



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MODELAMIENTO DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA POTENCIA RECIBIDA DE UN ENLACE INALÁMBRICO UTILIZANDO LA BANDA NO LICENCIADA U-NII CON TECNOLOGÍA DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE: UN EXPERIMENTO PILOTO EN GUAYAQUIL.”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

JOSÉ LUIS ALONSO ANGUIZACA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por haber forjado en mí el espíritu del estudio y la investigación. A mi dios por haberme dado el mejor regalo de este mundo, mi hija, que es la luz que guía mi camino y me da esperanzas de que vendrán días mejores. A mi esposa, que me ha brindado su apoyo incondicional en todo momento. A mi hermana, que es el fiel reflejo de mi madre, por su constante preocupación y cuidado en la salud de nuestro padre.

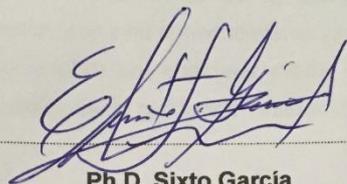
Agradezco al profesor Ph.D. Boris Ramos por ser mi director y guía en este proyecto de titulación. A la Ing. Tanny Chávez por su amistad pura y sincera, apoyándome con sus conocimientos en mi labor investigativa. A mi grupo de estudio de la maestría, con el cual logramos cultivar una gran amistad en cada reunión, en cada examen y en cada materia, siempre nos complementábamos.

Agradezco a mi amigo, M.Sc. Néstor Arreaga por sus buenos consejos, fomentando en mí el ímpetu para seguir preparándome y obtener un título de cuarto nivel. Al profesor PhD. Carlos Monsalve por su confianza y apoyo al darme su recomendación escrita para ingresar a esta maestría. A mi amiga la Ing. Maricela Freire, por sus consejos en el desarrollo de esta última etapa de mi proyecto. A mis amigos del grupo del proyecto de lluvias M.Sc. Ángel Vera, M.Sc. Christopher Reyes y M.Sc. Wendy Plata por su colaboración en la consecución de este trabajo investigativo. A mis evaluadores, M.Sc. Édison del Rosario y M.Sc. Vladímir Sánchez, por ser excelentes personas, siempre apoyándome con sus comentarios.

DEDICATORIA

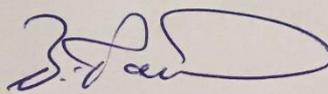
Dedico este trabajo de titulación a Dios por permitirme día a día seguir luchando por cumplir mis sueños y objetivos. A mi querida madre que en paz descansa y tanta falta nos hace a mí, a mi hermana y a mi padre. Mi madre, que le hubiera gustado verme que me sigo preparándome y con ello cumplir con la promesa que efectué en mi discurso por la obtención de mi título de tercer nivel, en la que mencione como visionario que haría una maestría con el pasar del tiempo y ahora lo estoy cumpliendo.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



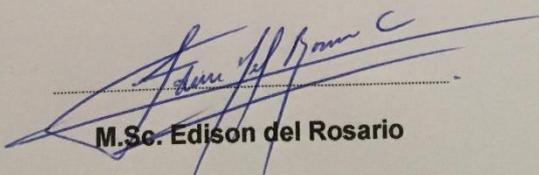
Ph.D. Sixto García

Subdecano de la FIEC



Ph.D. Boris Ramos

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



M.Sc. Edison del Rosario

Miembro PRINCIPAL del Tribunal

DECLARACIÓN EXPRESA

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



.....
José Luis Alonso Anguizaca

RESUMEN

En vista de la diversidad de climas en el Ecuador y en especial a la zona metropolitana de Guayaquil [21] y Durán, donde se experimentan diferentes microclimas en cualquier hora del día, para estudiar el impacto que ejercen las variables ambientales sobre la medición de potencia, se implementó un enlace inalámbrico entre la ESPOL y UNIVISA Durán, utilizando la banda no licenciada U-NII. Por lo cual, se realizaron estudios primarios en ambiente simulado desarrollado en el laboratorio de telecomunicaciones para luego ser implementado en un ambiente exterior utilizando tecnología de Radio Definido por Software (SDR).

Las variables ambientales que usadas como base de este estudio son: La temperatura, humedad relativa, sensación térmica y radiación solar, entre otras. Cabe mencionar que la información de estas variables ambientales se obtuvo de las estaciones meteorológicas del INAMHI, ubicadas en el Liceo Cristiano en la ciudad de Guayaquil y Divino Niño en la ciudad de Durán, que se encuentran en el trayecto del enlace inalámbrico implementado.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA.....	II
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XX
CAPÍTULO 1	1
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1 Descripción del Tema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Metodología de la Investigación	4
1.5 Resultados Esperados	4
1.6 Elementos Diferenciadores o Innovadores de la Investigación	4
CAPÍTULO 2	6
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	6
2.1 Definición de la tecnología SDR	6
2.2 Definición NI-USRP 2921	8
2.2.1 Especificaciones técnicas NI-USRP 2921	10
2.2.2 Sensibilidad al calor en los NI-USRP 2921	10
2.3 Definición de software grafico G (LabVIEW)	12
2.4 Herramientas de libre acceso utilizadas en el experimento	16
2.4.1 Arduino Uno	16

2.4.2 Ubidots	24
2.5 Equipos de medición para las variables del experimento	33
2.5.1 Termómetro digital	33
2.5.2 Sensores de temperatura	35
2.5.3 Enrutador MikroTik	39
2.5.4 Analizador de frecuencias FieldFox	44
2.5.5 Pluviómetros Texas Instruments	51
2.6 Diagrama Esquemático del enlace inalámbrico	62
2.6.1 Enlace simulado en el laboratorio	63
2.6.2 Enlace inalámbrico ESPOL - Durán	64
2.7 Esquema de transmisión y recepción en ambiente exteriores	66
2.7.1 Equipos NI-USRP 2921 en la transmisión y recepción	66
2.7.2 Equipos NI-USRP 2921 en la recepción y router MikroTik en la transmisión.	67
2.8 Definición de variables obtenidas del sistema de medición del enlace.	69
2.8.1 Temperatura en la caseta de recepción	69
2.8.2 Potencia recibida	71
2.8.3 Atenuación por lluvia	72
CAPÍTULO 3	74
3. VARIABLES AMBIENTALES Y LA PROPAGACIÓN DE UNA SEÑAL INALÁMBRICA	74
3.1 Consideraciones generales en la propagación de la señal	74
3.2 Definición de las variables ambientales	82
3.2.1 Temperatura en el ambiente	82
3.2.2 Humedad relativa	83
3.2.3 Sensación térmica	86
3.2.4 Radiación solar	92
3.3 Definición de las variables ambientales complementarias	95

3.3.1 Precipitación acumulada	95
3.3.2 Presión atmosférica	97
3.3.3 Velocidad del viento	99
3.4 Efecto de las variables ambientales en la propagación de la señal.	101
3.4.1 Efecto de la temperatura en la propagación de la señal	102
3.4.2 Efecto de la humedad relativa en la propagación de la señal.	103
3.4.3 Efecto de la sensación térmica en la propagación de la señal	104
3.4.4 Efecto de la radiación solar en la propagación de la señal.	107
CAPÍTULO 4	109
4. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	109
4.1 Recolección de la información del experimento	109
4.1.1 Por el sistema de medición desarrollado en LabVIEW	109
4.1.2 Por registrador de datos de los pluviómetros instalados a lo largo del enlace.	111
4.1.3 Obtener los datos de las variables ambientales	113
4.2 Procesamiento de la información según esquema de recolección.	114
4.3 Análisis de datos obtenidos del procesamiento	116
4.4 Comportamiento de las señales analizadas en el experimento en tiempo real con lluvia.	120
4.5 Comportamiento de las señales analizadas en el experimento en tiempo real sin lluvia.	122
4.6 Análisis estadístico de las relaciones entre variables	126
4.6.1 Análisis estadísticos descriptivos	127
4.6.2 Correlación entre las variables	130

4.6.3	Análisis de regresión lineal	134
4.6.4	Identificación de las relaciones entre variables	135
4.6.5	Diagrama de dispersión de las variables relacionadas	135
4.6.6	Identificación de los modelos matemáticos de comportamiento	136
4.7	Definición de herramienta estadística SPSS	137
CAPÍTULO 5	141
5.	DESARROLLO DE MODELOS	141
5.1	Antecedentes	141
5.2	Modelamiento matemático de las variables relacionadas	141
5.2.1	Relación temperatura ambiente con respecto a la potencia recibida.	142
5.2.2	Relación humedad relativa con respecto a la potencia recibida.	160
5.2.3	Relación radiación solar con respecto a la potencia recibida.	178
5.2.4	Relación sensación térmica con respecto a la potencia recibida.	196
5.3	Validación de los modelos desarrollados mediante análisis de correlación.	212
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	215
BIBLIOGRAFÍA	221
ANEXOS	229

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ámbito de la tecnología SDR en el mercado de las Telecomunicaciones	7
Figura 2.2. Diagrama de bloques funcionales de la tecnología SDR.	7
Figura 2.3. NI-USRP 2921 parte frontal	9
Figura 2.4. Computadores listos para operar con los NI-USRP 2921.....	9
Figura 2.5. Interior de los equipos NI-USRP 2921	11
Figura 2.6. Circuito de un Oscilador de cuarzo	12
Figura 2.7. Oscilador de cuarzo (TCXO)	12
Figura 2.8. Productos de la National Instruments	13
Figura 2.9. Panel frontal de un vi	14
Figura 2.10. Diagrama de bloques de un vi	15
Figura 2.11. Tipos de datos para LabVIEW	15
Figura 2.12. Plataformas de libre acceso	16
Figura 2.13. Arduino UNO con sensor de temperatura	17
Figura 2.14. Arduino UNO reconocido por Windows	18
Figura 2.15. Arduino UNO con su monitor serial	19
Figura 2.16. Software IDE Arduino	20
Figura 2.17. Rutina de programación en el Arduino UNO	20
Figura 2.18. Plataforma electrónica Arduino UNO	21
Figura 2.19. Medición de temperatura con Arduino UNO	21
Figura 2.20. herramienta VI Package Manager	22
Figura 2.21. Vi de arduino en LabVIEW	22
Figura 2.22. Vi. Panel frontal en LabVIEW	23
Figura 2.23. Diagrama de Bloques en LabVIEW y sensor de temperatura	23
Figura 2.24. Vi. Panel frontal, en LabVIEW, versión mejorada	24
Figura 2.25. Vi. Diagrama de Bloques, en LabVIEW, versión mejorada ...	24

Figura 2.26. Herramienta de Ubidots	25
Figura 2.27. Configuración de arduinos y LabVIEW en la herramienta de Ubidots	26
Figura 2.28. Configuración de LabVIEW en la herramienta de Ubidots ...	27
Figura 2.29. Valores de temperatura publicada en nube Ubidots	27
Figura 2.30. Acceso a las API de la herramienta Ubidots	28
Figura 2.31. Sentencia configurada en la herramienta Ubidots	28
Figura 2.32. Eventos de alerta configurado en herramienta	29
Figura 2.33. Configuración de Eventos paso a paso en Ubidots	29
Figura 2.34. Mensaje de alerta de la herramienta Ubidots	30
Figura 2.35. Tablero de visualización de las variables en Ubidots	30
Figura 2.36. Costo de la herramienta Ubidots	31
Figura 2.37. Error de lectura del arduino UNO que publica	31
Figura 2.38. Vi para la publicación de la temperatura en Ubidots	32
Figura 2.39. Vi diagrama de bloques de la temperatura en Ubidots	32
Figura 2.40. Consultas a la herramienta Ubidots	33
Figura 2.41. Termómetro digital, lectura de temperatura y humedad relativa. Hora: 8 am.	33
Figura 2.42. Sensor de temperatura LM35	36
Figura 2.43. Montaje del Sensor de temperatura LM35 en una placa arduino UNO	36
Figura 2.44. Sensor de temperatura DS18B20	37
Figura 2.45. Lectura del sensor de temperatura DS18B20	37
Figura 2.46. Montaje del Sensor de temperatura DS18B20 en un arduino UNO	38
Figura 2.47. Montaje Real del Sensor de temperatura DS18B20 en una placa de arduino	38
Figura 2.48. Mikrotik Metal 5SHPn	39
Figura 2.49. Implementos adicionales para Mikrotik Metal 5SHPn	40

Figura 2.50. Especificaciones técnicas del Mikrotik Metal 5SHPn	40
Figura 2.51. Especificaciones inalámbricas del Mikrotik Metal 5SHPn	41
Figura 2.52. Herramienta WinBox versión 3.7 para la configuración del Mikrotik Metal 5SHPn	41
Figura 2.53. Pantalla de configuración del Mikrotik Metal 5SHPn	42
Figura 2.54. Configuración del ancho de banda y frecuencia de operación del enlace inalámbrico con Mikrotik Metal 5SHPn.	43
Figura 2.55. Enlace inalámbrico punto a punto con Mikrotik Metal 5SHPn	43
Figura 2.56. Equipo analizador de frecuencias FieldFox N9916A	45
Figura 2.57. Principales parámetros de configuración del Equipo analizador de frecuencias Fieldfox N9916A	45
Figura 2.58. Montaje del Equipo FieldFox N9916A	47
Figura 2.59. Lectura en el Equipo FieldFox N9916A	47
Figura 2.60. Lectura de potencia con el Equipo FieldFox N9916A	48
Figura 2.61. Comportamiento de la potencia con lecturas cada 5 minutos	49
Figura 2.62. Comportamiento de la potencia por el lapso de 4 horas con 45 minutos	50
Figura 2.63. Toma de lecturas con el Equipo FieldFox cada 5 minutos	51
Figura 2.64. Pluviómetro Texas Instruments	52
Figura 2.65. Interior del pluviómetro Texas Instruments	53
Figura 2.66. Principios del pluviómetro	54
Figura 2.67. Caída de las gotas de lluvias en los pluviómetros	54
Figura 2.68. Registrador de datos EL-USB-5,	55
colocado en el pluviómetro.	
Figura 2.69. Configuración de Registrador de datos EL-USB-5	56
Figura 2.70. Información del Registrador de datos EL-USB-5	57

Figura 2.71. Información en archivo texto	58
Figura 2.72. Tips o eventos censados en el pluviómetro de Durán	59
Figura 2.73. Instalación de los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico entre la ESPOL y Durán	61
Figura 2.74. Distancia de los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico entre la ESPOL y Durán.	62
Figura 2.75. Montaje del enlace inalámbrico simulado	64
Figura 2.76. Montaje del enlace inalámbrico en el exterior	65
Figura 2.77. Montaje del enlace inalámbrico con equipos NI-USRP 2921 en las casetas de telecomunicaciones	67
Figura 2.78. Frecuencia de operación del enlace inalámbrico con MikroTik Metal 5SHPn.	68
Figura 2.79. Montaje del enlace inalámbrico con equipos NI-USRP 2921 y MikroTik en las casetas de telecomunicaciones.	69
Figura 2.80. Lecturas de potencia recibida influenciada por cambios de temperatura en caseta de recepción	70
Figura 2.81. Sistema de medición de potencia personalizado para el experimento	71
Figura 2.82. Tasa de lluvia de acuerdo a sus eventos de lluvia	72
Figura 2.83. Enlace inalámbrico influenciado por eventos de lluvia	73
Figura 3.1. Enlace inalámbrico en google earth	75
Figura 3.2. Enlace inalámbrico con la herramienta radio mobile	75
Figura 3.3. Enlace inalámbrico con pérdidas por presencia de lluvias	77
Figura 3.4. Enlace inalámbrico con pérdida en espacio libre	80
Figura 3.5. Señal aleatoria o ruido	81
Figura 3.6. Señal original y copias recibidas	81
Figura 3.7: Ejemplo de propagación multitrayecto	81
Figura 3.8: Relación entre las variables de temperatura y potencia recibida	83

