería eléctrica. Es un requisito de graduación para el grado de bachiller en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica.

Índice general

Índice general	vii
Índice de figuras	viii
Índice de cuadros	ix
1 Introducción	1
1.1. Alcance	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Metodología	2
2 Marco de referencia	5
2.1. Precipitaciones	5
2.1.1. Medición de las precipitaciones	5
2.1.2. Intensidad de la precipitación	8
2.1.3. Regiones climáticas en Costa Rica	9
2.2. Atenuación de señales microondas	11
2.3. Librerías de Python utilizadas	12
2.3.1. NumPy	12
2.3.2. Matplotlib	13
2.3.3. TkInter	14
3 Desarrollo	17
3.1. Calibración de la plataforma	17
3.1.1. Obtención de datos	17
3.1.2. Algoritmo de aprendizaje	19
3.1.3. Hipótesis	21
3.2. Plataforma del sistema de alerta	22
3.2.1. Integración y manipulación de datos	22
3.2.2. Creación de ventana principal	23

3.2.3. Despliegue de ventana	27
4 Resultados	29
4.1. Calibración de la plataforma	29
4.1.1. Datos históricos	29
4.1.2. Calibración del algoritmo	32
4.2. Plataforma	35
5 Conclusiones y recomendaciones	39
5.1. Conclusiones	39
5.2. Recomendaciones	39
Bibliografía	41

Índice de figuras

2.1. Diagrama de pluviómetro[3]	6
2.2. Mediciones de un pluviógrafo [3]	7
2.3. Regiones y subregiones climáticas[1]	10
2.4. Datos climatológicos de la Región Valle Central Occidental [1]	11
3.1. Calibración del algoritmo	17
3.2. Curvas de atenuación suministradas por el ICE	18
3.3. Obtención de datos	19
3.4. Diagrama de flujo de algoritmo de aprendizaje	20
3.5. Plataforma del sistema de alerta	22
3.6. Plataforma del sistema de alerta	23
3.7. Estructura de la primer sub-ventana	24
3.8. Estructura de la segunda sub-ventana	24
3.9. Estructura de la tercer sub-ventana	25
3.10. Estructura de la cuarta sub-ventana	26
3.11. Estructura de la quinta sub-ventana	26
4.1. Datos de precipitación, periodo del 15 al 22 de junio	30
4.2. Datos de atenuación, periodo del 15 al 22 de junio	31
4.3. Relación entre lluvia y atenuacion	32

4.4.	Diagrama de dispersión, precipitación con su respectivo valor de atenuación	33
4.5.	Curva de aproximación, mejor resultado de la calibración con $\alpha = 0,01$	34
4.6.	Plataforma, promedio de precipitación nulo en la ultima hora	35
4.7.	Plataforma, promedio de precipitación ligero en la ultima hora	36
4.8.	Plataforma, promedio de precipitación moderado en la ultima hora	36
4.9.	Plataforma, promedio de precipitación pesado en la ultima hora	37

Índice de cuadros

2.1.	Valores comunes de disponibilidad.	11
------	--	----

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En un país con las características orográficas como Costa Rica, la precisión de los sistemas de detección de precipitación tienden a verse afectados por múltiples factores [1], por ejemplo la variada topografía genera distintos comportamientos de la precipitación en zonas relativamente cercanas pero separadas por el sistema montañoso. Por lo tanto, un sistema de alerta temprana que tome en cuenta solamente los datos recopilados por el campo de la meteorología, conlleva a que el resultado no llegue a ser cien por ciento eficaz en todos los posibles casos.

En muchos otros países, los pronósticos meteorológicos son bastante acertados ya que la orografía de su terreno lo permite, así como la extensión de los registros históricos de datos meteorológicos. Sin embargo, en Costa Rica, hay ocasiones que en zonas geográficamente cercanas las condiciones climáticas pueden variar mucho, y en algunos casos, estos cambios se escapan a las mediciones de los centros meteorológicos que están distribuidos alrededor del territorio nacional [1].

Debido a esto, en el presente proyecto se plantea una herramienta de enfoque diferente que pretende realizar detecciones de precipitación haciendo uso de las atenuaciones que existen en los enlaces de microondas entre las torres de comunicación. Las cuales definen zonas más específicas del territorio nacional, lo que hace posible la división de las zonas en las que están los centros de medición meteorológica.

1.1. Alcance

El presente proyecto presenta un algoritmo capaz de establecer el momento en el que inicia un evento de precipitación entre al menos uno de los enlaces de microondas presentes entre, como mínimo, dos torres de comunicación. El cual es calibrado para las torres ubicadas en el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica y en las instalaciones del Instituto Costarricense de Electricidad ubicadas en la Central de San Pedro de Montes de Oca, lo que define el área de estudio.

De manera que el resultado obtenido del proyecto corresponde a un importante insumo para la implementación de un sistema de alerta temprana de precipitación en la zona de estudio, no obstante, el presente proyecto no contempla esta etapa.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Generar un algoritmo capaz de determinar el momento en que ocurren precipitaciones para el establecimiento de una respuesta numérica y visual por medio de sistemas de información geográfica que pueda ser utilizado como insumo de un sistema de alerta temprana de precipitaciones.

1.2.2. Objetivos específicos

- Estudiar los mecanismos y algoritmos de análisis de datos necesarios para la determinación de la existencia de precipitación mediante el análisis de potencia en un enlace de microondas.
- Implementar un algoritmo capaz de identificar por medio de atenuación entre enlaces de microondas, la existencia de precipitación en algún punto de dicho enlace, y de esta manera lograr una calibración de los datos necesarios para la implementación final.
- Realizar pruebas de funcionalidad del algoritmo con datos reales sobre los algoritmos anteriormente descritos y apoyándose en herramientas tales como sistemas de información geográfica.

1.3. Metodología

El desarrollo del método utilizado para generar el algoritmo capaz de determinar la cantidad de precipitación presente entre un enlace de torres de microondas se consiguió mediante los siguientes pasos:

- Recopilación de información tanto de datos de potencia recibida en los puntos de recepción de microondas y factores relacionados, como proporcionadas por la estación meteorológica, específicamente la estación CIGEFI ubicada en la Ciudad de la investigación de la Universidad de Costa Rica.
- Investigación acerca de conceptos de "Machine learning" para la determinación de tipos de entrenamientos y la consideración del que sea adecuado para el proyecto.
- Investigación sobre la escritura de programación de Python, manejo de variables y librerías existentes que faciliten la implementación de la herramienta.
- Implementación de un algoritmo de aprendizaje inteligente capaz de generar una función o hipótesis la cual puede ser utilizada para predicción de precipitaciones.
- Implementación de las pruebas correspondientes a la hipótesis anteriormente creada para la comprobación de funcionalidad.

- Implementación del sistema de alarmas con los datos recibidos en tiempo real o históricos dependiendo de la accesibilidad a estos.

CAPÍTULO 2

MARCO DE REFERENCIA

2.1. Precipitaciones

La precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua [2]. El proyecto gira en torno de conceptos amplios como las precipitaciones, para poder comprender los próximos análisis de información, es importante aclarar los diferentes tipos de precipitación. Según lo que establece Mijares, las precipitaciones se agrupan en tres tipos:

1. **Convectiva:** Se origina cuando la tierra o parte de la atmósfera se calienta más que las masas circundantes generando una masa de aire caliente ascendente, al ascender se enfría y se condensa el vapor de agua que ésta contenga; la humedad que se condensa, genera una nube y se producen las precipitaciones. La lluvia puede alcanzar intensidades altas, normalmente de duración corta y áreas pequeñas. En los trópicos el mayor volumen de lluvia corresponde a este tipo.
2. **Orográfica:** Se genera cuando las masas de aire son empujadas por el viento y forzadas a subir por las laderas de las montañas. El aire se enfría sin transferencia de calor, con un enfriamiento debido a un cambio de presión generando condensación y finalmente precipita.
3. **Frontal:** Se generan por la interacción de una masa de aire caliente con una de aire frío. La masa fría normalmente es más densa y de baja altura, cuando la masa caliente interactúa se ve forzada a ascender sobre la fría generando enfriamiento, condensación y lluvia. Normalmente es el mecanismo más común de lluvia en latitudes medias a altas.

2.1.1. Medición de las precipitaciones

Lo más usual, en el ámbito de medición de precipitaciones son los pluviómetros y pluviógrafos. Los pluviómetros están formados por un recipiente cilíndrico con una escala de medición, de área transversal a la que descarga un embudo que capta el agua de lluvia. Se acostumbra colocar en el embudo un par de mallas para evitar la entrada de basura u otros objetos. El área de captación es normalmente diez veces mayor que el área del recipiente, con el objetivo de que por cada

milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente. De este modo, es posible hacer lecturas a simple vista hasta de una décima de milímetro de lluvia, que corresponde a un milímetro depositado en el recipiente. En la figura 2.1 se muestra el diagrama básico de un pluviómetro. [3]

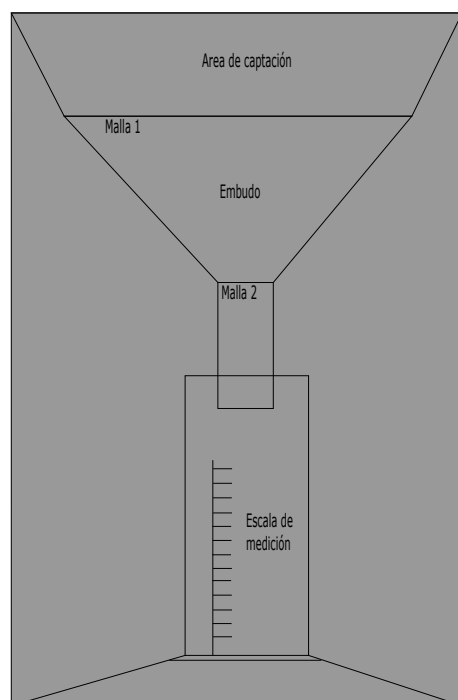


Figura 2.1: Diagrama de pluviómetro[3]

Los pluviógrafos son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación. El funcionamiento de un pluviógrafo consiste en un cilindro el cual posee una cantidad de papel uniformemente esparcido en su perímetro, el cual gira a una velocidad constante, y en el centro, un juego de plumas sujetas a un flotador generan marcas en el papel a lo largo del tiempo y dependiendo de cuánta cantidad de precipitación tengan dentro del cilindro y la altura a la que se esta flotando.