Figura 3.9: Relación entre las variables de humedad relativa y potencia recibida	84
Figura 3.10: Direcciones de vientos alisios en la zona Tórrida influentes en el clima del Ecuador	85
Figura 3.11: Relación entre las variables de temperatura y la humedad relativa	86
Figura 3.12: Ejemplo de la sensación térmica	87
Figura 3.13: Comportamiento de la sensación térmica por frío	90
Figura 3.14: Comportamiento de la sensación térmica por calor	91
Figura 3.15: Radiación solar que ingresa al planeta	92
Figura 3.16: Comportamiento de la radiación solar con respecto a la potencia recibida	93
Figura 3.17: Ciclo hidrológico con las variables ambientales	94
Figura 3.18: Precipitaciones por lluvias acumuladas en el pluviómetro de la ESPOL.	96
Figura 3.19: Diferencias de presión atmosférica	98
Figura 3.20: Circulación general de la atmosfera	98
Figura 3.21: Viento alisios en la zona Tórrida	99
Figura 3.22: Rosa de los vientos	100
Figura 3.23: Atenuación de la potencia recibida	101
Figura 3.24: Efecto de la temperatura en potencia recibida	102
Figura 3.25: Efecto de la humedad relativa en potencia recibida	104
Figura 3.26: Comportamiento de la variable de la velocidad viento	105
Figura 3.27: Comportamiento de la variable la sensación térmica por efecto del frío.	105
Figura 3.28: Comportamiento de la variable la sensación térmica por efecto del calor	106
Figura 3.29: Sensación térmica por efecto del calor y los aportes de las variables de temperatura y humedad relativa	106

Figura 3.30: Influencia de la sensación térmica por efecto del calor en la señal de la potencia recibida	107
Figura 3.31: Comportamiento de la radiación solar con respecto a la temperatura del medio ambiente	108
Figura 3.32: Lectura de potencia recibida en el receptor influenciada por la radiación solar	108
Figura 4.1: Sistema de medición de la potencia recibida y de la temperatura de la caseta de recepción	110
Figura 4.2: Lectura de datos de potencia recibida y temperatura	111
Figura 4.3: Registrador de datos para sucesos de lluvia	112
Figura 4.4: Datos grabados en el software EasyLogUSB	112
Figura 4.5: Archivo de texto con sucesos de lluvia	113
Figura 4.6: Base de datos generada por estación meteorológica Divino Niño en Durán.....	114
Figura 4.7: Distribución de las precipitaciones en el mes de abril	117
Figura 4.8: Potencia recibida del día 18 de abril del 2016	118
Figura 4.9: Precipitación del día 18 de abril del 2016	118
Figura 4.10: Atenuación del enlace inalámbrico punto a punto del día 18 de abril del 2016.	119
Figura 4.11: Comportamiento de la potencia recibida y la influencia de las variables ambientales.	119
Figura 4.12: Comportamiento de la potencia recibida para el 23 de abril del 2016	120
Figura 4.13: Precipitaciones del día 23 de abril del 2016	121
Figura 4.14: Atenuación del enlace para el día 23 de abril del 2016	121
Figura 4.15: Lectura de la potencia recibida. 19 de abril del 2016	122
Figura 4.16: Lectura de la potencia recibida y temperatura en la caseta de recepción. 19 de abril del 2016.....	123
Figura 4.17: Lectura de la potencia recibida y la temperatura	124

en el medio ambiente. 19 de abril del 2016.	
Figura 4.18: Humedad relativa y la potencia recibida	124
19 de abril del 2016.	
Figura 4.19. Presión atmosférica y la potencia recibida.	125
19 de abril del 2016.	
Figura 4.20. Radiación solar y la potencia recibida.	125
19 de abril del 2016.	
Figura 4.21. Lectura de la potencia recibida. 20 de abril del 2016	126
Figura 4.22: Tipos de curtosis	129
Figura 4.23. Correlaciones positivas, negativas y nulas	131
Figura 4.24. Diagrama de dispersión en condiciones ideales	136
Figura 4.25. Gráficas del comportamiento de las variables	137
Figura 4.26. Software estadístico SPSS – vista de datos	138
Figura 4.27. Software estadístico SPSS – vista de variables	139
Figura 4.28. Algoritmos de análisis estadístico en SPSS	139
Figura 5.1. Relación T vs P	142
Figura 5.2. Diagrama de dispersión T vs P	144
Figura 5.3. Diagrama de dispersión segmentado T vs P	145
Lluvias = 1.	
Figura 5.4. Distribución de datos observados del modelo P vs T	146
Figura 5.5. Diagrama de dispersión segmentado P vs T	147
Lluvias = 0.	
Figura 5.6. Distribución de los datos observados del modelo P vs T	148
Figura 5.7. Comportamiento de los modelos matemáticos P vs T	151
en forma resumida.	
Figura 5.8. Diagrama de dispersión en 3D T - P – AP	152
Figura 5.9. Comportamiento de las variables de temperatura	152
y atenuación de la potencia recibida.	
Figura 5.10. Diagrama de dispersión T vs AP	155

Figura 5.11. Diagrama de dispersión segmentado T vs AP	156
Lluvias = 1.	
Figura 5.12. Distribución de los datos observados del modelo T vs AP ..	157
Figura 5.13. Diagrama de dispersión segmentado T vs AP	157
Lluvias = 0.	
Figura 5.14. Distribución de los datos observados del modelo	159
AP vs T.	
Figura 5.15. Comportamiento de los modelos matemáticos AP vs T	160
en forma resumida.	
Figura 5.16. Relación HR vs P	160
Figura 5.17. Diagrama de dispersión HR vs P	162
Figura 5.18. Diagrama de dispersión HR vs P. Lluvias = 1	164
Figura 5.19. Distribución de los datos observados del modelo HR vs P ..	165
Figura 5.20. Diagrama de dispersión P vs HR. Lluvias = 0	166
Figura 5.21. Distribución de datos del modelo P vs HR	167
Figura 5.22. Comportamiento de los modelos matemáticos HR vs P	168
en forma resumida.	
Figura 5.23. Diagrama de dispersión en 3D HR - P – AP	169
Figura 5.24. Comportamiento de las variables de la humedad	170
relativa y atenuación de la potencia recibida.	
Figura 5.25. Diagrama de dispersión HR vs AP	172
Figura 5.26. Diagrama de dispersión HR vs AP. Lluvias = 1	173
Figura 5.27. Distribución de datos del modelo HR vs AP	174
Figura 5.28. Diagrama de dispersión AP vs HR. Lluvias = 0	175
Figura 5.29. Distribución de los datos observados del modelo	176
AP vs HR.	
Figura 5.30. Comportamiento de los modelos matemáticos	177
HR vs AP en forma resumida	
Figura 5.31. Relación RS vs P	178

Figura 5.32. Diagrama de dispersión RS vs P	180
Figura 5.33. Diagrama de dispersión RS vs T total	181
y con presencia de lluvias.	
Figura 5.34. Diagrama de dispersión RS vs P. Lluvias = 1	182
Figura 5.35. Distribución de los datos observados del modelo	184
RS vs P.	
Figura 5.36. Diagrama de dispersión RS vs P. Lluvias = 0.	185
Figura 5.37. Distribución de los datos observados del modelo	186
P vs RS.	
Figura 5.38. Resumen de gráficas los modelos RS vs P	187
Figura 5.39. Diagrama de dispersión en 3D, RS - P – AP	188
Figura 5.40. Diagrama de dispersión RS vs AP	190
Figura 5.41. Diagrama de dispersión RS vs AP. Lluvias = 1	191
Figura 5.42. Distribución de los datos observados del modelo	192
RS vs AP.	
Figura 5.43. Diagrama de dispersión RS vs AP. Lluvias = 0.	193
Figura 5.44. Distribución de datos observados del modelo	194
AP vs RS.	
Figura 5.45. Resumen de gráficas los modelos RS vs P	195
Figura 5.46. Relación ST vs P	196
Figura 5.47. Diagrama de dispersión ST vs P	198
Figura 5.48. Comportamiento ST y P	199
Figura 5.49. Diagrama de dispersión ST vs P. Lluvias = 1	200
Figura 5.50. Distribución de datos observados del modelo	201
ST vs P.	
Figura 5.51. Diagrama de dispersión ST vs P. Lluvias = 0	202
Figura 5.52. Distribución de datos observados del modelo	203
P vs ST.	
Figura 5.53. Resumen de gráficas los modelos ST vs P	204

Figura 5.54. Diagrama de dispersión en 3D, ST - P – AP	205
Figura 5.55. Diagrama de dispersión ST vs AP	207
Figura 5.56. Diagrama de dispersión ST vs AP. Lluvias = 1	209
Figura 5.57. Distribución de datos observados del modelo	209
ST vs AP.	
Figura 5.58. Diagrama de dispersión ST vs AP. Lluvias = 0	210
Figura 5.59. Distribución de los datos observados del modelo	211
AP vs ST.	
Figura 5.60. Resumen de gráficas los modelos ST vs P	212

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de operación de los NI-USRP 2921	10
Tabla 2. Accesorios del Equipo analizador de frecuencias	46
FieldFox N9916A.	
Tabla 3. Hoja técnica del Registrador de datos EL-USB-5	
55	
Tabla 4. Ubicación física de los pluviómetros a lo largo del enlace	61
Tabla 5. Sensación térmica por efecto del frio y del viento	88
Tabla 6. Sensación térmica por efecto del calor y de la humedad	89
relativa.	
Tabla 7. Clasificación del viento en base a su velocidad en km/h	100
Tabla 8. Formatos de datos recolectados	115
Tabla 9. Nuevo formato para datos procesados	116
Tabla 10. Precipitaciones por lluvias capturadas por los pluviómetros ...	116
en mm desde abril hasta septiembre del 2016.	
Tabla 11. Presencia de lluvias capturadas por los pluviómetros	117
en los días del mes de abril del 2016.	
Tabla 12. Base de datos de las variables ambientales	126
y potencia recibida.	
Tabla 13. Análisis descriptivo de las variables	128
Tabla 14. Potencia recibida del 18 de abril del 2016	128
Tabla 15: Valores de curtosis para cada variable	129
Tabla 16. Histogramas de frecuencia de las variables	130
con sus curvas de curtosis, con datos del 18-abril-2016.	
Tabla 17. Valores del coeficiente de correlación de Pearson	131
Tabla 18. Matriz de correlación y de proximidades	132
de las variables ambientales y la potencia recibida.	
Tabla 19. Relación de la temperatura con las variables	132

ambientales y la potencia recibida.

Tabla 20. Relación de la potencia recibida con las variables ambientales.	133
Tabla 21. Relación de la humedad relativa con las otras variables	133
Tabla 22. Relación de la radiación solar con las otras variables	133
Tabla 23. Relación de la sensación térmica con las otras variables	134
Tabla 24. Regresiones lineales de las variables consideradas	135
Tabla 25. Coeficientes de Pearson para las variables	135
Tabla 26. Modelos matemáticos planteados	141
Tabla 27. Resumen del modelo de regresión T vs P	142
Tabla 28. Tabla ANOVA T vs P	143
Tabla 29. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal T vs P	143
Tabla 30. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para T vs P. Lluvias = 1.	146
Tabla 31. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para P vs T. Lluvias = 0.	141
Tabla 32. Prueba de normalidad para las variables ambientales	149
Tabla 33. Nivel de significancia de las variables ambientales	149
Tabla 34. Modelos matemáticos para T vs P	150
Tabla 35. Resumen del modelo de regresión T vs AP	153
Tabla 36. Tabla ANOVA T vs AP	154
Tabla 37. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal T vs AP	154
Tabla 38. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para T vs AP. Lluvias =1.	156
Tabla 39. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para AP.vs T. Lluvias = 0.	158
Tabla 40. Modelos matemáticos para T vs AP	159
Tabla 41. Resumen del modelo de regresión HR vs P	161
Tabla 42. Tabla ANOVA HR vs P	161

Tabla 43. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal para HR vs P.	162
Tabla 44. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para HR vs P. Lluvias = 1.	164
Tabla 45. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para P vs HR. Lluvias = 0.	166
Tabla 46. Modelos matemáticos para HR vs P	168
Tabla 47. Resumen del modelo de regresión HR vs AP	170
Tabla 48. Tabla ANOVA HR vs AP	171
Tabla 49. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal HR vs AP	171
Tabla 50. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para HR vs AP. Lluvias =1.	173
Tabla 51. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para AP vs HR. Lluvias =0	175
Tabla 52. Modelos matemáticos para HR vs AP	177
Tabla 53. Resumen del modelo de regresión RS vs P	179
Tabla 54. Tabla ANOVA RS vs P	179
Tabla 55. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal RS vs P	180
Tabla 56. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para RS vs P. Lluvias = 1.	183
Tabla 57. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para RS vs P. Lluvias = 0.	185
Tabla 58. Modelos matemáticos para RS vs P	187
Tabla 59. Resumen del modelo de regresión RS vs AP	188
Tabla 60. Tabla ANOVA RS vs AP	189
Tabla 61. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal RS vs AP	189
Tabla 62. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para RS vs AP. Lluvias = 1.	191
Tabla 63. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal	193

segmentado para RS vs AP. Lluvias = 0.	
Tabla 64. Modelos matemáticos para RS vs AP	195
Tabla 65. Resumen del modelo de regresión ST vs P	196
Tabla 66. Tabla ANOVA ST vs P	197
Tabla 67. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal ST vs P	197
Tabla 68. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal	200
segmentado para ST vs P. Lluvias = 1.	
Tabla 69. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal	202
segmentado para ST vs P. Lluvias = 0.	
Tabla 70. Modelos matemáticos para ST vs P	204
Tabla 71. Resumen del modelo de regresión ST vs AP	205
Tabla 72. Tabla ANOVA ST vs AP	
206	
Tabla 73. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal ST vs AP	207
Tabla 74. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal	208
segmentado para ST vs AP. Lluvias = 1.	
Tabla 75. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal	210
segmentado para ST vs AP. Lluvias = 0.	
Tabla 76. Modelos matemáticos para ST vs AP	212
Tabla 77. Modelos matemáticos. Las variables ambientales	213
vs la potencia recibida. Lluvias = 0.	
Tabla 78. Modelos matemáticos. Potencia recibida	213
vs las variables ambientales. Lluvias = 0.	
Tabla 79. Modelos matemáticos. Las variables ambientales	214
vs Potencia recibida.	
Tabla 80. Modelos matemáticos. Las variables ambientales	214
vs la atenuación de la potencia. Lluvias = 0.	

CAPÍTULO 1

1. MARCO REFERENCIAL

En el capítulo 1, marco referencial de este estudio, se define el problema y las soluciones viables que se propusieron el fin de cumplir con los objetivos planteados.

1.1 Descripción del Tema

En base a estudios realizados tanto en un ambiente simulado de laboratorio como en un ambiente real de campo y utilizando la tecnología de Radio Definido por Software (SDR) para las mediciones de potencia de la señal recibida [1], se ha podido observar que las principales causas de pérdida de señal en los enlaces de radio pueden ser atribuidos a fenómenos ambientales, tales como la temperatura del ambiente, lluvia, humedad, radiación solar entre otros. [2]

Cabe mencionar que existen modelos matemáticos publicados en la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), con sus respectivas recomendaciones, tales como: UIT-R P.835 [14], UIT-R P.676-6 [15] y UIT-R P.531-10 [16], UIT-R P.838-3 [17], que involucran las variables ambientales, tales como: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar y la influencia que ejercen sobre la potencia recibida de un enlace inalámbrico. Por lo cual, las recomendaciones antes mencionadas sirven para zonas específicas del planeta bajo un escenario en el que permanecen fijos los valores de las variables ambientales, pero para nuestro medio tropical este esquema no se aplica (solo nos sirve de referencia), debido a la diversidad de subclimas, microclimas y topoclimas que imperan en cada región de nuestro país, por tal motivo es necesario realizar el estudio de nuevos modelamientos matemáticos que relacionen estas variables ambientales y su impacto en las mediciones de potencia. [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Por otro lado, la variable ambiental de la sensación térmica que se deriva de las variables ambientales, tales como: humedad relativa, velocidad del viento, temperatura y presión atmosférica, ha tenido auge en estos últimos años tanto

en nuestro país como en todo el planeta. Debido al calentamiento global, el Congreso Nacional del medio Ambiente del Ecuador [22], ha realizado un estudio sobre los niveles térmicos de cada región en base a la influencia que ejerce el mar en la costa [21], la cordillera de los andes en la sierra y la vegetación de la amazonia en el oriente, determinando así un confort térmico, basados en los valores obtenidos de la variable ambiental de la sensación térmica [18,19,20], por lo cual se realizó un estudio para obtener el modelo que contemple la influencia que ejerce en las mediciones de potencia.

1.2 Justificación

Este trabajo de investigación contempla soluciones al impacto que tiene la temperatura sobre los equipos de medición de potencia (NI-USRP 2921), en base al desarrollo de experimentos en el Laboratorio de Simulación de Telecomunicaciones, en donde se plantearon escenarios de temperatura [3], manipulando el sistema de enfriamiento y usando la tecnología SDR.

Para ello se necesitará de un sistema de medición desarrollado en LabVIEW, que esté en capacidad de medir la potencia recibida y la temperatura alrededor del NI-USRP 2921, medida mediante el uso de sensores de temperaturas acopladas con la plataforma sensorial Arduino Uno. Los datos obtenidos del proceso de medición, describen gráficamente el comportamiento de estas variables en un ambiente simulado, y creando con ello un modelo matemático que describe la relación de estas dos variables en tiempo real.

En otro aspecto dejando el ambiente de simulación, las variables ambientales producen un impacto en las mediciones de potencia en el receptor creciendo desvanecimientos en la propagación de la señal, por lo cual el objetivo es el de encontrar las relaciones entre las variables mediante el uso de técnicas de correlaciones, regresiones y diagramas de dispersión, con lo cual se definieron modelos matemáticos que estimarían el comportamiento de las variables en tiempo real.

Para el ambiente real, se va necesitar para nuestro Proyecto de Titulación, las lecturas de las variables ambientales censadas por las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

[4], ubicadas en la ciudad de Durán o la del Liceo Cristiano en Guayaquil, en cuya trayectoria se encuentra implementado el enlace inalámbrico entre la ESPOL y Durán.

Cabe mencionar que el INAMHI posee en sus bases de datos los valores diarios de las variables ambientales necesarias, tales como: temperatura, humedad relativa, la velocidad del viento, radiación solar y presión atmosférica. En lo que tiene que ver con la variable sensación térmica se la calculó mediante la combinación de otras variables ambientales. Así, con la información obtenida se va a realizar un estudio exhaustivo para determinar el comportamiento diario que presenta cada variable, para luego relacionarla con los datos obtenidos de la medición de potencia y poder observar el impacto que ellas producen.

1.3 Objetivos

El presente experimento va orientado a alcanzar los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo General

Analizar y modelar el impacto que proporcionan las variables ambientales en los niveles de potencia de la señal en el enlace inalámbrico entre las ciudades de Guayaquil y Durán, utilizando equipos enrutador MikroTik para la transmisión y NI-USRP 2921 para la recepción en ambientes exteriores.

1.3.2 Objetivos Específicos

Determinar el impacto de la temperatura del ambiente en la operación de los equipos NI-USRP 2921, mediante pruebas de manipulación de temperatura ejercitadas en el Laboratorio de Simulación de Telecomunicaciones a través de modelos matemáticos.

Determinar el impacto de las variables ambientales, tales como: temperatura, humedad, sensación térmica y radiación solar sobre las mediciones de potencia de un enlace inalámbrico en un ambiente exterior utilizando la banda no licenciada U-NII, empleando modelos matemáticos.

1.4 Metodología de la Investigación

La metodología aplicada para la consecución del presente trabajo experimental, se basa en la prueba de hipótesis de que variables ambientales producen cambios en la lectura de la potencia recibida en el receptor de un enlace inalámbrico entre dos ciudades de la misma zona metropolitana, como son Guayaquil y Durán.

Luego de analizar los resultados obtenidos de esta primera instancia se procede a analizar el comportamiento de la potencia en el receptor ante la influencia de las variables ambientales, realizando análisis estadístico con el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), enfatizándonos en la correlación de Pearson, diagramas de dispersión y estadística descriptiva, para luego estimar modelos matemáticos que relacionen las variables antes mencionadas.

1.5 Resultados Esperados

Los resultados que se obtendrán de la presente investigación, son los siguientes:

- ❖ Modelo matemático de la influencia de la temperatura ambiente sobre las mediciones de potencia.
- ❖ Modelo matemático de la influencia de la humedad relativa sobre las mediciones de potencia.
- ❖ Modelo matemático de la influencia de la sensación térmica sobre las mediciones de potencia.
- ❖ Modelo matemático de la influencia de la radiación solar sobre las mediciones de potencia.

1.6 Elementos diferenciadores e innovadores

El presente trabajo investigativo contempla estudios realizados con equipos de telecomunicaciones NI-USRP 2921 basados en tecnología SDR. Los cuales permiten realizar en el laboratorio, simulaciones de escenarios óptimos y extremos, con la finalidad de probar varios comportamientos de la señal

antes de pasar a un ambiente real. El estudio contempla una serie de consideraciones que hay que tomar en cuenta antes de proceder a una implementación de enlaces inalámbricos.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), posee varias recomendaciones, tales como: UIT-R P.835, UIT-R P.676-6 y UIT-R P.531-10, que plantean modelos matemáticos para las variables ambientales en forma parametrizada fijando valores predeterminados y observando la influencia que ejercen sobre la potencia recibida de un enlace inalámbrico. Por lo cual es imperativo desarrollar modelos matemáticos para el tipo de clima en estudio, utilizando para ello datos o información de las variables ambientales, tales como temperatura, humedad, presión atmosférica, radiación solar, sensación térmica, que inciden localmente en el comportamiento de la señal de potencia.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

El capítulo 2, se refiere al sistema de medición que se utilizó para las mediciones de potencia y las pruebas de simulación que se implementaron para simular un enlace inalámbrico, luego ante los buenos resultados obtenidos en el laboratorio se implementó un enlace inalámbrico, para ambientes exteriores.

2.1 Definición de la tecnología SDR

La tecnología SDR [24], sirve para simular por software un enlace inalámbrico en tiempo real y con una frecuencia definida, que para nuestro caso operamos con la banda de los 5 GHz. Inicialmente, como base del experimento en un ambiente de laboratorio y luego en un ambiente exterior en donde el enlace inalámbrico, va a estar influenciados por varios factores generados por las variables ambientales presentes en las ciudades de Guayaquil y de Durán.

En el mercado de las telecomunicaciones existen varios productos que efectúan simulaciones para un enlace inalámbrico, pero la tecnología SDR es la más confiable y estable, garantizada por la empresa National Instruments, por lo cual una vez comprobada su implementación tras varias pruebas en el laboratorio de simulación, podemos determinar que el producto funciona y con ello la factibilidad del proyecto, optimizar la inversión requerida y poder adquirir los equipos de telecomunicaciones necesarios para la puesta en marcha.

Cabe mencionar que esta tecnología SDR tiene como ventaja principal, el poseer un software que se reconfigura dinámicamente al variar sus parámetros, aumentando así su eficiencia [24]. Por lo cual las perspectivas de crecimiento de los SDR, es una realidad en el ámbito de las telecomunicaciones, en un lapso de 30 años pasando por las tecnologías 1G, 2G, 3G y las actuales, tal como se muestra en la figura 2.1.

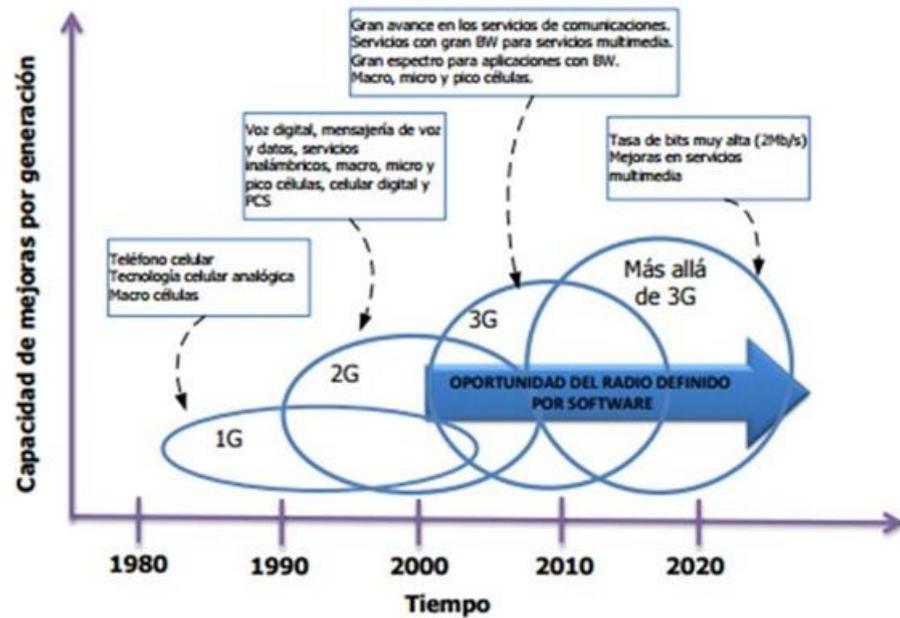


Figura 2.1. Ámbito de la tecnología SDR en el mercado de las Telecomunicaciones [24]

Los SDR consta de tres bloques funcionales bien diferenciadas:

- Bloque Radiofrecuencia (RF),
- Bloque de frecuencia intermedia (IF) y
- Bloque de banda base.

Tal como se muestra en la figura 2.2.

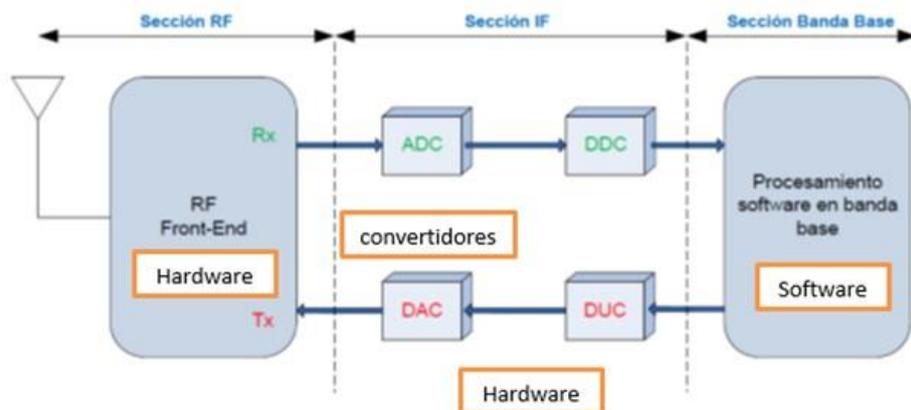


Figura 2.2. Diagrama de bloques funcionales de la tecnología SDR [23]

La sección RF, se implementa a nivel de hardware y es donde la señal se transmite y se recibe mediante la configuración de antenas que irradia ondas electromagnéticas a través de la superficie terrestre.

La sección IF, se implementa igualmente a nivel de hardware y actúa como una interface entre los equipos de telecomunicaciones y el software de la banda base definida en la sección de banda base. Este bloque consta de una serie de convertidores de analógico – digital y de digital – analógico, y de una serie de módulos para aumentar o disminuir la tasa de muestreo, con lo cual este bloque o sección IF pasa la señal a banda base, que va a ser interpretada en el siguiente bloque.

La sección de la banda base es implementada mediante software y sirve para el procesamiento de la señal aplicando las técnicas de codificación, modulación, ecualización, secuencias de entrenamiento, encriptación, decodificación, desencriptación, demodulación, entre otras.

2.2 Definición NI-USRP 2921

Los NI-USRP 2921, fueron diseñados para cubrir la demanda existente de simuladores para el área de las telecomunicaciones, tanto para la instrucción académica [23] y como para la parte de investigación de las comunicaciones inalámbricas, que es el campo de acción de estos dispositivos.

La National Instruments con la finalidad de dar mayor escalabilidad a este producto, unió esta tecnología de los USRP (Universal Software Radio Peripheral), con el software de ambiente gráfico LabVIEW, formando una plataforma de radio frecuencia (RF) muy consistente y fácil de usar. La figura 2.3, muestra el equipo NI-USRP 2921 en su parte frontal, donde se puede divisar las conexiones RF con dos bandas de frecuencia, la conexión de red, la conexión MIMO y la conexión de poder que necesita el equipo para su funcionamiento.



Figura 2.3. NI-USRP 2921 parte frontal [1]

Los dispositivos de telecomunicaciones NI-USRP 2921, se utilizan en nuestro estudio, para las mediciones de potencia de un enlace inalámbrico. Los cálculos de dichas mediciones de potencia son implementados en algoritmos que visualiza la lógica de la solución a un problema planteado. Dichos algoritmos se denominan vi, que son desarrollados en el lenguaje de programación gráfica LabVIEW.

Tanto para el ambiente simulado y como para un ambiente en exteriores LabVIEW y los equipos de telecomunicaciones NI-USRP 2921, se comunican a través del software NI-USRP driver, instalado en dos computadores de última generación con la capacidad para poder ejecutar en tiempo real los vi para la transmisión y para la recepción de la señal en un enlace inalámbrico. Tal como se muestra en la figura 2.4.

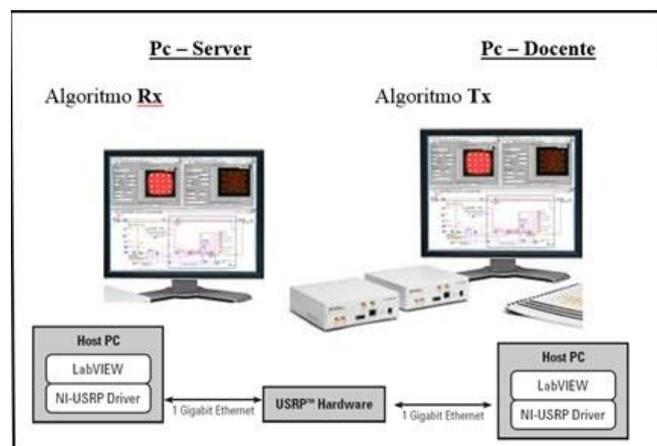


Figura 2.4. Computadores listos para operar con los NI-USRP 2921 [45]

2.2.1 Especificaciones técnicas NI-USRP 2921

Las hojas de especificaciones técnicas son presentadas por el fabricante para que el usuario pueda operar los equipos NI-USRP 2921, mostrando los límites de operación permitidos, tal como se observa en la tabla 1. [1] [26].

Parámetros	Valores de operación
Ancho de banda	20 MHz
Banda con rango de frecuencia	2,4 GHz a 2,5 GHz y 4,9 GHz a 5,9 GHz
Máxima potencia de salida	50 mW a 100 mW. (17 dBm – 20 dBm)
Rango de ganancia en el transmisor.	0 dB a 35 dB
Rango de temperatura ambiente	0 a la 45°C, soporte el equipo.
Temperatura de funcionamiento	23°C ± 5°C, temperatura ambiente
Temperatura óptima para efectuar lecturas de potencia	18°C, como máximo en un ambiente controlado.
Temperatura en caseta de trasmisión y recepción	22°C ± 4°C, temperatura ambiente
Rango de humedad relativa	10% a 90%, sin condensación
Dispositivo Half duplex	Solo transmite o solo recibe
Sistema de enfriamiento	Dos sistemas en paralelo

Tabla 1. Parámetros de operación de los NI-USRP 2921 [1] [26]

2.2.2 Sensibilidad al calor en los NI-USRP 2921

Los equipos USRP son diseñados y fabricados por la empresa Ettus Research, y en base a una alianza estratégica con la National Instruments elabora los equipos NI-USRP 2921. Para conocer cómo está constituido el interior de estos equipos, se hizo un estudio de

investigación y se encontró mediante documentación que los equipos NI-USRP 2921 poseen dos tipos de tarjetas electrónicas denominadas madre y secundarias mostradas en la figura 2.5.