El registro que se obtiene de un pluviógrafo se llama pluviograma. Normalmente, este registro es similar al mostrado en la figura 2.2. Frecuentemente el pluviógrafo puede presentar alguna falla y por esta razón los datos obtenidos resultan defectuosos. En ocasiones es posible recuperar los datos de un registro defectuoso y a veces no. Por esta razón es importante apoyarse en los datos recopilados del pluviómetro.

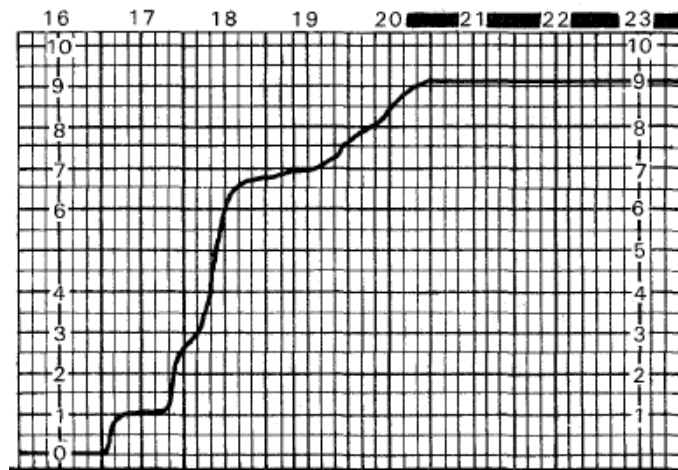


Figura 2.2: Mediciones de un pluviógrafo [3]

En general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado es diferente de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos (que es uno de los factores principales en el proyecto). Los instrumentos descritos anteriormente registran la lluvia en un punto en específico, esto es, el punto donde está instalado dicho instrumento de medición, para los cálculos ingenieriles, es necesario conocer los datos de la lluvia media en una zona dada, como puede ser una cuenca. Según Mijares, para realizar esos cálculos existen tres métodos que son los más comunes:

1. Método aritmético:

Es tan simple como obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

$$Hp_{media} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Hp_i \quad (2.1)$$

donde Hp_{media} es la altura de precipitación media, Hp_i es la altura de precipitación registrada en la estación i y n es el número de estaciones bajo análisis.

2. Polígonos de Thiessen:

Este método consta de los siguientes pasos a seguir:

- a) Unir mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí formando triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
- b) Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.

- c) Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas del paso anterior, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por la línea divisoria de aguas de la cuenca. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y la divisoria de aguas será el área de influencia de la estación correspondiente.
- d) La lluvia media se calcula como un promedio ponderado de las precipitaciones registradas en cada estación, tomando en cuenta el área de influencia descrita anteriormente:

$$Hp_{media} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i * Hp_i \quad (2.2)$$

donde A_i es el área de influencia de la estación i y A_T es el área total de la cuenca.

3. Método de las isoyetas:

Este método consiste en trazar, a partir de la información registrada en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo similar a como se trazan las curvas de nivel en topografía. La precipitación media se calcula en forma similar a la ecuación del método anterior, pero ahora el peso es el área A'_i entre cada dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas:

$$Hp_{media} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^{n'} A'_i * Hp_{media-i} \quad (2.3)$$

donde n' es el número de áreas A'_i consideradas.

Como se puede ver, los métodos de cálculos y mediciones de precipitaciones no son muy exactos, y pueden presentar incertidumbres importantes en regiones próximas a la divisoria de aguas las que presentan importantes irregularidades topográficas.

2.1.2. Intensidad de la precipitación

La intensidad de la precipitación se clasifica de acuerdo con la tasa de precipitación, que depende del tiempo considerado, se establece lo siguiente:[4]

- Lluvia ligera: Cuando la tasa de precipitación es menor a 2.5 mm por hora.
- Lluvia moderada: Cuando la tasa de precipitación está entre 2.5 mm y 7.6 mm por hora.
- Lluvia pesada: Cuando la tasa de precipitación es mayor a 7.6 mm por hora, pero menor a 50 mm.
- Lluvia violenta: Cuando la tasa de precipitación es mayor a 50 mm por hora.

2.1.3. Regiones climáticas en Costa Rica

La topografía de Costa Rica presenta muchas variaciones, es un pequeño país cubierto por montañas y valles, los cuales permiten todo tipo de precipitación.

En Costa Rica hay dos sistemas montañosos principales que recorren longitudinalmente sobre la parte central del país:

- La Cordillera Volcánica del Norte

- La Cordillera de Talamanca

Estas dos cordilleras determina a grandes rasgos, la división del país en tres regiones fisiográficas, norte, central y sur. Esta misma disposición montañosa, junto con los vientos alisios, generaron tres regiones climáticas diferentes:

- La Región Tropical Húmeda del Atlántico

- La Región Central Intermontana

- La Región Tropical del Pacífico



Figura 2.3: Regiones y subregiones climáticas[1]

Específicamente, la zona en la que se realizan las pruebas de calibración del algoritmo, pertenece a la Región Valle Central Occidental, en la figura 2.4 se muestran algunos datos proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional, en donde se muestra de color amarillo la cantidad en mm de lluvia media anual, de celeste el promedio de días con lluvia, y de color rosa el promedio de duración del periodo seco. Por otra parte, las líneas corresponden a temperatura máxima, mínima y media, en los colores negro, azul y rojo respectivamente.

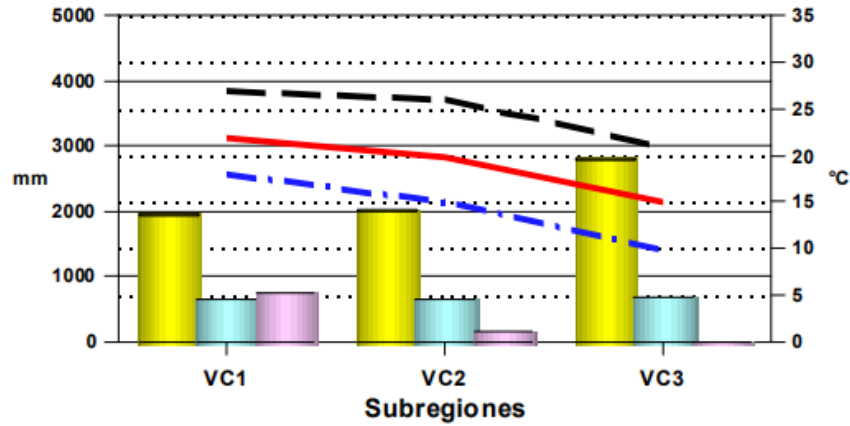


Figura 2.4: Datos climatológicos de la Región Valle Central Occidental [1]

2.2. Atenuación de señales microondas

Para comprender un poco el tema de la atenuación de señales en enlaces de microondas, se debe comprender que estas atenuaciones están relacionadas con el concepto de la disponibilidad entre enlaces, que se define como el tiempo que dicho enlace se encuentra operativo dentro de los parámetros preestablecidos. La disponibilidad de los enlaces de microondas, tanto terrestres como satelitales se ve fuertemente asociada a los fenómenos de lluvia. [5]

Cuadro 2.1: Valores comunes de disponibilidad.

Disponibilidad	Tiempo días/año	Tiempo no disponible permitido
99.9 %	364.6	8.7 h/año
99.99 %	364.96	52.5 min/año
99.999 %	364.996	5.2 min/año

De este modo, si quiere diseñarse un enlace de microondas óptimo, la disponibilidad debe pensarse tomando en cuenta la tasa de lluvia en la zona en la que se desea establecer el enlace por unidad de tiempo. Según la recomendación UIT-R P.838-3 [6], esta atenuación debe expresarse como:

$$A = kR^\alpha \quad (2.4)$$

Siendo A el valor de la atenuación en el enlace, R la cantidad de lluvia en mm/h y k y α constantes que se determinan en función de la frecuencia f (GHz), en la gama de 1 a 1 000 GHz, a partir de las ecuaciones siguientes, que se obtienen mediante el ajuste de curvas a los coeficientes de la ley potencial derivados de cálculos de dispersión:

$$\log_{10}k = \sum_{j=1}^4 (a_j \exp[-(\frac{\log_{10}f - b_j}{c_j})^2]) + m_k \log_{10}f + c_k \quad (2.5)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 (a_j \exp[-(\frac{\log_{10}f - b_j}{c_j})^2]) + m_\alpha \log_{10}f + c_\alpha \quad (2.6)$$

donde f corresponde a la frecuencia en GHz, k puede ser k_H o k_V y α puede ser α_H o α_V .

Para el cálculo de estas constantes descritas anteriormente, la recomendación proporciona una serie de tablas con constantes para a_j , b_j , c_j , m_k y c_k .

2.3. Librerías de Python utilizadas

2.3.1. NumPy

NumPy [7], es el encargado de añadir toda la capacidad matemática y vectorial a Python haciendo posible operar con cualquier dato numérico o array. Incorpora operaciones tan básicas como la suma o la multiplicación u otras mucho más complejas como la transformada de Fourier o el álgebra lineal.

Entre las principales funciones de esta librería, tenemos los siguiente:

- **Carga de un archivo de datos:** Para muchos algoritmos es frecuente almacenar y trasladar paquetes de datos en archivos escritos en archivos de texto, Python incorpora varias funciones que nos permiten la lectura y escritura en estos archivos facilitando su manejo. Un ejemplo de ello es el comando "loadtxt" que nos permite cargar los datos contenidos en un archivo de texto o dat.
- **Arrays:** El desarrollo y la principal finalidad del módulo Numpy es la creación y modificación de arrays multidimensionales. En el caso de Numpy, existe la clase "ndarray" que posee los siguientes atributos:
 1. ndarray.ndim -> Proporciona el número de dimensiones de nuestro array.
 2. ndarray.shape -> Devuelve la dimensión del array, es decir, una tupla de enteros indicando el tamaño del array en cada dimensión. Para una matriz de n filas y m columnas obtendremos (n,m).
 3. ndarray.size -> Es el número total de elementos del array.
 4. ndarray.dtype -> Es un objeto que describe el tipo de elementos del array.
 5. ndarray.itemsize -> devuelve el tamaño del array en bytes.
 6. ndarray.data -> El buffer contiene los elementos actuales del array.