Figura 2.5. Interior de los equipos NI-USRP 2921 [24]

Por otro lado, los equipos NI-USRP 2921 tienen en su tarjeta madre incorporado un oscilador de cristal de cuarzo (TCXO) de 64 MHz y con una precisión de 2.5 ppm (partes por millón) [27], que compensa la temperatura en el interior del equipo, lo cual lo hace sensible a cualquier variación de temperatura que este influenciada el exterior, originando un calentamiento en el dispositivo que provocaría una alteración dinámica en la frecuencia del oscilador [28], razón por la cual fueron fabricados para ambientes interiores y controlados.

Es así, que al observar una frecuencia desplazada en el equipo, su captura de datos de potencia recibida la realiza con los valores menores al máximo configurado, por lo cual se requiere eliminar el agente externo que ocasiona el problema en el ambiente simulado.

En sí, todo fabricante elabora las especificaciones técnicas relacionadas con el medio ambiente de operación con sus respectivas certificaciones. En la figura 2.6 se muestra el circuito de un oscilador de cuarzo.

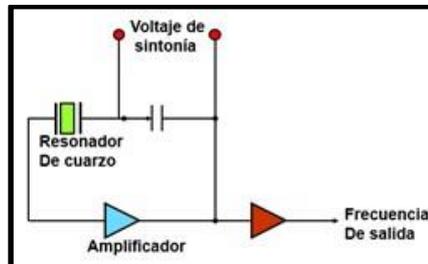


Figura 2.6. Circuito de un Oscilador de cuarzo [28]

Ahora en la figura 2.7, se detalla el desempeño de los osciladores de cuarzo para la categoría TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator).

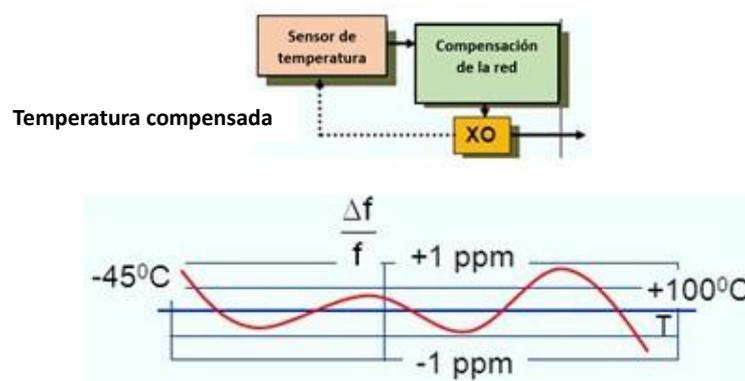


Figura 2.7. Oscilador de cuarzo (TCXO) [28]

2.3 Definición de software grafico G (LabVIEW)

LabVIEW, como anteriormente se menciona es un lenguaje de programación totalmente gráfico y es la plataforma donde se crean los algoritmos para todo tipo de proyecto sea en el campo académico, medicinal, industrial o de telecomunicaciones. Lógicamente cuenta con el respaldo de la empresa National Instruments que fue su creadora y también son los comercializadores de los equipos NI-USRP 2921, utilizados para el enlace inalámbrico entre la ciudad de Guayaquil y la ciudad de Durán. En la figura 2.8, se muestra los

componentes que National Instruments comercializa para proyectos de toda índole.



Figura 2.8. Productos de la National Instruments [29]

Los algoritmos para LabVIEW son considerados como la esencia misma de su programación, en donde el ingenio y destreza en la herramienta nos ayuda a dar solución a los problemas planteados. Para grabar el desarrollo de la programación gráfica, al igual que otros lenguajes, se lo hace a través de un archivo con extensión vi (instrumento virtual), que lo identifica de los demás, por ejemplo: CapturaPotencia.vi.

Cabe mencionar que para LabVIEW, que es un lenguaje gráfico, todo se formula en diagramas de bloques con funcionalidades definidas por el estilo de razonamiento del programador, creando algoritmos óptimos para su perspectiva de solución [29].

LabVIEW por el solo hecho de usar ambiente grafico posee una gran ventaja sobre los otros lenguajes de programación, posee dos formas de presentación bien diferenciadas, que hacen tener un buen ambiente para los programadores, que son:

- El panel frontal.
- El esquemático o diagrama de bloques.

El panel frontal es la presentación básica de la interface con el usuario, siendo la representación real de la programación y donde se conjuga la sutileza de la información que se desea proyectar. Para este estudio investigativo constituye la plantilla en donde se ingresa los parámetros de configuración del sistema de medición que captura las lecturas de la señal de potencia recibida y las lecturas de la temperatura en la caseta de recepción de la torre de

telecomunicaciones, ubicada en ESPOLTEL en el Parcon tecnológico de la ESPOL. La figura 2.9, muestra la parte frontal del vi como un esquema de parametrización.

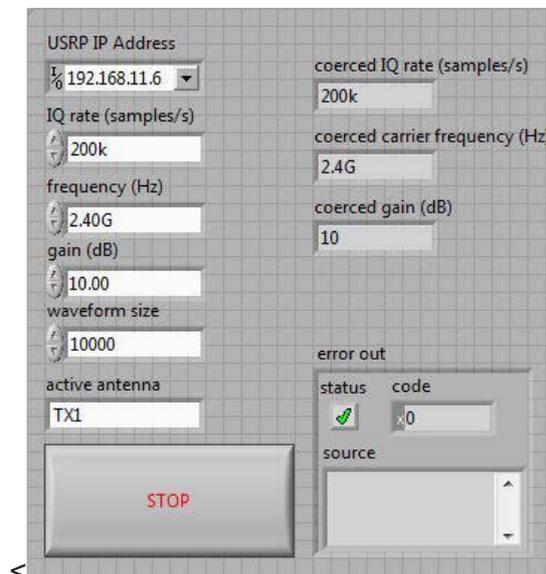


Figura 2.9. Panel frontal de un vi [29]

El diagrama de bloques, es la representación del diseño muestra un panel con funcionalidades definidas por los vi ya elaborados por LabVIEW, denominadas librerías para cada ámbito o termino que se conjuga en el mundo de las telecomunicaciones. Es así, que tenemos funciones que ejecutan operaciones matemáticas, lógicas, de decisión entre otras. Tan solo con tener en claro la ubicación de cada librería o función a utilizar, el resto depende de la imaginación que se tenga en el diseño de cada vi.

Hay que destacar que en LabVIEW cada vi se lo puede usar en cualquier momento, ya que su programación es mediante módulos y cada módulo puede ser dependiente o independiente del otro. La figura 2.10, muestra un esquema de diagrama de bloques que se ha implementado para fines específicos.

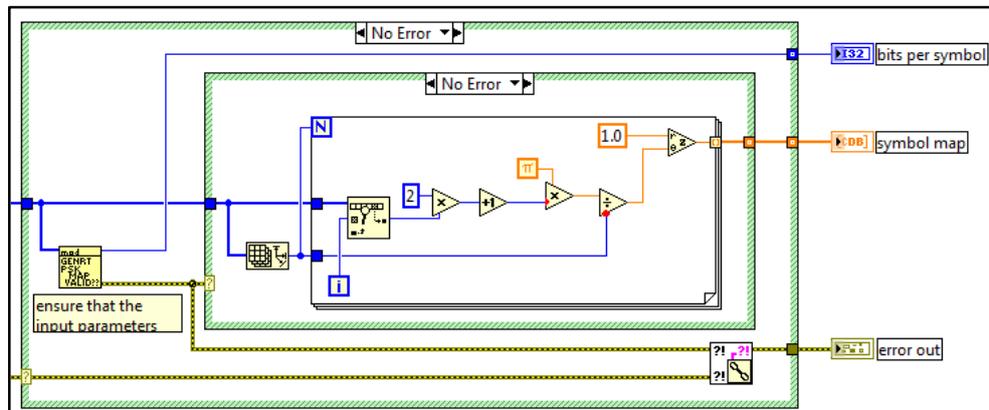


Figura 2.10. Diagrama de bloques de un vi [30]

LabVIEW, pone a disposición para los programadores o desarrolladores de la herramienta diferentes tipos de datos que van a ser utilizados para la elaboración de cualquier vi, tal como se muestra en la figura 2.11.

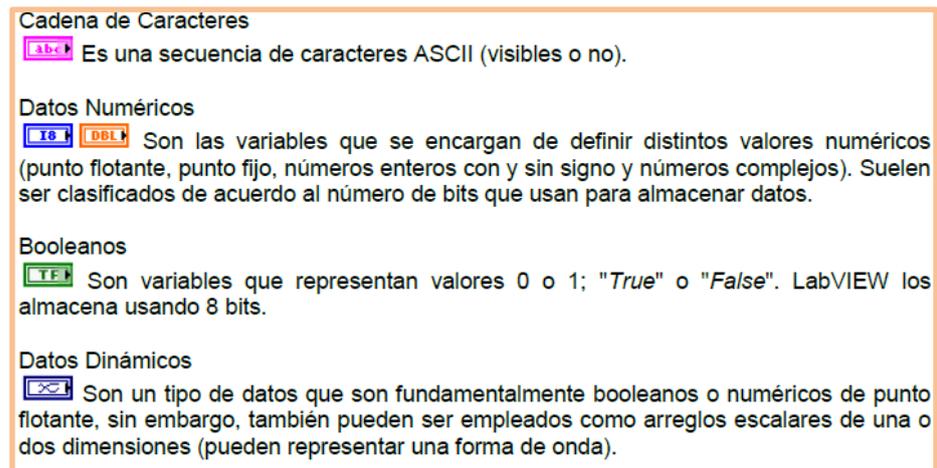


Figura 2.11. Tipos de datos para LabVIEW [30]

También dentro de tipos de datos podemos encontrar a: los arreglos que son la agrupación de datos de un mismo tipo, tal como están definidos en la figura 2.10. Ahora los que soportan agrupar cualquier tipo de datos en su estructura se llaman clúster.

Los lenguajes de programación, tales como: visual, C, C++, java entre otros poseen estructuras bien definidas para la utilización de lazos que cumplen condiciones de validación y selección, pues así también LabVIEW tiene

implementada en sus librerías de funciones los lazos antes mencionados, mediante las estructuras for, loop y switch en forma gráfica y sencilla.

2.4 Herramientas de libre acceso utilizadas en el experimento

Las herramientas de libre acceso utilizadas en este proceso investigativo se basan en dos puntos de vista:

El primero es relacionado con el hardware mediante la utilización de la plataforma tecnológica arduino UNO [31], cuyos costos para una implementación de un proyecto es relativamente baja y fácil de desarrollarla

En segundo lugar, tenemos a la plataforma Ubidots [32], que es un software innovador desarrollado para trabajar en tiempo real, con almacenaje en la nube, la cual es el internet de las cosas. Tal como se muestra en la figura 2.12, sus logotipos en internet.



Figura 2.12. Plataformas de libre acceso [31,32]

2.4.1 Arduino UNO

El arduino UNO pertenece al grupo de las herramientas de hardware de libre acceso y se lo utilizó en este proyecto investigativo con la finalidad de elaborar un circuito electrónico, que sirva para tomar lecturas de temperaturas con sensores de temperatura analógicos o digitales, que están en auge en el mercado de los componentes electrónicos por sus costos relativamente bajos.

En primera instancia del experimento, las mediciones se las realizaba en forma manual, tomando la lectura del termómetro digital de los datos de temperatura y humedad, cada 5 minutos y luego cada minuto, por lo cual

se automatizó este proceso con la ayuda del arduino UNO. Tal como se muestra en la figura 2.13.



Figura 2.13. Arduino UNO con sensor de temperatura [45]

Cabe mencionar que la precisión de lectura de la temperatura es de dos dígitos y se logró sincronizar con las lecturas que efectúa el sistema de medición de potencia (herramienta en LabVIEW, que se desarrolló en el laboratorio de simulación de telecomunicaciones). Es decir, que estos eventos se ejecutan en paralelo para cada medición que se realiza a medida que transcurre el tiempo de captura en el enlace inalámbrico punto a punto.

Dentro de las ventajas principales que tiene la plataforma electrónica arduino UNO, es que se puede conectarse por medio del puerto USB con cualquier sistema operativo (multiplataforma en PC). Para nuestro caso se usó un computador con WINDOWS 8.0.

Tal como se muestra en la figura 2.14, se puede observar si el sistema operativo reconoce o no al nuevo dispositivo, usando la herramienta denominada administrador de dispositivos mostrando al arduino UNO.

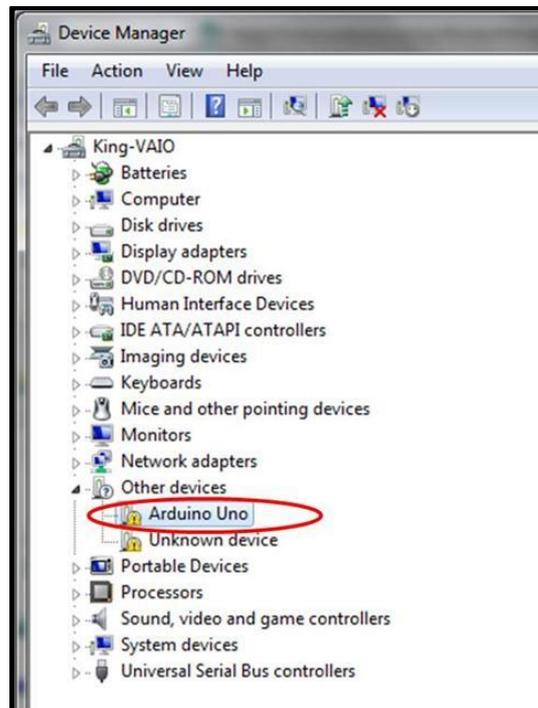


Figura 2.14. Arduino UNO reconocido por Windows [45].

Para la comunicación con el computador, se debe escoger el COM apropiado. En caso de no acoplar el puerto se mostraría un error como el de la figura 2.13 en el administrador de dispositivos. Al cargar los drivers del puerto, se logra la conexión lógica y física de los dispositivos con el computador.

Pues bien, en detalle el arduino puede conectarse de manera serial al computador a través de un puerto USB. Dicha comunicación física empieza cuando se conecta el puerto y la parte lógica comienza usando los drivers cargados al sistema operativo. El comportamiento del arduino UNO configura por medio de instrucciones denominadas sketch [31] y cargados por el puerto USB.

Los sketch, por definición son programas o algoritmo de eventos, que los programadores los denominan rutinas de programación, en cuyo código se ejecutan los detalles del funcionamiento del dispositivo en conjunto con los demás elementos electrónicos. Los sketch son

ejecutados y pueden mostrar resultados su ejecución a través de la pantalla de monitor serial, que en el caso del proyecto son los datos censados. Adjunto figura 2.15, donde se visualiza la comunicación entre el arduino UNO y un computador, en el monitor serial.



Figura 2.15. Arduino UNO con su monitor serial [31].

La plataforma electrónica arduino, es fácil de programar con los scketch preparados en la plataforma de software libre denominada IDE arduino [31], con instrucciones similares y basadas en lenguajes de programación C, C++ y java, que se mantienen vigentes por su buena estructura y fortaleza de su código.

Lo importante es que se puede configurar entradas y salidas del dispositivo electrónico arduino UNO, pines analógicos y digitales, en los scketch y con las estructuras de control que ejecutan algoritmos de eventos y comunicados a un computador, a través de su puerto serial o puerto COM. En la figura 2.16, se detalla el software IDE arduino.

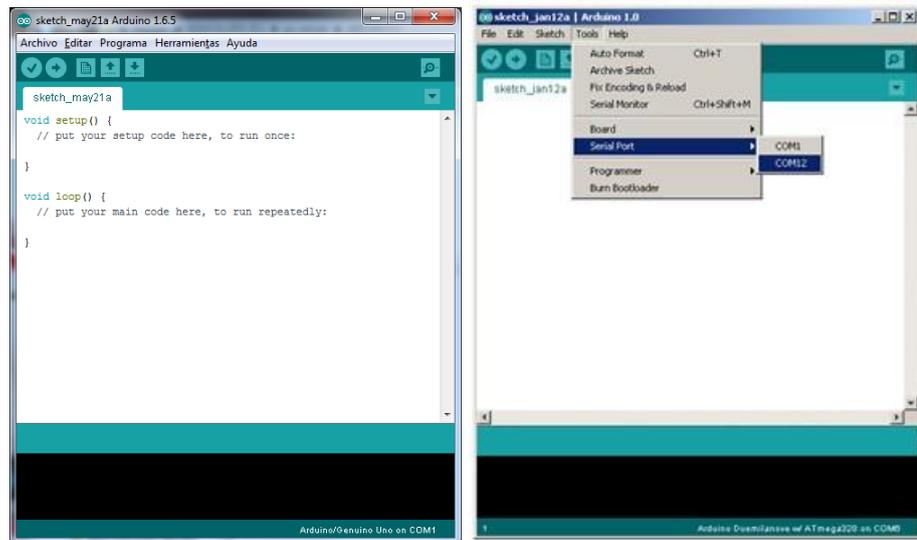


Figura 2.16. Software IDE Arduino [31].

A continuación, presento en la figura 2.17, una rutina como ejemplo de lo que se va a ejecutar en el arduino y como se configuran los pines del dispositivo arduino UNO.

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define Pin 2 //Se declara el pin donde se conectara la DATA

OneWire ourWire(Pin); //Se establece el pin declarado como bus para la comunicación OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se instancia la librería DallasTemperature

void setup() {
  delay(1000);
  Serial.begin(115200);
  sensors.begin(); //Se inician los sensores
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures(); //Prepara el sensor para la lectura