- **Matrices:** Un subtipo especial de array bidimensional de NumPy es la matriz. Una matriz es como una array, excepto que la multiplicación de matrices (y exponenciación) reemplaza la multiplicación elemento a elemento. Las matrices se crean mediante la función `matrix`.
- **Operaciones y otras funciones:** El módulo Numpy contiene todas las operaciones usuales entre arrays como las matemáticas, las lógicas, binarias y demás.

2.3.2. Matplotlib

Matplotlib [8], es un módulo de dibujo de gráficas 2D y 3D, además Matplotlib tiene multitud de librerías entre ellas, pyplot. Dispone de las siguientes funciones principales:

- **figure(num, figsize, dpi, facecolor, edgecolor, frameon)** → Crea una nueva figura, también puede usarse sin argumentos, estos se describen continuación:
 1. num = numeración de la figura, si num = None, las figuras se numeran automáticamente.
 2. figsize = w, h tuplas en pulgadas. Tamaño de la figura
 3. dpi = Resolución de la imagen en puntos por pulgada.
 4. facecolor = Color del rectángulo de la figura.
 5. edgecolor = Color del perímetro de la figura.
 6. frameon = Si es falso, elimina el marco de la figura.
- **subplot(numRows, numCols, plotNum)** → Permite incluir varias gráficas en una única figura. Los argumentos corresponden a:
 1. numRows = Número de filas.
 2. numCols = Número de columnas.
 3. plotNum = Número de gráfica.
- **plot(x, y, linestyle, linewidth, marker)** → Permite incluir varias gráficas en una única figura. Los argumentos corresponden a:
 1. x = Eje x.
 2. y = Eje y.
La única condición es que el tamaño de x y y debe ser el mismo ya que en caso contrario python nos devolverá un fallo de tipo dimesión. También se puede hacer una gráfica sin especificar la coordenada x.
 3. linestyle = color y tipo de dibujar la gráfica.
 4. linewidth = ancho de línea.
 5. marker = Marcador.
- **Otras funciones para añadir texto a las gráficas.**

2.3.3. TkInter

El módulo TkInter o Tk interface [9] es la interfaz estándar de Python de Tk GUI toolkit para Scriptics, que fueron desarrollados por SunLab.

La mayoría de las veces, el módulo Tkinter es todo lo que realmente necesita, pero también hay disponibles varios módulos adicionales. La interfaz Tk está ubicada en un módulo binario llamado tkinter. Este módulo contiene la interfaz de bajo nivel para Tk y nunca debe ser utilizado directamente por programadores de aplicaciones. Por lo general, es una biblioteca compartida (o DLL), pero en algunos casos puede estar vinculada de forma estática con el intérprete de Python.

Además del módulo de interfaz Tk, Tkinter incluye una serie de módulos de Python. Los dos módulos más importantes son el módulo Tkinter en sí mismo y un módulo llamado Tkconstants. El primero importa automáticamente el último, por lo que para usar Tkinter, todo lo que necesita hacer es importar un módulo:

- **from Tkinter import ***

La clase Tk se instancia sin argumentos. Esto crea un widget toplevel de Tk que generalmente es la ventana principal de una aplicación. Cada instancia tiene su propio intérprete Tcl asociado. Otros módulos que brindan soporte a Tk son:

- ScrolledText:
Widget de texto con una barra de desplazamiento vertical integrada.
- tkColorChooser
Diálogo para permitir que el usuario elija un color.
- tkCommonDialog
Clase base para los diálogos definidos en los otros módulos enumerados aquí.
- tkFileDialog
Diálogos comunes para permitir al usuario especificar un archivo para abrir o guardar.
- tkFont
Utilidades para ayudar a trabajar con fuentes.
- tkMessageBox
Acceso a cuadros de diálogo Tk estándar.
- tkSimpleDialog
Diálogos básicos y funciones de conveniencia.
- Tkddnd
Soporte de arrastrar y soltar para Tkinter. Esto es experimental y debería quedar obsoleto cuando se reemplaza por Tk DND.

- turtle
Gráficos de "*Turtle*" en una ventana Tk.

Tkinter presenta también varios métodos para generar sub-ventanas e importar otras funcionalidades no solo de la librería de TkInter, sino también de todo Python.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO

3.1. Calibración de la plataforma

La primera necesidad presente para realizar la elaboración de la plataforma corresponde a encontrar una hipótesis válida para encontrar los equivalentes a valores de lluvia de un grupo de datos de entrada que en este caso sean valores de atenuación en la señal en un enlace de microondas. La figura 3.1 muestra un esquema de la forma en la que esta calibración es ejecutada, tomando como entradas una serie de datos históricos, que al ser interpretados por el algoritmo de aprendizaje que se describirá próximamente, logre generar una función hipótesis.

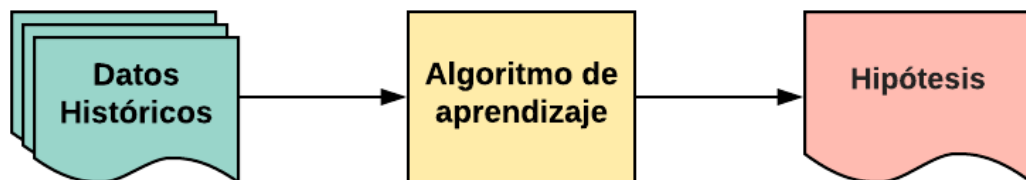


Figura 3.1: Calibración del algoritmo

3.1.1. Obtención de datos

La obtención de datos históricos representa un factor de mucha importancia en el desarrollo del proyecto, ya que solo con datos reales se puede encontrar una hipótesis válida. En un principio se planteó la posibilidad de utilizar datos de un año, el periodo abarcado desde abril del 2017 hasta mayo del 2018 que fue la fecha en la que se realizó la solicitud, por parte del Instituto Meteorológico Nacional, la obtención de los datos de precipitación, en este caso en mm, no presentó ninguna dificultad, sin embargo, por razones fuera de nuestro alcance, los datos de atenuación no fueron posibles de obtener para en el periodo previamente definido, por lo que fue necesario modificarlo.

En cuanto a los datos históricos de atenuación, se realizó un acuerdo en el Instituto Costarricense de Electricidad, para tener acceso a los datos de atenuación de una semana, y debido a las variaciones de precipitación que logramos observar, la semana del 15 al 22 de junio es la que presenta una mayor riqueza en datos. No fue posible obtener los datos resumidos y agrupados en un documento con facilidad de manipulación como una hoja de Excel o un documento de texto, no obstante, estos datos pueden ser obtenidos de una forma gráfica como lo muestra la figura 3.2.

Utilizando la herramienta **Engauge Digitalizer v 10.4** es posible marcar los puntos de un gráfico, los ejes X y Y, y los límites que contienen el gráfico y realizar de esta manera una digitalización de los puntos del gráfico marcados, para la obtención de su equivalente posición en una tabla en formato .csv, de este modo es posible conocer tanto el valor de la atenuación, como la hora específica en la que dicho evento sucedió.

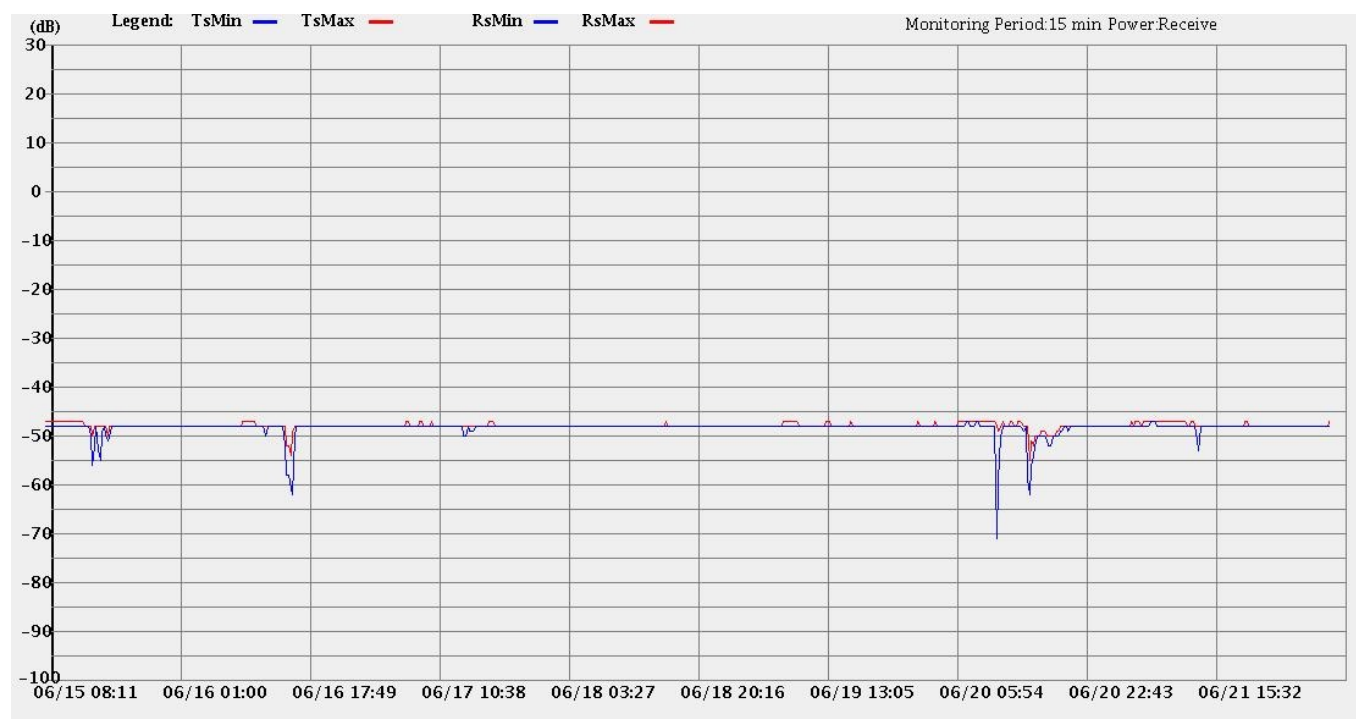


Figura 3.2: Curvas de atenuación suministradas por el ICE

Una vez que se manejan los datos de atenuación y los datos de lluvia en un formato óptimo para su lectura e interpretación, es posible realizar la manipulación correspondiente para que estos sean tratados dentro de un algoritmo de aprendizaje y de esta manera obtener la hipótesis que es el objetivo principal de la calibración. En la figura 3.3 se muestra un esquema de la forma en la que estos datos son interpretados y separados en sub-arreglos de valores numéricos que llegan a formar datos de interés a la hora de representarlos en un gráfico y de interpretarlos en

el algoritmo.