  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); //Se lee e imprime la temperatura en grados Celsius
  //delay(1000); //Se provoca un lapso de 1 segundo antes de la próxima lectura
}

```

Figura 2.17. Rutina de programación en el Arduino UNO [31].

La experiencia con la plataforma electrónica arduino fue muy buena y se mantuvo hasta el final del trabajo investigativo. Adjunto figura 2.18, en donde se muestra las partes del arduino UNO en forma específica.

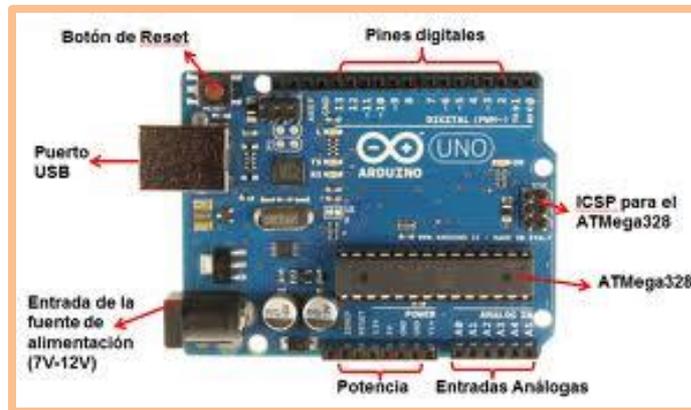


Figura 2.18. Plataforma electrónica Arduino UNO [31].

En sentido más amplio, se puede observar en las partes del arduino UNO, los pines de configuración tanto para señales analógicas y digitales, los niveles de voltaje que va a soportar la placa, el puerto USB, la entrada de la fuente de alimentación, entre otras.

Ahora, como se había mencionado anteriormente, que este trabajo investigativo necesitaba un circuito implementado con arduino UNO, para medir temperatura del ambiente, se efectuó una primera solución. Tal como muestra la figura 2.19, donde se observa el circuito implementado con arduino UNO y un sensor de temperatura analógico.

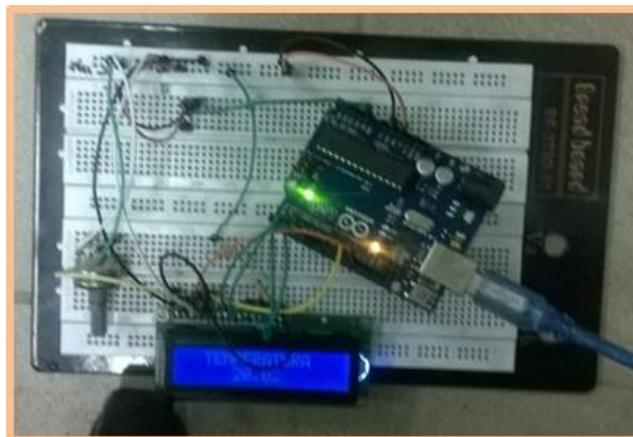


Figura 2.19. Medición de temperatura con Arduino UNO [45].

En vista de la compatibilidad existente entre LabVIEW y la plataforma electrónica arduino, se usó el vínculo entre ambas, usando librerías que maneja LabVIEW. Dichas librerías vienen integradas en la herramienta VI Package Manager [33], se encuentran disponible con complementos en la nube de la National Instruments (figura 2.20).

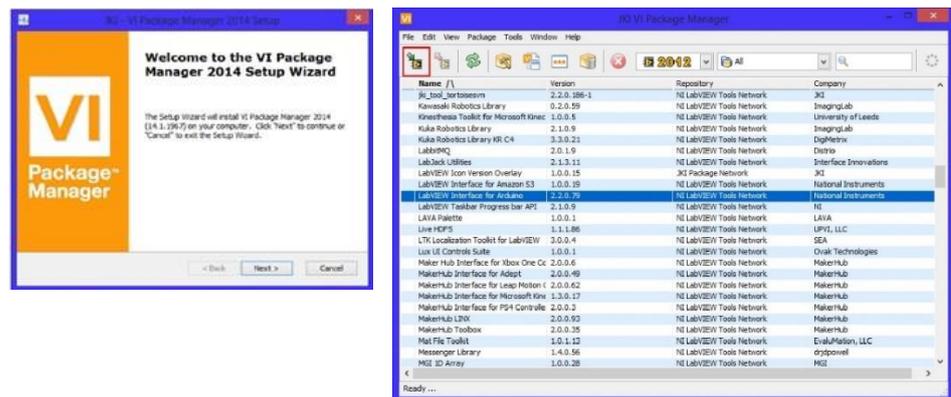


Figura 2.20. herramienta VI Package Manager [33]

Para incorporar librerías se usa la herramienta VI Package Manager que una vez instalada en el computador, forma parte de las funciones de LabVIEW, habilitando el uso de los vi de arduino para la implementación del proyecto investigativo, tal como se muestra en la figura 2.21.

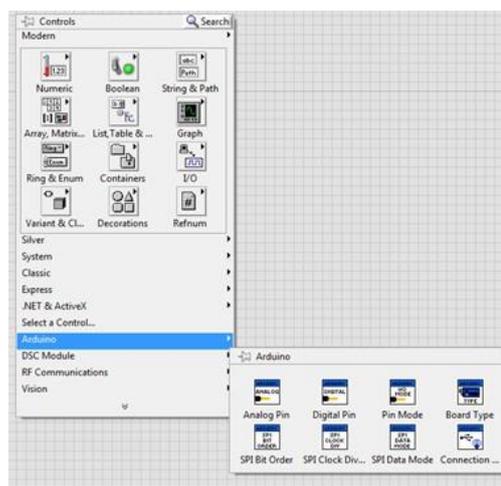


Figura 2.21. Vi de arduino en LabVIEW [34]

La solución física que se presentó en la figura 2.19 tiene que ser complementada con la solución lógica implementada en LabVIEW, para

medir temperatura del ambiente, por lo cual se desarrolló la siguiente programación en lenguaje gráfico. Tal como muestra en las figuras 2.22 en su panel frontal.

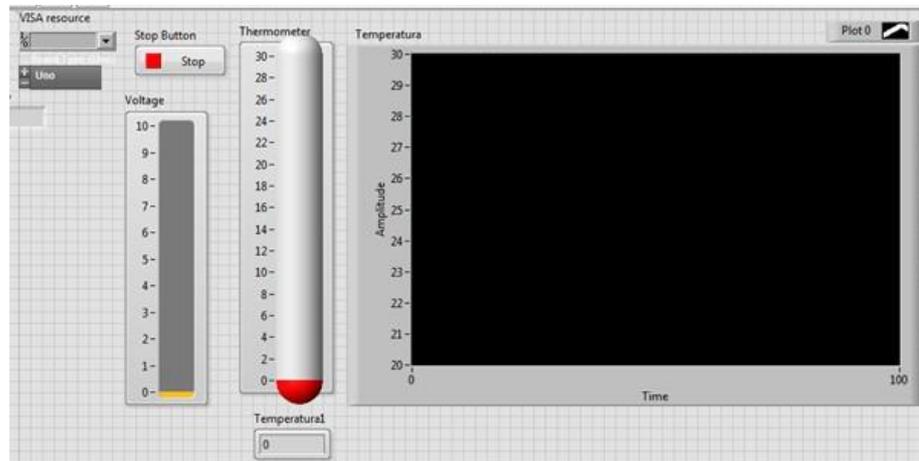


Figura 2.22. Vi. Panel frontal, en LabVIEW [45].

Luego del panel frontal podemos obtener su diagrama de bloques, como muestra la figura 2.23.

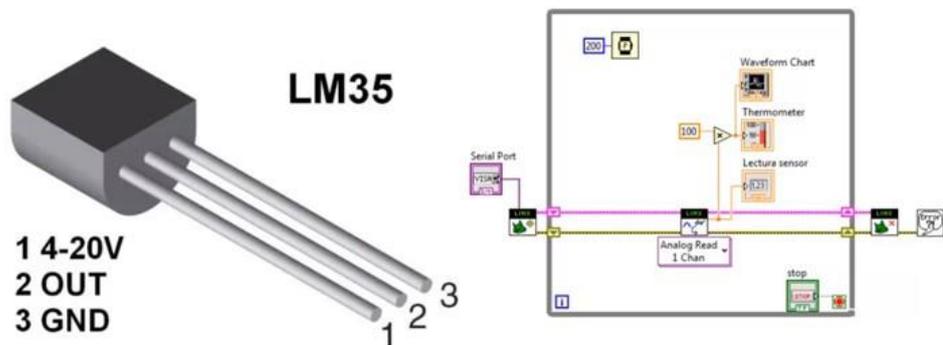


Figura 2.23. Diagrama de Bloques en LabVIEW y sensor de temperatura [45].

Con la solución antes planteada, se tomaron las lecturas de temperatura y se pudo ir observando el comportamiento real de la temperatura en el laboratorio de simulación de telecomunicaciones. También se realizaron pruebas variando la temperatura en el sistema de enfriamiento del laboratorio, para poder observar el impacto que se tiene en las mediciones de temperatura. Los datos de temperatura se pudieron

obtener utilizando la plataforma electrónica del arduino UNO y en las mediciones de potencia recibida utilizando los NI-USRP 2921.

Pero, la solución planteada necesitaba una mejora en LabVIEW, para medir temperatura, por lo cual se aumentó al algoritmo anterior el evento de grabar la información en un archivo en formato Excel para su posterior proceso de análisis. Tal como muestra en las figuras 2.24 y 2.25.

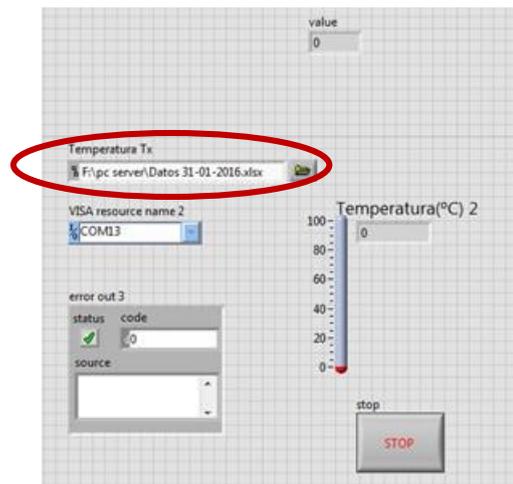


Figura 2.24. Vi. Panel frontal, en LabVIEW, versión mejorada [45].

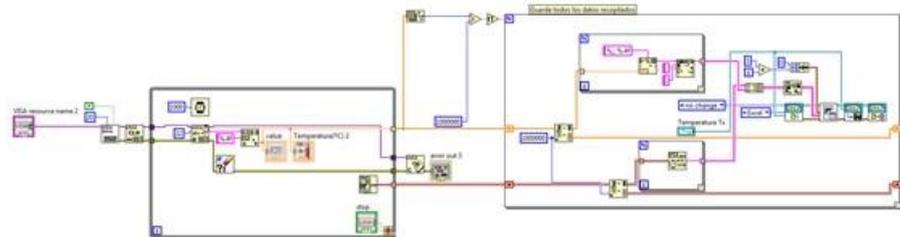


Figura 2.25. Vi. Diagrama de Bloques, en LabVIEW, versión mejorada [45].

2.4.2 Ubidots

En la actualidad se busca que las personas agilicen sus actividades diarias, y que de alguna manera se permita conocer el estado de situaciones o lugares de forma anticipada, optimizando de esta manera sus tiempos de uso de recursos o información.

Para ello se han creado día a día algunos aplicativos que conectados a internet y en tiempo real permitan conocer sus estados el estado de disponibilidad. Estas además de reducir tiempos de búsqueda, permiten también reducir riesgos y peligros que pueden darse a consecuencia de que muchas personas están en la búsqueda de conseguir algo en común, mediante los mecanismos tradicionales.

Si a estos servicios se suma la posibilidad de almacenar información en una base de datos, se estaría encontrando un beneficio adicional que permita utilizar dicha información para análisis y evaluación de desarrollo de nuevas tecnologías en base a datos estadísticos y proyecciones. Como por ejemplo que esta herramienta me permita consultar, la disponibilidad de parqueos en tiempo real desde cualquier lugar exterior o lejano de forma anticipada [32], con solo acceder a internet.

Para el aplicativo, la idea principal es de presentar los datos en Ubidots y que sea accesible solo para ciertas personas del proyecto. Como Ubidots puede trabajar con arduino facilitó la tarea de manipular la data [32]. Adjunto figura 2.26, con el diagrama de bloques de la herramienta.

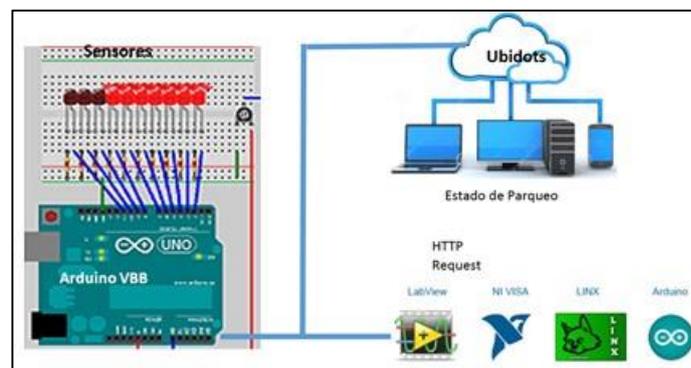


Figura 2.26. Herramienta de Ubidots [45].

Como todo proceso investigativo antes de la implementación, se realizaron las pruebas con dos simuladores de arduinos, los cuales son:

Simulador Arduino: vbb4Arduino simple [35], el mismo que usa lenguaje de Processing como programación y de entorno de desarrollo

integrado, de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital.

Virtual Breadboard, es un software para diseño de plataforma que simulan circuitos físicos, que en este caso la simulación será de un Arduino incluyendo circuitería electrónica complementaria [35].

Ubidots, es un servicio en la nube para capturar e interpretar datos de sensores, teniendo los siguientes beneficios:

- Visualizar información en un tablero tipo Dashboard en tiempo real.
- Generar disparos cuando un sensor alcanza un valor de umbral.
- Permite integrar a través de librerías de programación con desarrollo propios.

El uso de este tipo Dashboard, es a través de una página web permite notificar a través de correo electrónico cuando se producen cambios de estados en los sensores.

En Ubidots, lo primero que hay que hacer es crear las fuentes de datos, los mismos que están predeterminados para que funcionen correctamente con varios dispositivos más populares en el mercado tecnológico. Para nuestro caso vamos a configurar arduinos en esta nube. Tal como se muestra en la figura 2.27.

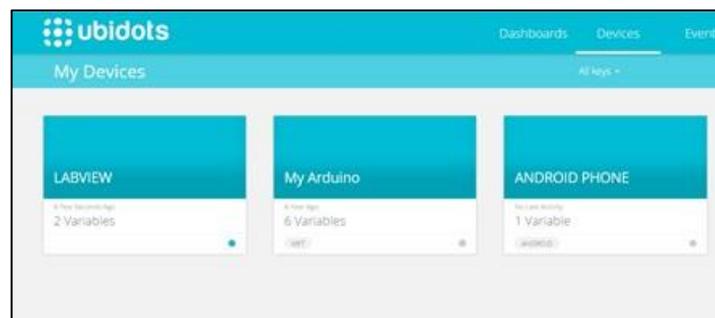


Figura 2.27. Configuración de arduinos y LabVIEW en la herramienta de Ubidots [32].

Ubidots, en su fuente de datos de arduino, nos permite crear las variables que se van a usar para la conexión con el arduino virtual, que para nuestro caso van a ser un IdVariable. Tal como se muestra en la figura 2.28.

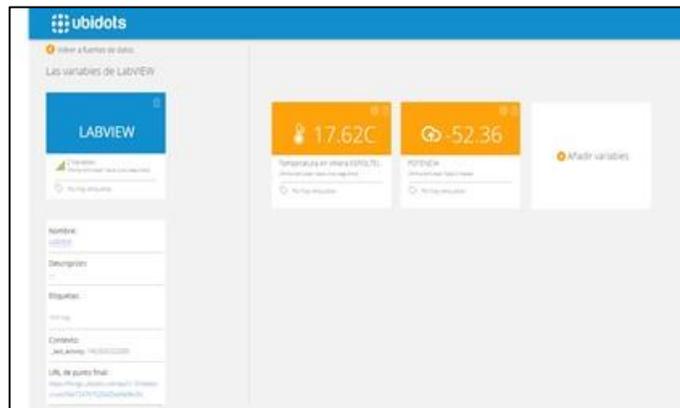


Figura 2.28. Configuración de LabVIEW en la herramienta de Ubidots [32]

A continuación, el detalle de los valores de los IdVariable, que corresponde a la temperatura medida con el arduino UNO y publicada en la nube de Ubidots, mostrada en la figura 2.29:

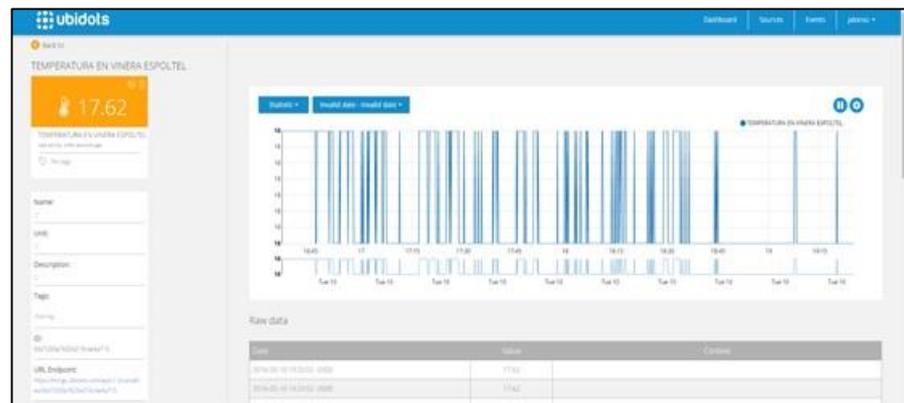


Figura 2.29. Valores de temperatura publicada en nube Ubidots [32]

Adicionalmente el arduino virtual requiere de Ubidots para su conexión su API KEY en donde están definido su TOKEN para la variable IdVariables. Las configuraciones de las claves de acceso a la API son

únicas y fijas para la cuenta creada en Ubidots, siendo su propósito principal la autenticación. A continuación, el detalle de los valores, tal como se muestra en la figura 2.30.

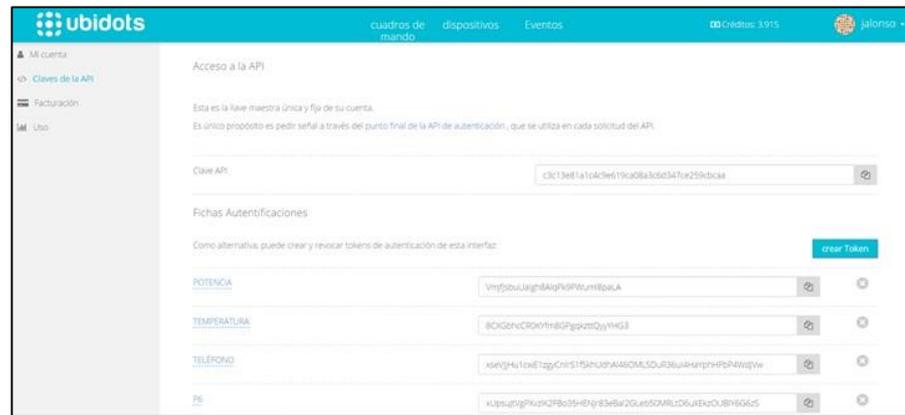


Figura 2.30. Acceso a las API de la herramienta Ubidots [32]

Ubidots, con los datos que obtiene en tiempo real del arduino virtual, puede configurar eventos en caso de ocurrir, que para nuestro caso sería los estados de los 2 indicadores que simulan los sensores, el encendido y el apagado.

Por ejemplo, podríamos tomar el evento: “la temperatura actual es 35°C”. Lo cual se configura en Ubidots mediante la siguiente sentencia if y emitir una alerta vía e-mail, SMS o web a la persona interesada, cuando sobre pase el valor configurado. Tal como se muestra en la figura 2.31.



Figura 2.31. Sentencia configurada en la herramienta Ubidots [32]

Para nuestro caso los 2 indicadores que se reflejan en el tablero de Ubidots, generan un tipo de evento que reporta el estado de alerta. Los eventos implementados se muestran en la figura 2.32.

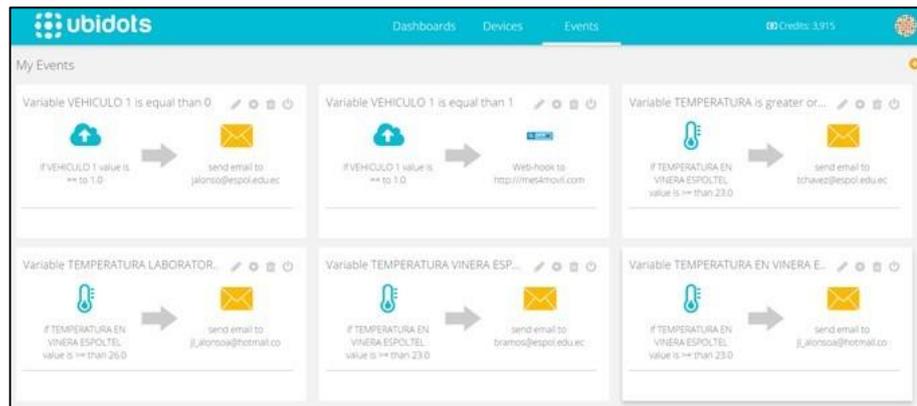


Figura 2.32. Eventos de alerta configurado en herramienta Ubidots [32]

La forma en cómo se configura un evento en la plataforma de la nube de Ubidots, se lo detallo a continuación en las siguientes figuras 2.33.

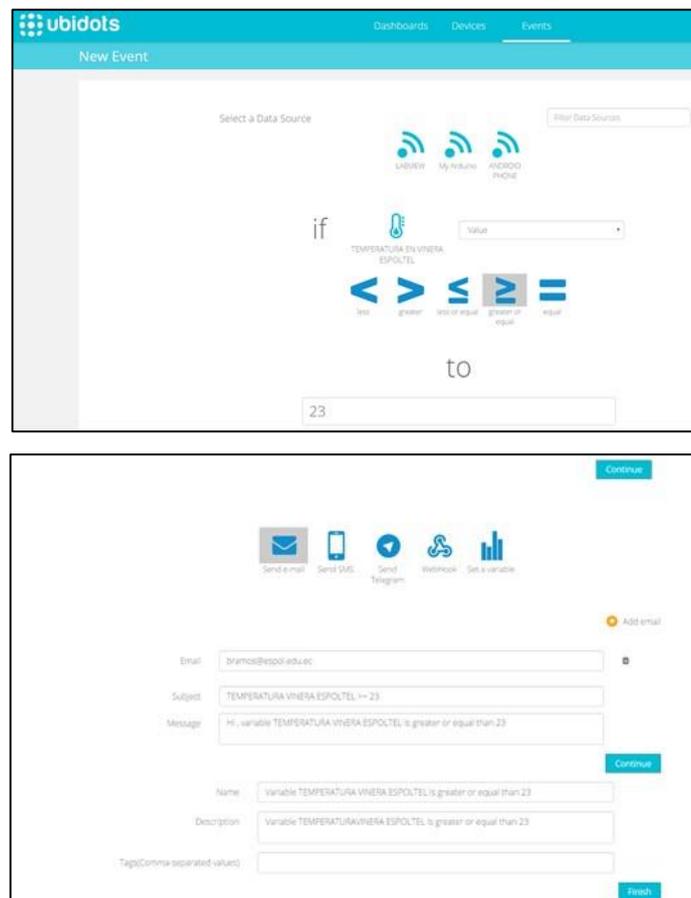