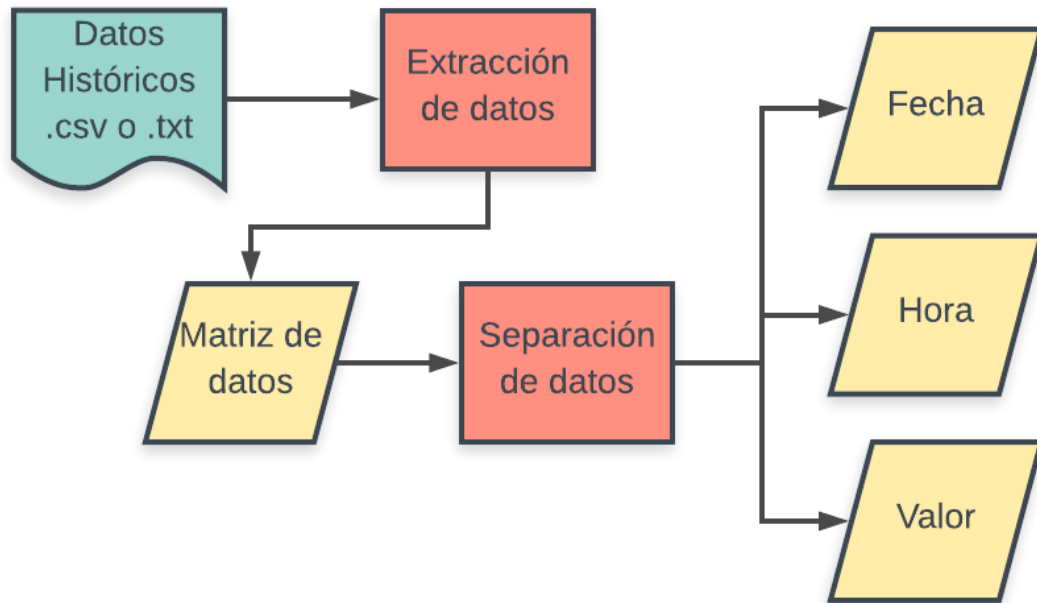


Figura 3.3: Obtención de datos

3.1.2. Algoritmo de aprendizaje

El algoritmo de aprendizaje se implementa en este caso sin conocer cuantas variables se van a manejar, por lo cual, un algoritmo de regresión lineal con múltiple variable es suficientemente bueno para encontrar la hipótesis que vendrá a ser la base del funcionamiento de la plataforma. El algoritmo implementado se describe en la figura 3.4.

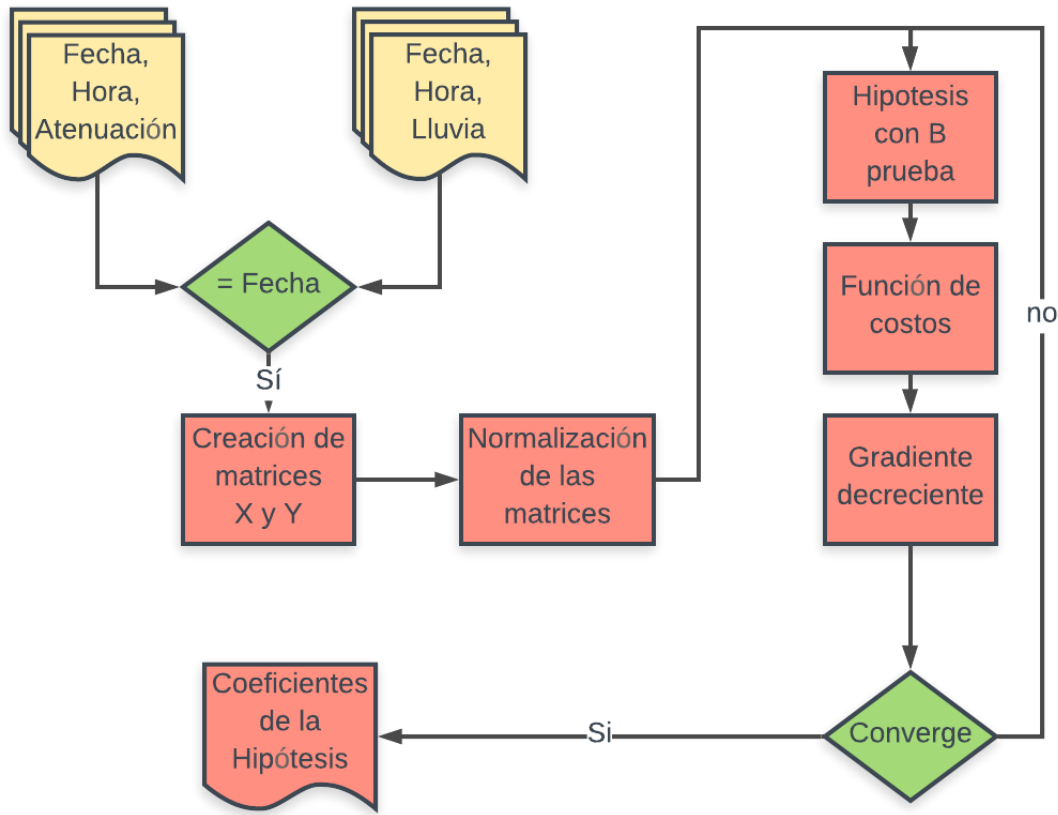


Figura 3.4: Diagrama de flujo de algoritmo de aprendizaje

Al algoritmo lo definen las siguientes funciones:

1. Normalización de las variables

Es importante que las variables estén en una escala similar, ya que de esta manera se asegura una relación con mayor nivel de precisión, la normalización se realiza de la siguiente forma:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{prom}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3.1)$$

2. Hipótesis:

$$H(x) = \beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2^2 + \dots + \beta_n X_n^n \quad (3.2)$$

donde $H(x)$ representa el valor que toma la variable Y , en nuestro caso la lluvia, y β_n representa cada uno de los coeficientes de la función.

En el caso de los datos de entrada que fueron facilitados por el Instituto Costarricense de Electricidad, solo proporcionan una variable X (en este caso atenuación de la señal), por lo cual la función de hipótesis se ve de la forma:

$$H(x) = \beta_0 X_0 + \beta_1 * X_1 \quad (3.3)$$

donde $X(0)$ es igual a 1 y $X(1)$ es el dato de atenuación correspondiente.

3. Función de costos:

$$J(\beta_0, \beta_1) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (h_{\beta}(X^i) - Y^i)^2 \quad (3.4)$$

donde m equivale a el largo del vector de datos de lluvia Y .

4. Gradiente decreciente:

Se repite para un j de 0 a n , donde n equivale al número de variables:

$$\beta_j := \beta_j - \alpha \frac{\partial}{\partial \beta_j} J(\beta_j, \dots, \beta_n) \quad (3.5)$$

En nuestro caso se ve de la forma:

$$\beta_0 := \beta_0 - \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (h_{\beta}(X^i) - Y^i) \quad (3.6)$$

$$\beta_1 := \beta_1 - \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (h_{\beta}(X^i) - Y^i) X^i \quad (3.7)$$

3.1.3. Hipótesis

Gracias al algoritmo del gradiente decreciente explicado anteriormente, se generan las constantes necesarias para formar la función de Hipótesis, esta función puede ser exportada con forma de arreglo o también obtenida como valores de retorno de una función definida en el algoritmo de la calibración.

3.2. Plataforma del sistema de alerta

Una vez realizada la calibración, es posible implementar una plataforma en la que se haga visible el resultado de una predicción obtenida por medio de la aplicación de un valor de atenuación de la señal de un enlace de microondas a la hipótesis obtenida. Sin embargo una plataforma útil y agradable al usuario requiere que sea visible también una serie de información valiosa en contenido informativo y gráfico.

Utilizando la herramienta Tkinter de Python, es posible generar una ventana que a su vez posea una serie de subventanas en las cuales, información gráfica y textual pueda ser mostrada y actualizada en intervalos de tiempo establecidos por el desarrollador. La figura 3.5 muestra la estructura lógica de la plataforma implementada.

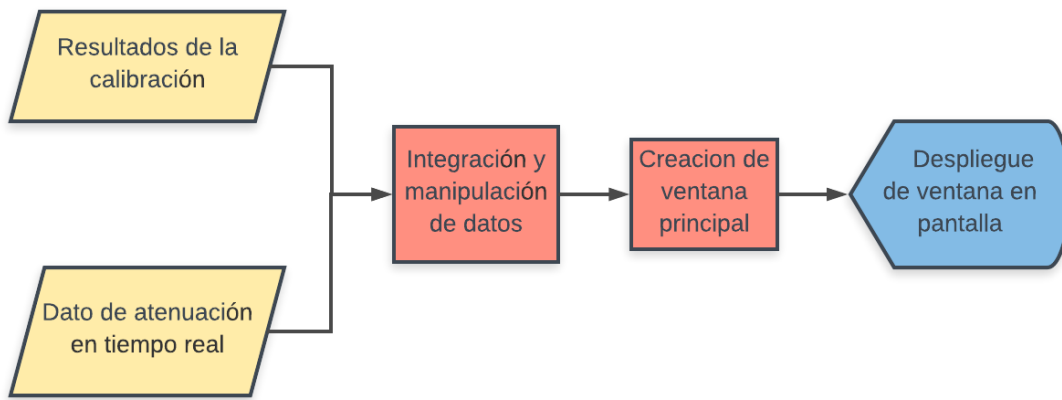


Figura 3.5: Plataforma del sistema de alerta

3.2.1. Integración y manipulación de datos

El acceso a los resultados de la calibración puede hacerse tanto importando los valores de β_n de un archivo de texto exportado por el algoritmo de calibración como también por medio de la llamada a una función directamente de dicho algoritmo.

En tanto a los datos de atenuación en tiempo real, es posible realizar una obtención por medios variados, ya que el lenguaje de programación Python ofrece muchas facilidades en ese sentido. Para la demostración de la plataforma, la obtención de datos en tiempo real se da mediante un generador de datos de prueba que cada cierto tiempo suministra un valor aleatorio de atenuación en el rango de -46 dB hasta los -100 dB, y con un intervalo de tiempo de 15 min, ya que se esperaría que el Instituto Costarricense de Electricidad, llegue a suministrar algún puerto, sitio web o acceso a un servidor en el cual cada 15 minutos se tenga acceso a los valores reales. Para las pruebas de la plataforma, los tiempos se reducirán a 10 segundos. También se espera que el dato de el valor de atenuación de la señal (en dB) venga acompañado obviamente de la fecha correspondiente y la hora de la extracción de la muestra.

3.2.2. Creación de ventana principal

La ventana principal esta formada por una serie de subventanas como se muestra en la figura 3.6, cada una de estas están limitadas a vivir solamente dentro de la ventana principal, sin embargo, pueden realizar tareas por separado y contar con sus propias variables locales, así como la libre utilización de las variables globales que estén declaradas dentro del código.

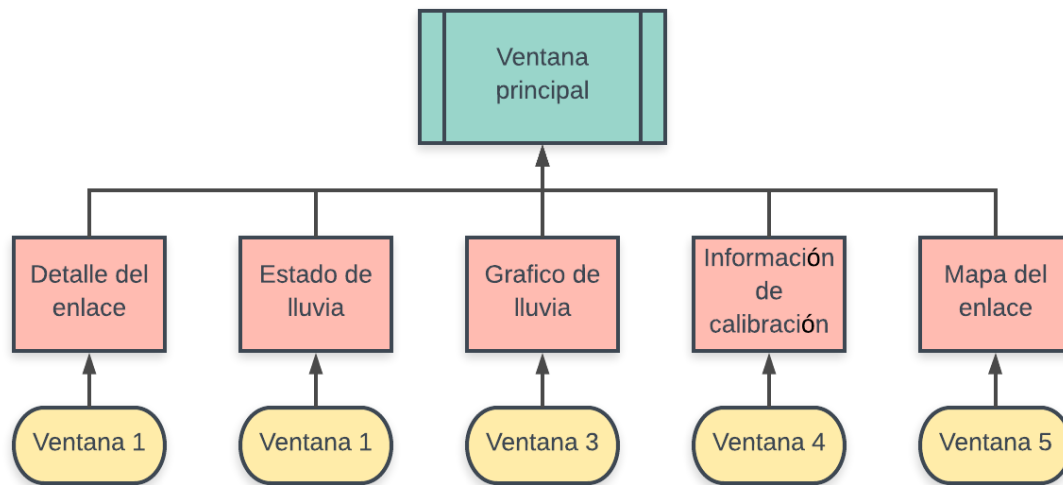


Figura 3.6: Plataforma del sistema de alerta

Detalle del enlace

Esta sub-ventana abarca el primer cuadrante y ejecuta un papel de encabezado informativo de toda la plataforma. Cada una de las sub-ventanas son Frames() de Tkinter, en el caso de el detalle del enlace, todo esta dentro de una función definida, la cual tiene la obligación de ejecutarse cada vez que un dato nuevo ingresa, además esta es interactiva ya que el color del fondo de la ventana cambia constantemente dependiendo de el valor promedio en la precipitación de ese momento, además esta sub-ventana esta sincronizada al reloj interno de la máquina en la que la plataforma se esta ejecutando, y de esta forma, reporta la hora exacta en la que una actualización sucede. La estructura básica se puede ver en la figura 3.7.

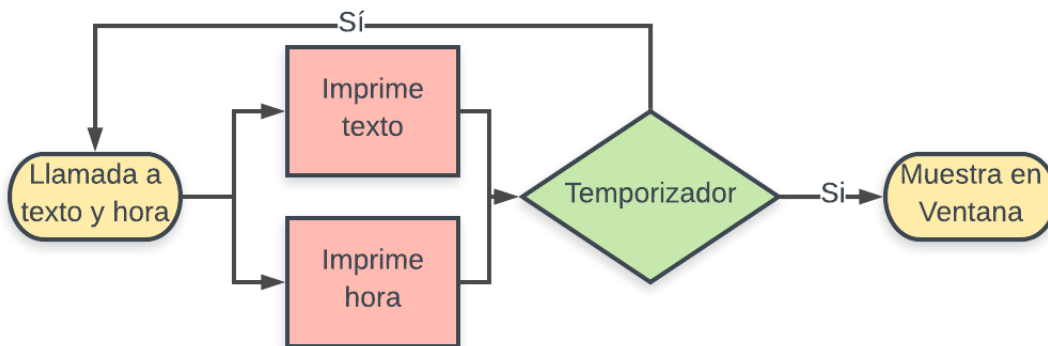


Figura 3.7: Estructura de la primer sub-ventana

Estado de la precipitación

Este segundo Frame() de Tkinter se encarga de presentar de manera textual el estado de la precipitación en el periodo de la última hora. En la figura 3.8 se puede ver la estructura que en realidad es simple. Dentro del ciclo infinito que se forma al crear la ventana principal, hay una serie de variables globales utilizadas en algunas sub-ventanas, una de esas corresponde al valor del promedio de precipitación en la última hora, tomando ese valor, es posible categorizar la intensidad de la precipitación, ya que en la sección del marco teórico se explicó que dependiendo de el valor promedio de precipitación en mm de la última hora, puede darse una clasificación a la intensidad.

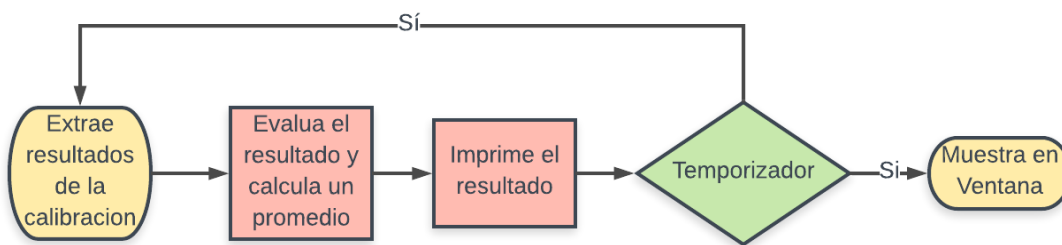


Figura 3.8: Estructura de la segunda sub-ventana

Gráfico de lluvia

La sub-ventana encargada de graficar es la más interactiva, ya que todo el gráfico mostrado se actualiza cada vez que entra un nuevo valor de atenuación. Una vez obtenidas las constantes de la función de hipótesis es posible predecir la cantidad de lluvia equivalente, de este modo se van llenando dos vectores que se llenan de forma en que cuando su capacidad es la máxima (9 espacios), el primer valor en entrar al arreglo, será el primero en salir, de esta manera se asegura

que en el gráfico se estén mostrando únicamente los valores más recientes. Con respecto al valor del promedio, para las primeras 5 iteraciones se calcula sumando los valores y dividiendo entre el valor del contador en ese momento, una vez que se tienen 6 valores en el arreglo, se toman únicamente los últimos 5 y se realiza la división correspondiente, ya una vez que el arreglo esta lleno y los valores van reemplazándose, tomamos desde la posición 8 hasta la 4 y se calcula el promedio con esos valores sumados. La ventana en totalidad es llenada por la impresión de la gráfica y el titulo y el eje x se actualizan dependiendo de la fecha y la hora de el valor de atenuacion recibido. La estructura se puede ver en la figura 3.9.

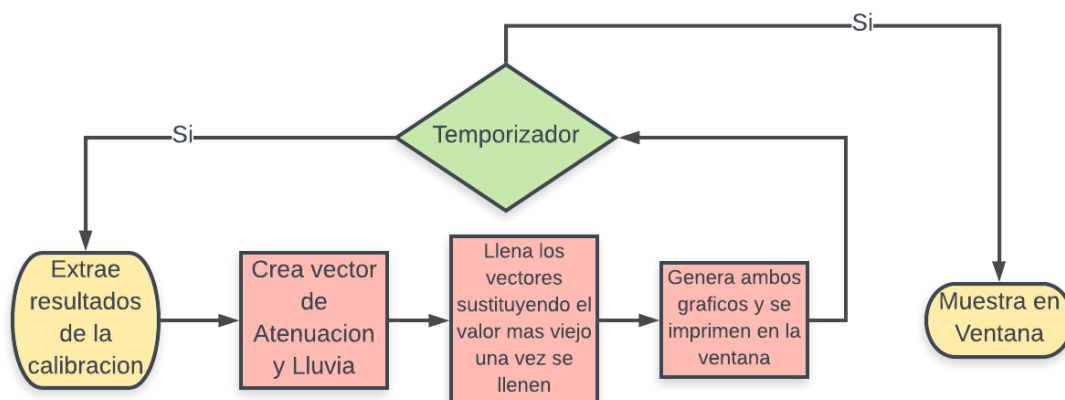


Figura 3.9: Estructura de la tercer sub-ventana

Información de la calibración

Esta sub-ventana muestra cuando fue la ultima calibración que se realizo y que función de hipótesis se llego a crear. Cabe destacar que la función mostrada presenta las constantes obtenidas de la ejecución del algoritmo con los datos normalizados, de modo que si se intenta aplicar a datos sin normalizar el resultado obtenido no seria para nada exacto o aproximado. Por esta razón los datos de entrada y salida, en el método encargado de calcular los valores de precipitación utilizando la predicción obtenida en el algoritmo, son también normalizados después de ingresados e inversamente al salir de la función.