Figura 2.33. Configuración de Eventos paso a paso en Ubidots [32]

Ubidots en base a la configuración de los eventos puede dar alerta cada vez que la temperatura supere a lo que está configurado. Adjunto mensaje de advertencia que llego a mi cuenta de correo mencionándome que han superado la temperatura en la figura 2.34.

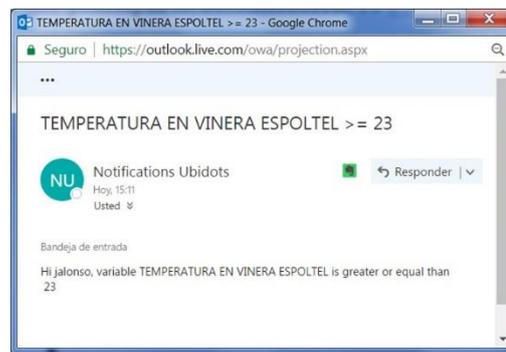


Figura 2.34. Mensaje de alerta de la herramienta Ubidots [32]

Ubidots, posee un tablero en donde se agregan widget de varias clases, según el uso que se les va a otorgar, dependiendo de los sensores que se deseen controlar. En el proyecto se utilizó 2 indicadores, que contienen cada una de las variables definidas en las fuentes de datos. Los widgets estarán presentes en el tablero y recibirán los datos de los sensores en tiempo real a través de un emulador de arduino denominado VIRTUAL BREADBOARD software libre que me caracteriza a un arduino en forma virtual. Tal como se muestra en la siguiente figura 2.35.

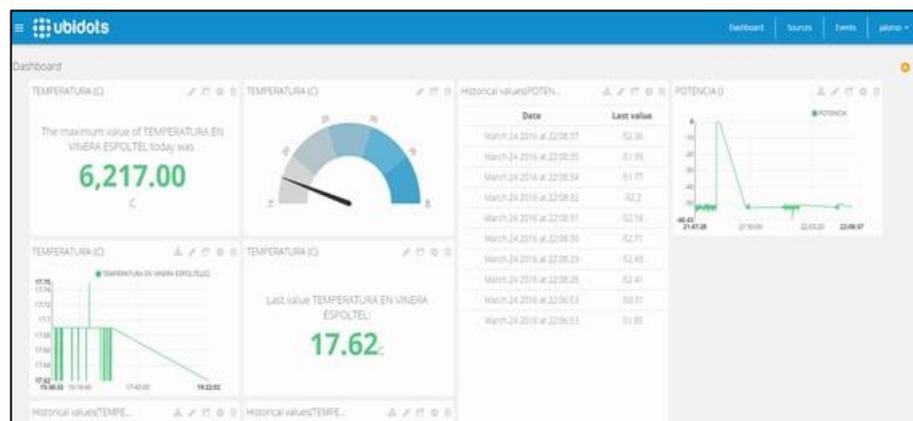


Figura 2.35. Tablero de visualización de las variables en Ubidots [32]

El software con la herramienta Ubidots, tiene un costo, mostrado en la figura 2.36.

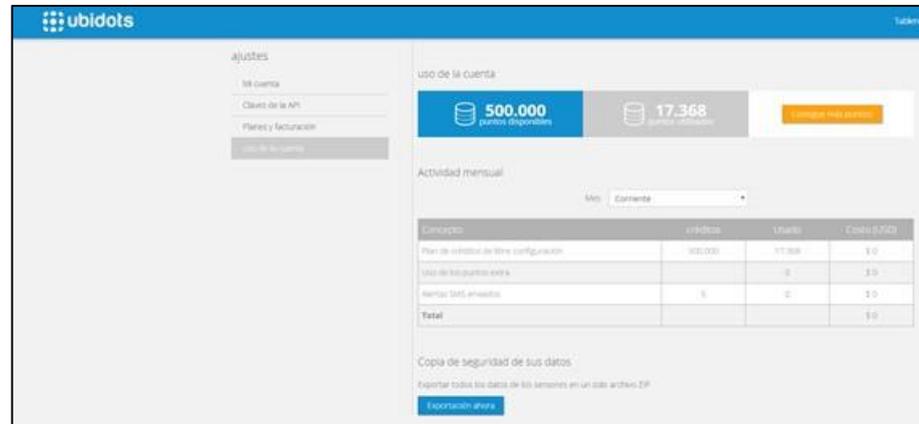


Figura 2.36. Costo de la herramienta Ubidots [32]

Claro está que la herramienta Ubidots, proyecta lo que la plataforma electrónica arduino censa como dato, cualquier falla de lectura presentada, se debe a que el arduino UNO, está leyendo mal el dato. Ante esta situación Ubidots envía un mensaje de alerta a las cuentas de correo configuradas para que solucione el problema. Como por ejemplo el detalle del error se muestra en la figura 2.37.



Figura 2.37. Error de lectura del arduino UNO que publica Ubidots [32]

Una vez configurado la herramienta Ubidots, hay que implementar en LabVIEW, los VI que me sirvan para publicar en la nube los datos de las mediciones de temperatura. En la figura 2.38, se muestra el vi en su panel frontal que va a servir para publicar las mediciones de temperatura en la herramienta Ubidots.

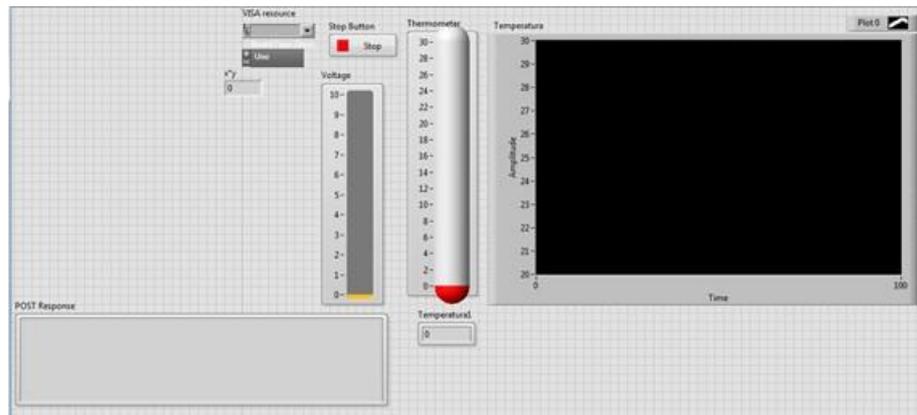


Figura 2.38. Vi para la publicación de la temperatura en Ubidots

Para visualizar el diagrama de bloques que ejecuta el panel frontal, se muestra la figura 2.39.

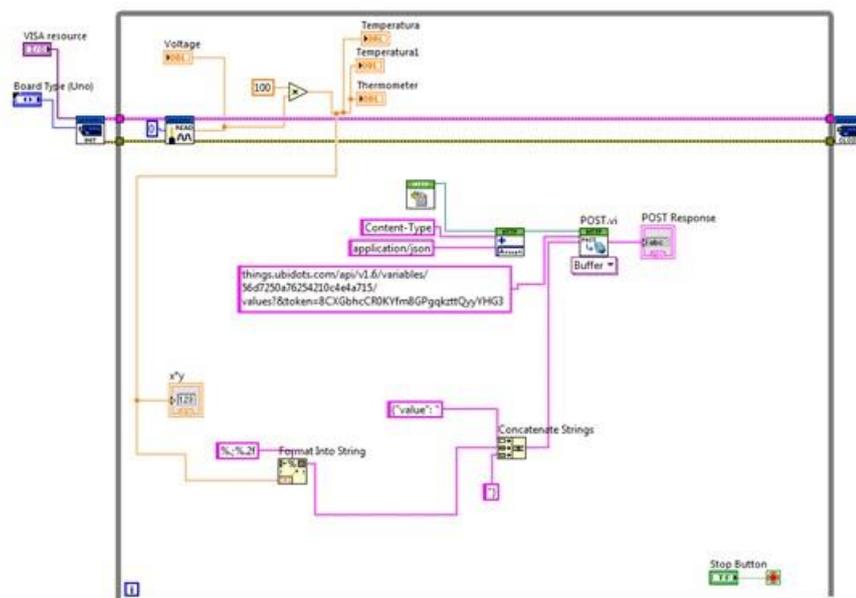


Figura 2.39. Vi diagrama de bloques de la temperatura en Ubidots.

Pues bien, ahora que es posible leer las temperaturas de los ambientes de las casetas de telecomunicaciones sin conectarnos remotamente, solo basta ingresar a la página web de ubidots y poder obtener estos datos de temperatura en tiempo real. En caso de cortes de energía, la herramienta se queda estática hasta que el sistema eléctrico sea reestablecido. Tal como se muestra en la figura 2.40.

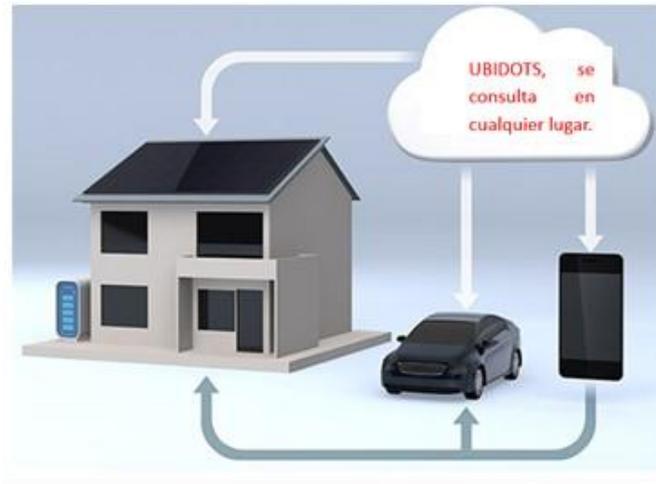


Figura 2.40. Consultas a la herramienta Ubidots [32]

2.5 Equipos de medición para las variables del experimento

Los equipos de medición utilizados para este trabajo investigativo, tanto para el ambiente de laboratorio como para el ambiente exterior son los siguientes:

2.5.1 Termómetro digital

El termómetro digital es una herramienta de medición tanto para la temperatura como para la humedad relativa. Inicialmente este trabajo investigativo conto con esta herramienta para sus mediciones en el Laboratorio de Telecomunicaciones, tal como muestra en la figura 2.41.



Figura 2.41. Termómetro digital, lectura de temperatura y humedad relativa. Hora: 8 am.

Pues bien, el laboratorio de simulación de telecomunicaciones, cuenta con cerramiento hermético y se realizó pruebas de mediciones de temperatura en forma manual. Teniendo como su estado inicial la figura 2.40, en la que se mostró los valores con el que se inició el experimento. Siendo la temperatura de 28 °C y la humedad relativa del 62%, se encendió el sistema de enfriamiento y con ello la ejecución del algoritmo de medición de potencia. Listo para tomar las lecturas de la temperatura con el termómetro digital.

Por lo cual, se realizó el análisis de las variaciones de temperatura y el impacto que ejerce en la lectura de la potencia recibida. Se documentó los siguientes hechos:

- Al iniciar las pruebas, la temperatura era de 28°C y empezó a funcionar el sistema de refrigeración configurado a 18°C, como resultado el termómetro digital empezó a marcar la variación de temperatura hasta llegar a estabilizarse a 21°C o en algunos casos hasta 20°C.
- La temperatura en el termómetro digital no llegó a la temperatura configurada en el sistema de refrigeración, pudiendo ser debido a las dimensiones del salón o problemas de enfriamiento del equipo.
- La primera parada del sistema dió como resultado un pico de potencia y su descenso debido a la variación de temperatura de 28°C a 21°C o hasta 20°C. hasta que logró estabilizarse la señal de potencia recibida.
- Luego ocurrió algo interesante, que se detalla a continuación, cabe mencionar que por lo general estuvimos en el laboratorio dos personas, con la puerta cerrada y seguía estabilizada la señal de potencia. Luego una persona ingreso y dejó medio abierta la puerta y la señal de potencia experimentó una variación debido a que temperatura varía al recibir calor del ambiente de la parte externa del laboratorio. Concluimos con mi compañera de proyecto que los USRP son muy sensibles a los cambios de temperatura.

- Luego por una hora estuvo el laboratorio con diez personas, la temperatura en el termómetro digital empezó a subir y con ello la potencia de la señal recibida empezó a bajar. Hubo una variación de potencia originada por la sensibilidad del USRP ante la presencia de fuentes térmicas a su alrededor.
- Con la finalidad de seguir haciendo pruebas en relación a variaciones de temperatura en el laboratorio se procedió a realizar observaciones por periodos de tiempos definidos en donde se procedió a apagar el sistema de refrigeración y luego a encenderlo, con el objetivo de ver su influencia en las variaciones de potencia recibida de la señal y con ello probar la hipótesis planteada en párrafos anteriores.

Todas las pruebas que se efectuaron con los termómetros digitales sobre los NI-USRP 2921, con el propósito de captar su temperatura y la humedad teniendo como dato principal la sensibilidad al calor de los equipos antes mencionados.

2.5.2 Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura utilizados para este trabajo investigativo son compatibles con la plataforma electrónica arduino UNO [37]. Dentro de los elementos que se han utilizado, tenemos el LM35 [36], cuya temperatura de operación que puede censar es de -50°C a 150°C , siendo su salida en forma lineal y análoga, tal como se muestra en la figura 2.42.

digital [38], cuya precisión es de 9 a 12 bit y su rango de operación para la medición de la temperatura es de -50°C a 125°C . En La figura 2.44, se muestra el sensor digital con su complemento que consta de una varilla sensitiva que sirve para captar la temperatura de objetos lejanos al sensor.

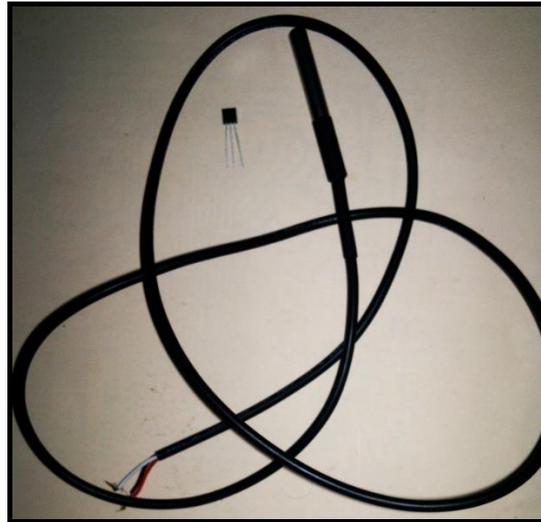


Figura 2.44. Sensor de temperatura DS18B20 [38]

La parte más complicada de utilizar el sensor DS18B20 es su programación, ya que el protocolo de comunicación (OneWire) obedece a una secuencia de bits para cada momento, en cada momento de realizar la lectura de la temperatura. Por lo cual arduino IDE ha implementado rutinas sencillas con la finalidad de hacer más fácil la configuración del sensor, obteniendo resultados como los mostrados por monitor serial en la figura 2.45,

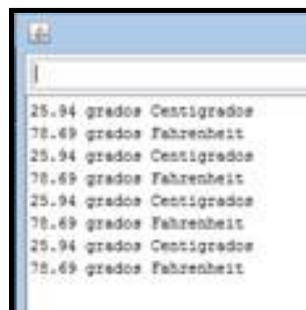


Figura 2.45. Lectura del sensor de temperatura DS18B20 [38]

El montaje del sensor de temperatura digital DS18B20 con la placa arduino UNO, se presenta en la figura 2.46, en donde se observa el cableado en los pines digitales y ya no en los pines analógicos como sucedía en la figura 2.42.

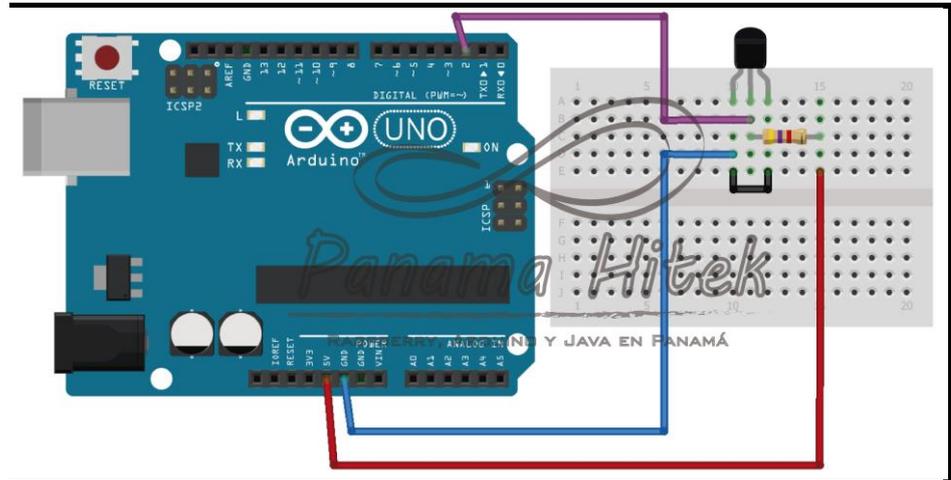


Figura 2.46. Montaje del Sensor de temperatura DS18B20 en un arduino UNO [38]

En el trabajo investigativo, se realizó el montaje en la placa de arduino de la siguiente forma, mostrado en la figura 2.47.



Figura 2.47. Montaje Real del Sensor de temperatura DS18B20 en una placa de arduino

2.5.3 Enrutador MikroTik

Los routers MikroTik [40], basa su funcionamiento en su parte lógica con el MikroTik RouterOS y su parte física con el MikroTik RouterBOARD [39], que en conjunto forman el dispositivo inalámbrico, más completo para implementar puntos de acceso, enlaces inalámbricos punto a punto en ambientes exteriores, por su alta potencia y su propagación mediante ráfagas.

El MikroTik RouterOS es la parte que le corresponde al software del dispositivo, mediante su sistema operativo bajo la plataforma Linux 2.6. Mientras que el MikroTik RouterBOARD, es la parte del hardware del dispositivo que opera a la intemperie soportando grandes temperaturas desde -30°C a $+70^{\circ}\text{C}$ y lluvias propias de la estación de invierno en la zona metropolitana de las ciudades de Guayaquil y Durán. Para este trabajo investigativo se utilizó el MikroTik Metal 5SHPn. Tal como se muestra en la figura 2.48.