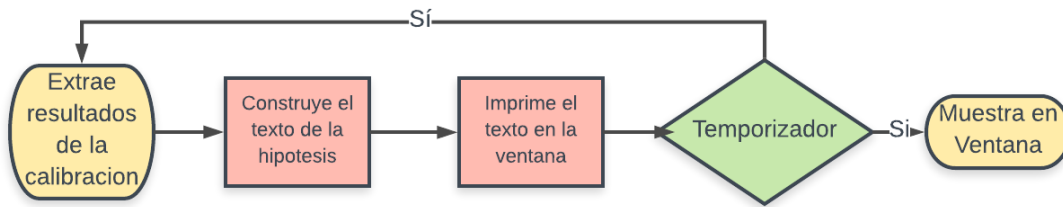


Figura 3.10: Estructura de la cuarta sub-ventana

Obtención del mapa del enlace

Con el objetivo de mejorar la comprensión de la información se facilita un mapa de ubicación de las torres con las que se están trabajando. Para su elaboración se utilizó la información de ubicación geográfica en grados, minutos y segundos aportada por el Instituto Costarricense de Electricidad, la cual fue transformada a coordenadas World Geodetic System de 1984 para facilitar su manipulación. Posteriormente, la información correspondiente a cada torre se colocó en un archivo de texto .txt para ser abierto en el sistema de información geográfica de software libre QGIS como una capa de texto delimitado.

Una vez con los datos en QGIS se procede a guardar el arreglo vectorial como un archivo tipo Keyhole Markup Language .KML el que corresponde a un formato para el intercambio de información geográfica. Es así que, este tipo de archivo puede ser abierto en diversas plataformas, como lo es Google Earth, la cual se emplea para la corroborar que el procedimiento funcione y se el archivo KML corresponda con las torres de comunicación. La estructura de esta ventana se muestra en la figura 3.11

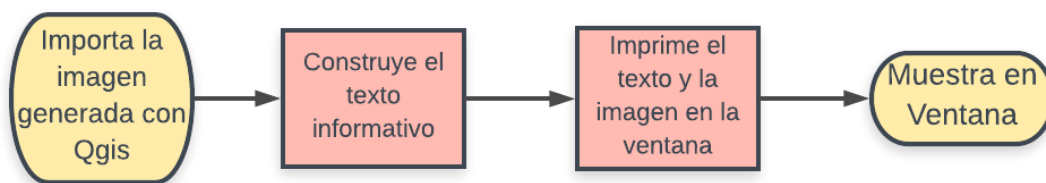


Figura 3.11: Estructura de la quinta sub-ventana

Información de escala de intensidad

Aparte de las cinco sub-ventanas principales que presenta la aplicación, se agrega una ventana informativa que contiene la información de la escala de intensidad de la precipitación [4], esto con el fin de proporcionar una herramienta informativa que ayude a comprender lo que se muestra de manera visual por medio de colores.

3.2.3. Despliegue de ventana

Una vez que las subventanas están configuradas, al ejecutar el algoritmo de la plataforma, se crea un ciclo principal infinito, el cual termina hasta que el usuario llegue a cerrar la aplicación. Cada una de las sub-ventanas internas cuentan con su propio temporizador, y métodos que hacen llamado a todo el Frame() respectivo de cada una de las sub-ventanas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. Calibración de la plataforma

4.1.1. Datos históricos

La figura 4.1 muestra la gráfica de los datos de precipitación suministrados por el Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) ubicado en la Ciudad de la Investigación, en la Universidad de Costa Rica. En estas instalaciones hay una estación meteorológica, la cual fue de gran utilidad para la calibración del enlace de microondas que esta justamente al lado, en el edificio de Ingeniería Eléctrica. Los datos mostrados presentan una separación temporal de 5 minutos y son bastante precisos y puntuales.

Estas muestras representan el valor en mm de lluvia medidos para ese instante. Puede observarse que los mayores saltos se presentaron el 15, 16 y 20 de junio con valores aproximadamente de 3.4 mm, 4.3 mm y 9.6 mm respectivamente.

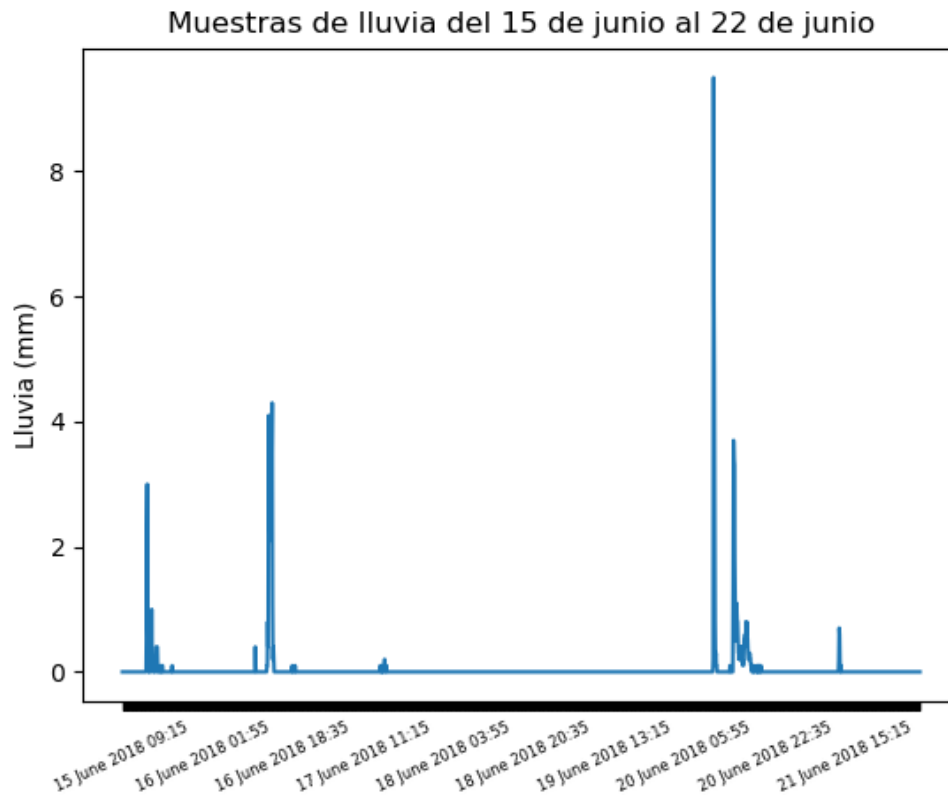


Figura 4.1: Datos de precipitación, periodo del 15 al 22 de junio

Por otra parte, en la figura 4.2 se muestran los datos obtenidos a partir de la digitalización de la gráfica de atenuación suministrada por el Instituto Costarricense de Electricidad, esta gráfica, al haber sido extraída de una imagen y no de valores directamente de una tabla, es mas imprecisa, ya que en algunas ocasiones el digitalizador hace curvas para darle suavidad a la aproximación que realiza, estos valores generan datos que no son precisamente correctos. Sin embargo, por razones fuera de nuestra capacidad, estos fueron los mejores datos reales de atenuación que se lograron encontrar, se pudo encontrar además, que los picos de atenuación negativa se dieron en los mismos días en los que los picos de precipitación sucedieron, de esta manera se logro probar la existencia de una relación directa entre la atenuación de una señal de enlace de microondas y la lluvia que es la causante de esta atenuación.

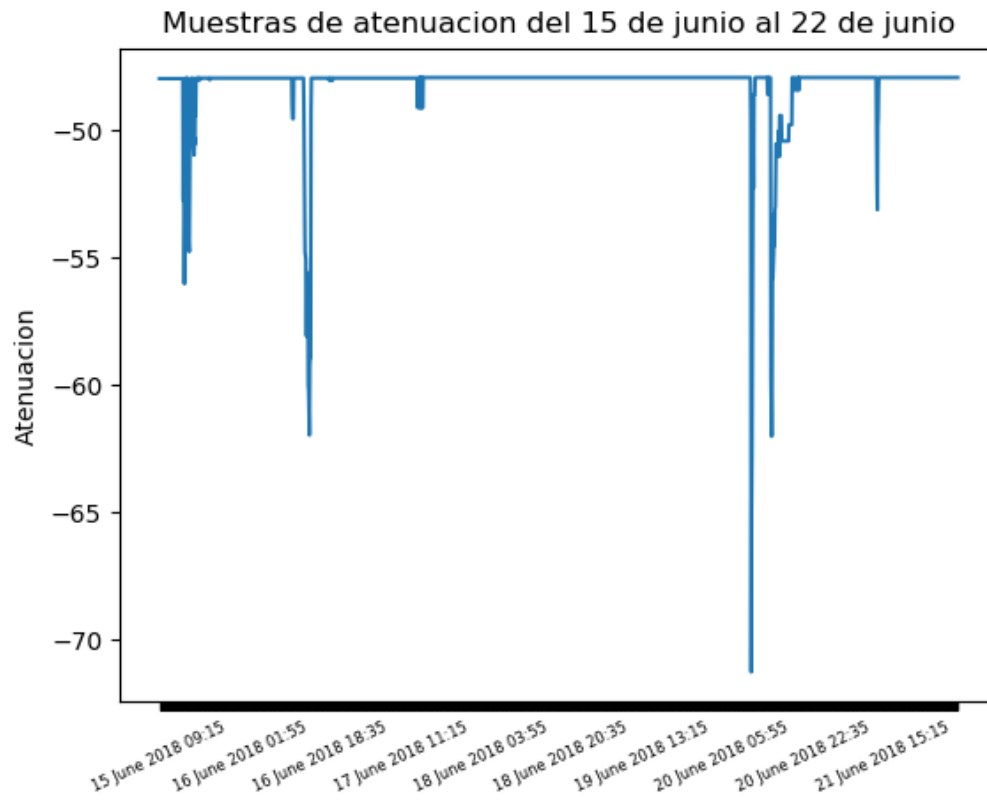


Figura 4.2: Datos de atenuación, periodo del 15 al 22 de junio

La figura 4.3 muestra la relación real que existe entre los datos de precipitación y los datos de atenuacion esta relación se hace notoria ya que los valores de los picos coinciden a lo largo de las 1987 muestras, sin embargo, producto de la poca exactitud que el digitalizador presenta y la variación temporal en la recolección de los datos de atenuacion por parte del Instituto Costarricense de Electricidad, las muestras en su totalidad no llegan a encajar, mas que todo para valores bajos de atenuacion, en los que por motivo de las curvas generadas en la gráfica equivalente digitalizada de los datos de atenuacion, hacen que para datos de precipitación de 0 mm coincidan con datos de atenuacion aun entre los 50 dB y 55 dB.

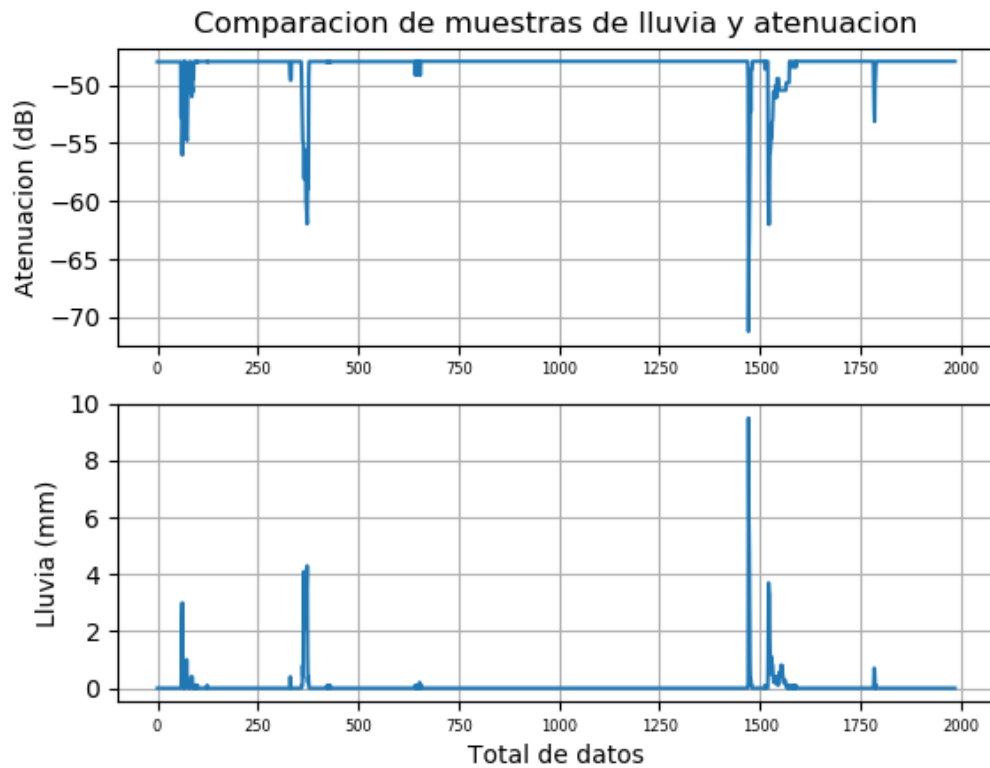


Figura 4.3: Relación entre lluvia y atenuacion

4.1.2. Calibración del algoritmo

La figura 4.4 muestra la dispersión de los datos, al ser la precipitación (mm) el eje Y y la atenuacion (dB) el eje X. En esta gráfica, puede verse como no todos los valores presentan un comportamiento lineal y el peso de las muestras cercanas a los -47 dB y -55 dB y de los 0mm a los 1mm son las que presentan mas cantidad y variaciones inusuales, de los -55 dB a los -60 dB los valores de precipitación correspondientes presentan una gran variación, lo cual puede generar un problema al momento de calcular una aproximación, que en este caso es representada por la función de hipótesis.

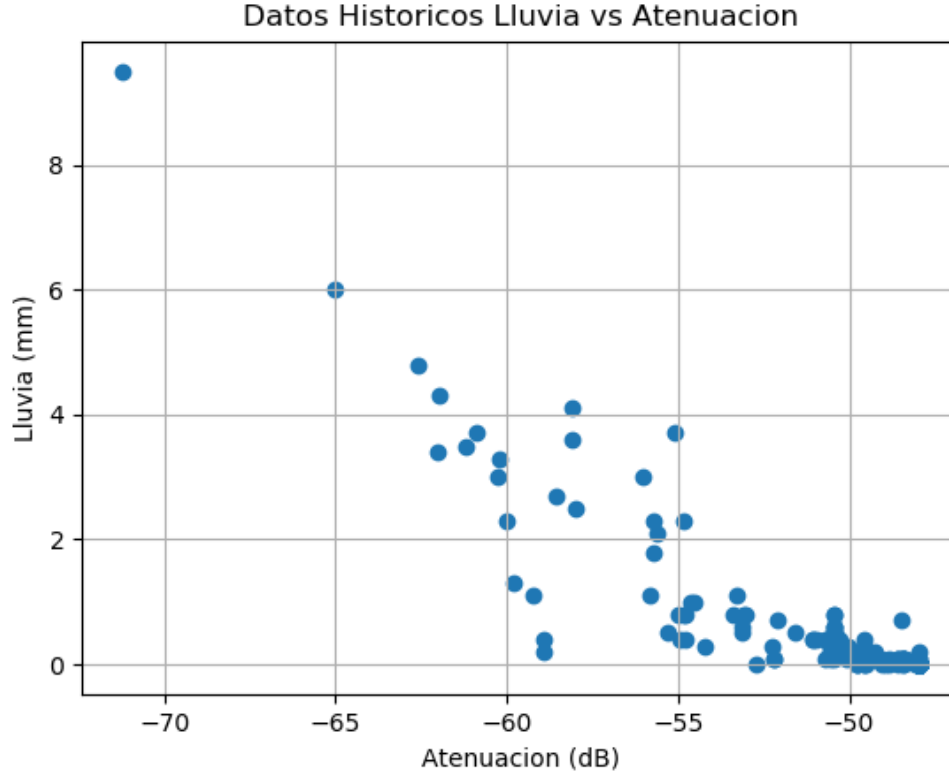


Figura 4.4: Diagrama de dispersión, precipitación con su respectivo valor de atenuación

Los datos anteriores presentan variaciones elevadas con respecto a la escala en la que están expresados, como se planteo anteriormente es necesaria una normalización adecuada de estos valores para lograr una escala de 0 - 1 en los ejes trabajados, la normalizacion se realizo de la siguiente manera:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{prom}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4.1)$$

$$Y_{norm} = \frac{Y - Y_{prom}}{Y_{max} - Y_{min}} \quad (4.2)$$

donde X y Y corresponden a los valores de atenuacion y de precipitación respectivamente.

El resultado al graficar la mejor recta obtenida en la función de hipótesis se muestra en la figura 4.5, y representa la mejor aproximación para todas las pruebas del algoritmo, las variaciones inusuales de los datos obtenidos de la gráfica de atenuacion proporcionada por el Instituto

Costarricense de Electricidad, generan una distribución espacial variada en los datos de atenuación, por lo cual, una aproximación perfecta se hace realmente difícil de obtener.

Si fuera posible la integración de alguna otra variable además de la atenuación la aproximación sería más exacta, ya que esta podría tomar una forma exponencial y no solamente lineal, sin embargo con los datos que se maneja el proyecto, la aproximación lineal fue la implementada en la plataforma. La única forma de mejorar la función de hipótesis, aparte de la normalización de los datos, es ajustando el valor de α , en la función del gradiente decreciente. Inicialmente se planteó para un valor de α bajo de 0.000001, para lo cual, la función no llegó a converger bien y el valor de las constantes generaba una función de hipótesis realmente alejada a lo esperado, fue entonces cuando se implementó para un valor de α alto, de 0.001, obteniendo la aproximación mostrada en la figura 4.5.

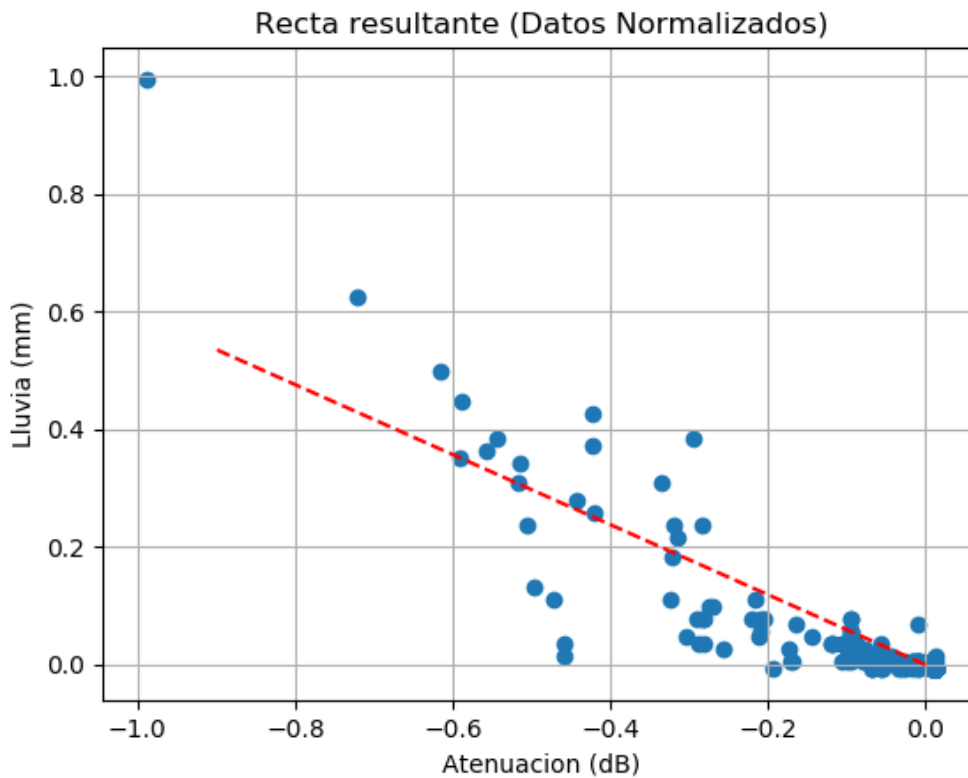


Figura 4.5: Curva de aproximación, mejor resultado de la calibración con $\alpha = 0,01$

4.2. Plataforma

Una vez que se ejecuta la aplicación final, la ventana mostrada en las figuras 4.6 ,4.7, 4.8y 4.9 representa la interfaz gráfica que el usuario tiene para interactuar con la aplicación.

Las gráficas mostradas se actualizan constantemente, justo como se explico en la sección anterior, ademas se puede notar la diferencia de colores entre la figura 4.8 que corresponde al código de colores establecido para un nivel de precipitación moderado y la figura 4.9 que muestra un color en su ventana y gráficos amarillo, el cual corresponde a un nivel de precipitación en la ultima hora superior a 7,5 mm. Estos datos promedio en la ultima hora se pueden ver también de una manera numérica en la sub-ventana que esta sobre las gráficas. Ademas el mapa que detalla la posición de las torres que forman el enlace se ve de una manera clara y los puntos son exactamente los suministrados en la hoja del reporte del diseño del enlace. Para mejorar la comprensión de el concepto visual mostrado en la aplicación, se le agregó un espacio para mostrar las escalas y el código de colores que representa la intensidad de la precipitación.[4]

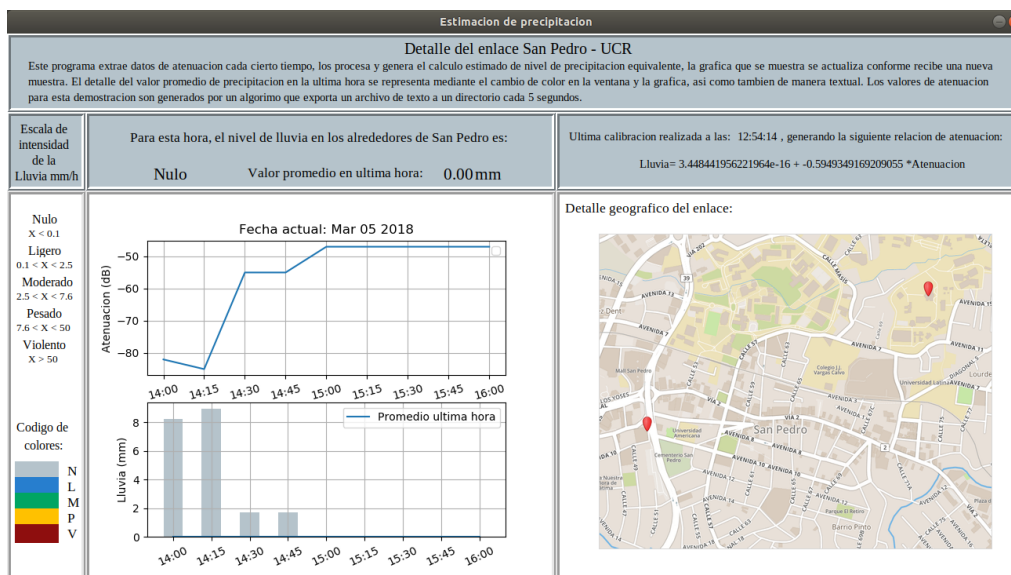


Figura 4.6: Plataforma, promedio de precipitación nulo en la ultima hora

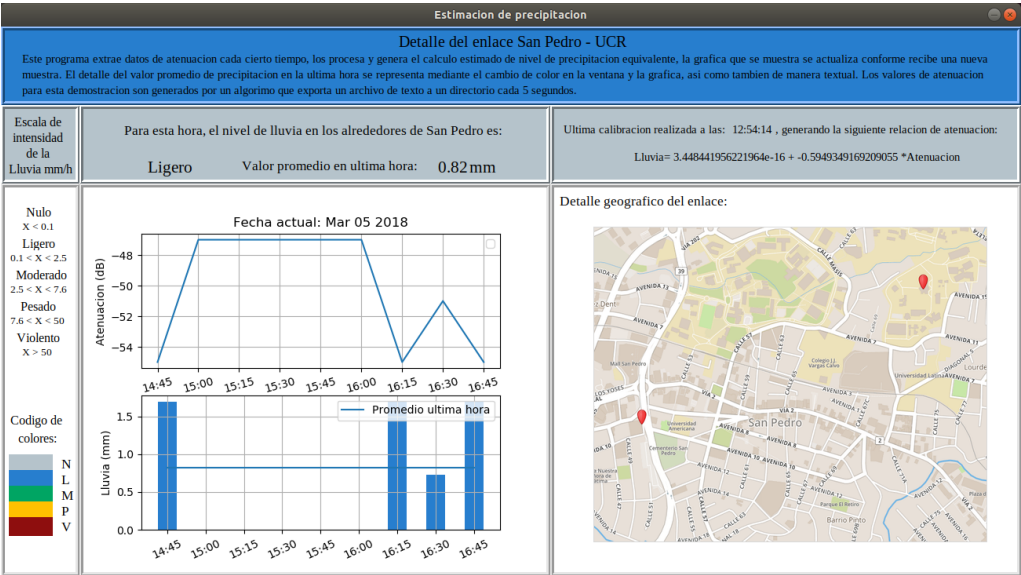


Figura 4.7: Plataforma, promedio de precipitación ligero en la ultima hora

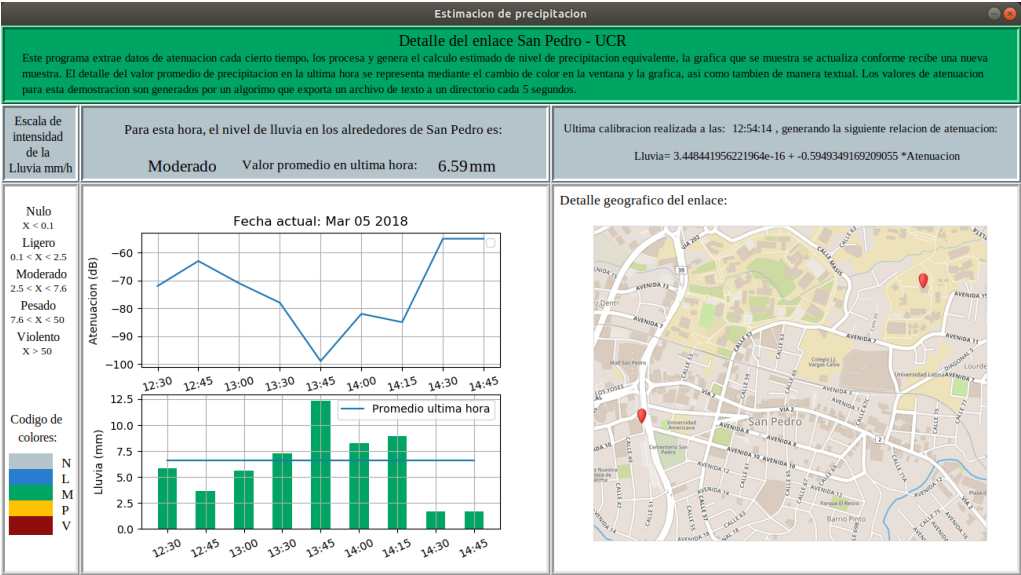


Figura 4.8: Plataforma, promedio de precipitación moderado en la ultima hora

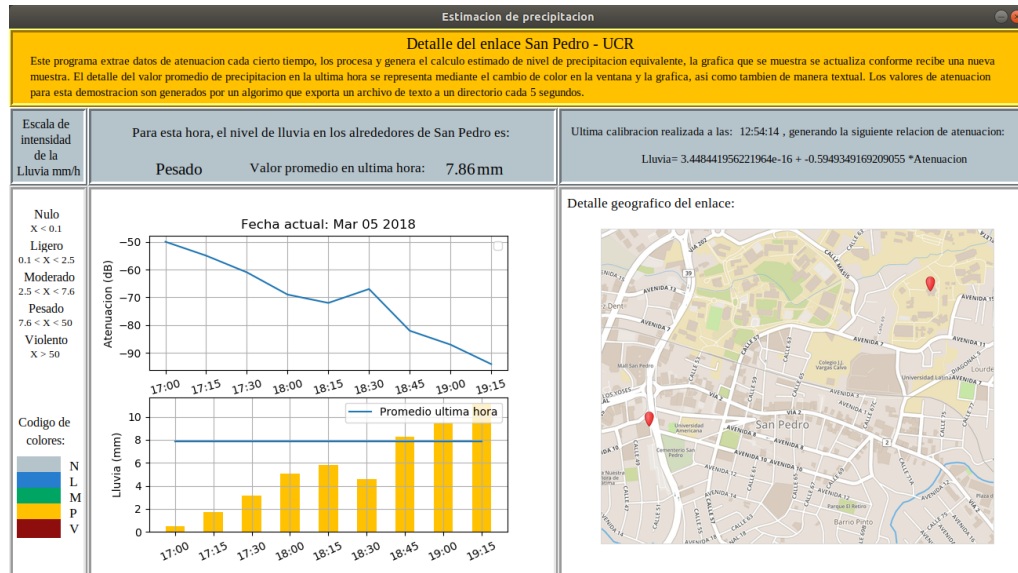


Figura 4.9: Plataforma, promedio de precipitación pesado en la ultima hora

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La precipitación esta relacionada directamente con la atenuacion de las señales en uno o varios enlaces de microondas.
- El método de calibración implementado, permite generar una buena aproximación en cuanto a las predicciones generadas, a pesar de que los datos procesados no sean los mejores.
- La plataforma implementada genera una herramienta útil ya que muestra gráficamente los valores de precipitación precedidos en tiempo real.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar otra calibración con datos de atenuacion mas precisos, ya que si los datos presentan variaciones inesperadas por fallos en la recolección de los datos, el sistema de alerta se ve afectado en su totalidad.
- Se recomienda liberar memoria en el código, ya que la plataforma puede llegar a fallar.
- Se recomienda un ajuste preciso de la constante α ya que de esto depende que la calibración llegue a converger o, de no ser así diverja y genere hipótesis realmente alejadas de lo esperado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Solano, «Regiones y subregiones climaticas de costa rica»,
- [2] V. T. Chow, *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill, 1996.
- [3] F. J. A. Mijares, *Fundamentos de hidrología de superficie*. reimpresa, 1989.
- [4] N. M. Library y Archive, «Water in the atmosphere», 2007.
- [5] E. Sabogal Gómez, *Atenuación por lluvia*, first. Bogotá, D.C., Colombia: Ernesto Sabogal, 2010.
- [6] *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods*, The ITU Radiocommunication Assembly, 2005.
- [7] N. community, *Numpy user guide*, NumPy community, abr. de 2018.
- [8] M. community, *Matplotlib*, mar. de 2018.
- [9] J. W. Shipman. (dic. de 2013). Tkinter 8.5 reference: A gui for python, dirección: <http://www.nmt.edu/tcc/help/pubs/tkinter/web/index.html>.