Figura 2.48. MikroTik Metal 5SHPn [40].

Dentro del paquete de instalación del equipo de telecomunicaciones enrutador MikroTik Metal 5SHPn, para un buen uso del dispositivo inalámbrico vienen incluidos los siguientes elementos mostrados en la figura 2.49.



Figura 2.49. Implementos adicionales para Mikrotik Metal 5SHPn [40].

Por otro lado, las especificaciones técnicas del dispositivo inalámbrico con sus límites de operación se muestran en la figura 2.50.

Especificaciones del producto	
detalles	
Código de producto	RBMetal5SHPn
CPU frecuencia nominal	400 MHz
CPU número de núcleos	1
Arquitectura	MIPS-BE
Tamaño de RAM	64 MB
Puertos Ethernet 10/100	1
modelo de chip inalámbrico	AR9280
Los estándares inalámbricos	802.11a / n
PoE	Si
voltaje de entrada el apoyo	9 V - 30 V
monitor de Voltaje	Si
vigilancia de la temperatura de PCB	Si
Dimensiones	177x44x44mm, 193g
Sistema operativo	RouterOS v5
temperatura ambiente Probado	-30C A + 70C
nivel de licencia	4
UPC	AR7241
Consumo máximo de energía	11.5W
Número de cadenas	1
Tipo de almacenamiento	NAND
El tamaño de almacenamiento	128 MB
Precio sugerido	\$ 99.00

Figura 2.50. Especificaciones técnicas del Mikrotik Metal 5SHPn [40].

También tenemos especificaciones inalámbricas del Mikrotik Metal 5SHPn. En la figura 2.51, se muestra los valores de operación del dispositivo.

especificaciones inalámbricas		
5 GHz		
	La potencia de transmisión (dBm)	Sensibilidad de Recepción La potencia de transmisión (mW)
6mbit / s	31	-93 1259
54Mbit / s	27	-77 501
MCS0	30	-92 1000
MCS7	28	-71 631

parámetros inalámbricos pueden estar limitados en el software, en función de sus limitaciones regulatorias locales

Figura 2.51. Especificaciones inalámbricas del Mikrotik Metal 5SHPn [40].

Para este proyecto de investigación se configuro el Mikrotik Metal 5SHPn, con el uso de una interface gráfica amigable dada por la herramienta WinBox [41], que es compatible con el MikroTik RouterOS. El cual permite ingresar al dispositivo en forma remota sin necesidad de estar en el punto de transmisión. Tal como se muestra en la figura 2.52.

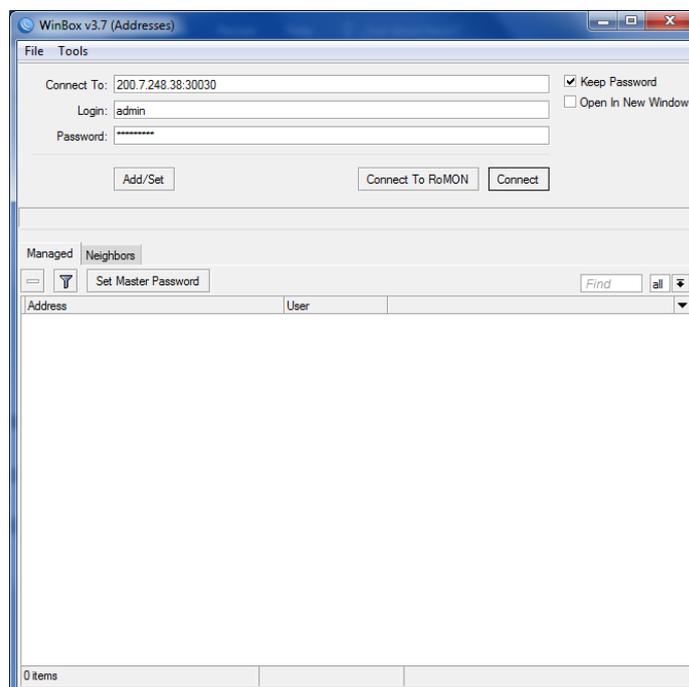


Figura 2.52. Herramienta WinBox versión 3.7 para la configuración del Mikrotik Metal 5SHPn [41].

La herramienta WinBox está disponible en la nube de Mikrotik [41] y se usó para acceder al dispositivo Mikrotik Metal 5SHPn de forma remota conociendo de la dirección ip, el usuario (login) y el password. Tal como se observó en la figura 2.52.

El acceso exitoso a la herramienta WinBox dió como respuesta, una pantalla de configuración para característica implementada en el router, tales como puntos de acceso, enlaces inalámbricos punto a punto entre otros, mostrada en detalle en la figura 2.53.

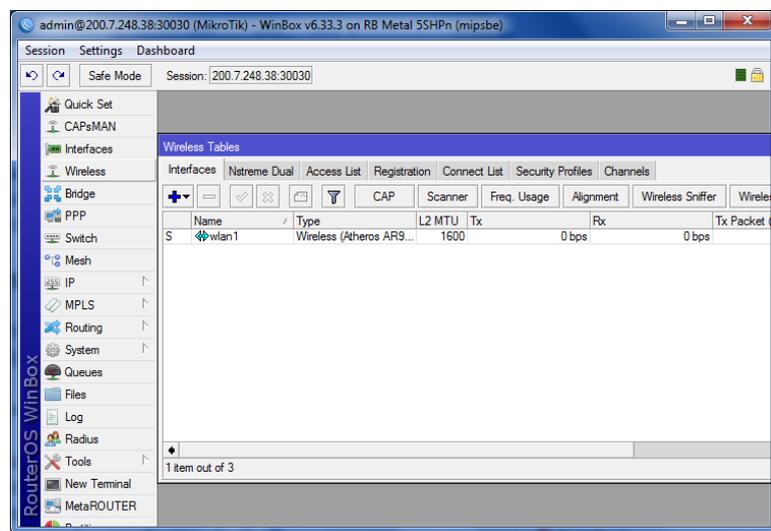


Figura 2.53. Pantalla de configuración del Mikrotik Metal 5SHPn [41].

Lo importante, para este trabajo investigativo es configurar la frecuencia del dispositivo inalámbrico, cual se va a implementar el enlace inalámbrico punto a punto entre la ESPOL en Guayaquil y UNIVISA de la ciudad de Durán. Teniendo como objetivo habilitar el transmisor con una frecuencia poco usada, que según estudios realizados se determinó la frecuencia de **5.520 MHz**, la cual presentaba menos interferencias.

Se probaron varias potencias de transmisión para el experimento, siendo la de **31 dBm**, la que dio los mejores resultados. El modo de transmisión es en forma de ráfagas continuas en la banda de los 5 GHz.

Por lo que, la configuración se la efectuó con la herramienta WinBox, ingresando primero a la característica de Wireless, luego se ingresó a la interface wlan1 y se seleccionó la carpeta de Wireless, en donde había que configurar el ancho de banda de la señal que se va a transmitir, que es de **5 MHz** y la frecuencia de operación de la banda. Tal como se muestra en la figura 2.54, en donde se detallan los parámetros de configuración de la herramienta.

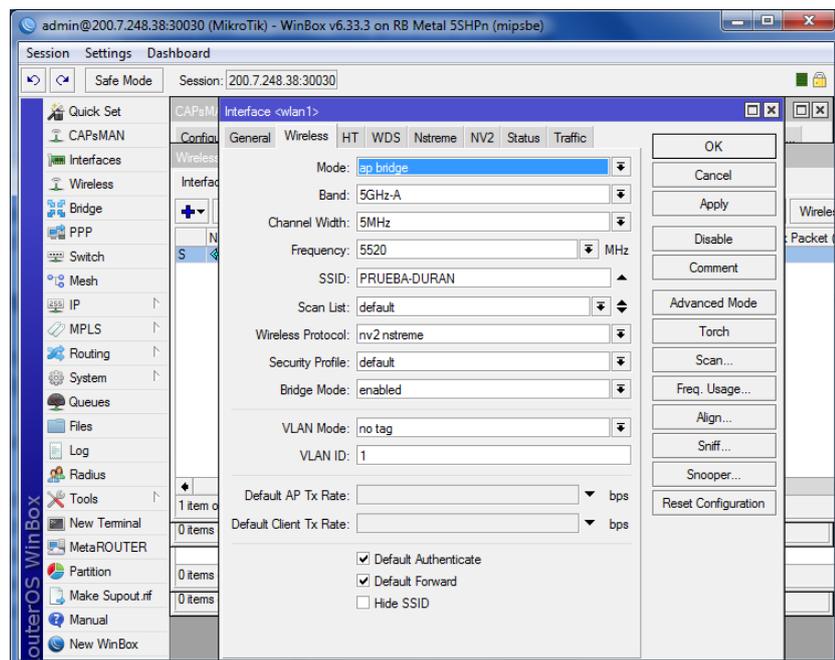


Figura 2.54. Configuración del ancho de banda y frecuencia de operación del enlace inalámbrico con Mikrotik Metal 5SHPn [41].

Una vez configurado el Mikrotik Metal 5SHPn, podemos empezar a efectuar la transmisión de la información y observar las lecturas de los datos en el receptor, pues bien podemos realizar un montaje de un enlace inalámbrico punto a punto [42], en donde tanto el transmisor como el receptor operaran con este dispositivo inalámbrico, tal como muestra la figura 2.55.



Figura 2.55. Enlace inalámbrico punto a punto con Mikrotik Metal 5SHPn [42].

2.5.4 Analizador de frecuencias FieldFox.

La funcionalidad del analizador de espectro del equipo FieldFox es la de convertir la señal de radio frecuencia en la entrada, a una frecuencia intermedia, haciendo el barrido desde una frecuencia inicial a una frecuencia final.

Es decir, los analizadores de espectro funcionan dividiendo el espectro en grupos de frecuencias bien definidos, para después aplicar un proceso matemático llamado Transformada Rápida de Fourier o FFT (Fast Fourier Transform), que transforma una señal del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo y viceversa. Por ejemplo: En el caso del audio lo que hace es tomar la señal que está en el dominio del tiempo que sería la música en el tiempo y la transforma en las distintas frecuencias que la componen.

Cabe mencionar que el resultado, es un valor dado de voltaje por cada frecuencia o grupo de frecuencias, que se gráfica en pantalla y muestra la distribución frecuencial o espectral de las señales que componen la mezcla en tiempo real.

Podemos mencionar que las gráficas presentadas el equipo analizador de frecuencia FieldFox [43], vienen definida por el fabricante, pero si se desea generar otras gráficas para un evento específico, se lo puede hacer mediante rutinas de programación desarrolladas en lenguaje C o la herramienta MATLAB, cargándola en su sistema operativo. En la

figura 2.54, se muestra al equipo analizador de frecuencias FieldFox N9916A, adquirido por el laboratorio de simulación de telecomunicaciones. Tal como se muestra en la figura 2.56.



Figura 2.56. Equipo analizador de frecuencias FieldFox N9916A [43].

A continuación, se presenta al equipo analizador de frecuencias FieldFox N9916A, con sus principales parámetros de configuración, tal como muestra la figura 2.57.

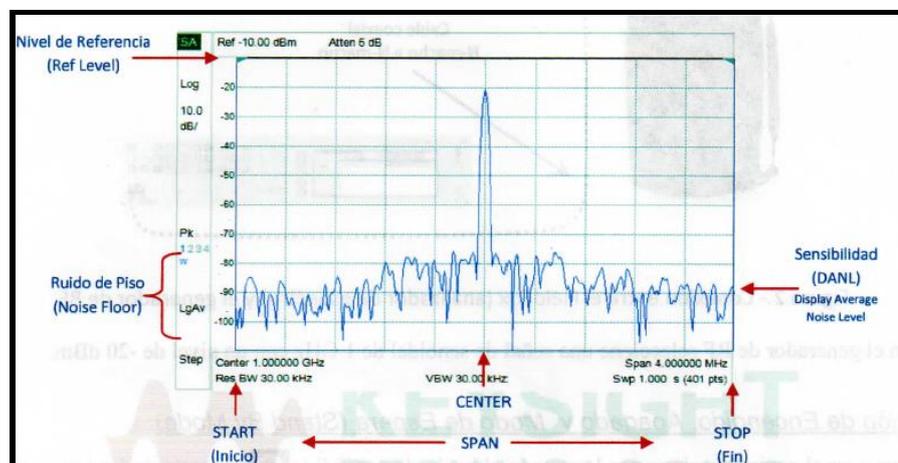


Figura 2.57. Principales parámetros de configuración del Equipo analizador de frecuencias FieldFox N9916A [43].

Cabe mencionar que el analizador de espectros antes mencionado, fue adquirido para el Laboratorio de telecomunicaciones como un equipo

fundamental y necesario para la realización de pruebas de medición, en base a una gama de funcionalidades que el equipo posee, lecturas de potencia, ancho de banda entre otras [44]. Fue recibido el día 14 de enero del 2016 junto con una charla de capacitación por parte del proveedor, para disponer de los conocimientos necesarios para poder operar el analizador. El equipo vino con los siguientes accesorios según la tabla 2.

<u>Ítems</u>	<u>Descripción</u>
1	N9916A 14 GHz analizador de frecuencias FieldFox. S/N MY53105418. Incluye estuche de transporte suave.
2	N9916A-233 Analizador de espectros.
3	N9916A-310 Medidor de potencia incorporado.
4	85518A kit de Calibración , 4-in-1, abierto, corto, carga y descarga, DC to 18 GHz, Tipo-N(m), 50 ohm.
5	N9910X-700 Cable resistente a fases, Tipo-N(m) to Tipo-N(f), 18 GHz, 3.28 ft or 1 m.
6	Antena Telescópica Tandy 25 MHz a 1296 MHz con adaptador BNC a N.
7	Cable N(m) a SMA (f) PE304.60

Tabla 2. Accesorios del Equipo analizador de frecuencias FieldFox N9916A [44].

El equipo FieldFox conecta al NI-USRP 2921, con el fin de tomar las lecturas de la potencia recibida en diferentes anchos de banda para un enlace inalámbrico simulado en el laboratorio de telecomunicaciones, figura 2.58..

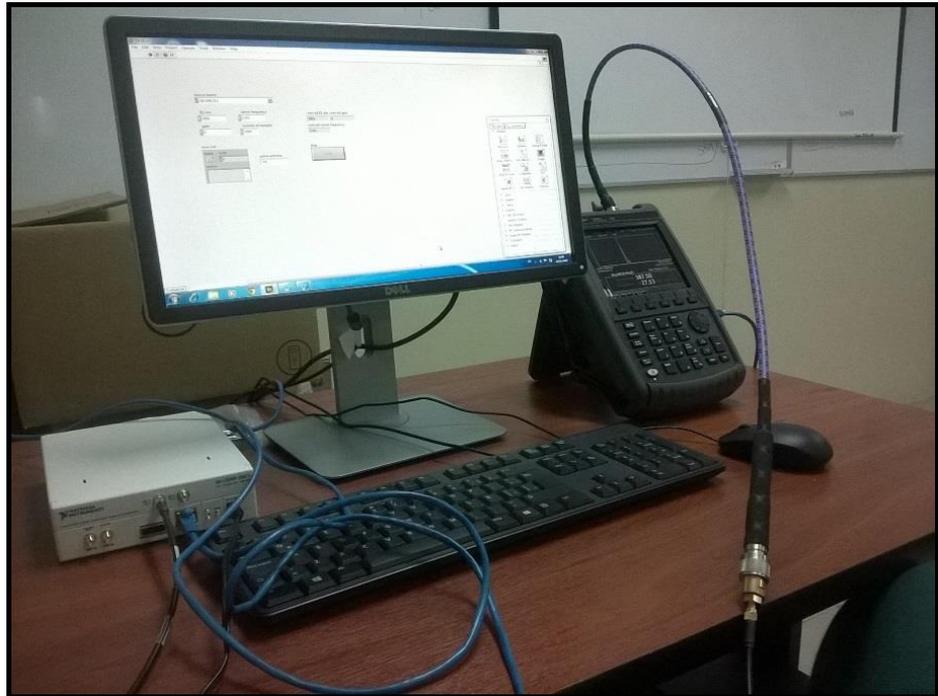


Figura 2.58. Montaje del Equipo FieldFox N9916A [45].

Las lecturas tomadas en el equipo FieldFox, en un determinado tiempo, se muestra en la figura 2.59.

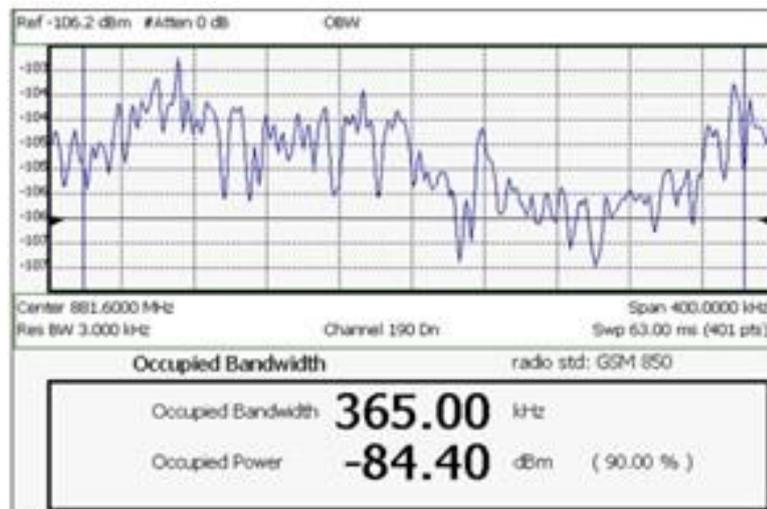
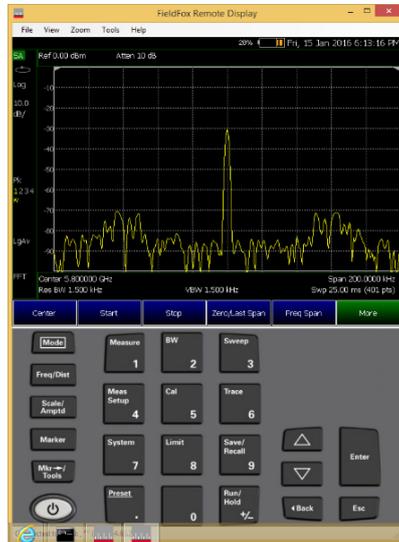


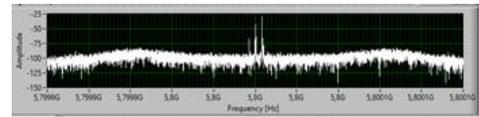
Figura 2.59. Lectura en el Equipo FieldFox N9916A [44].

A continuación, las pruebas de medición con el equipo FieldFox, se muestran en la figura 2.60.

PRUEBA SEÑAL 1:



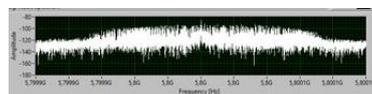
Ganancia: 0 dB.



RECEPCIÓN EN FIELDFOX



PRUEBA SEÑAL 2:



Frecuencia central: 5.8 GHz.

Ancha de banda: 126 KHz

(IQ RATE: 200k, Oversampling Factor: 2, Fiter Roll Off Parameter: 0.5)

Ganancia: 0 dB.



Figura 2.60. Lectura de potencia con el Equipo FieldFox N9916A [45].

Una vez explicado la forma de cómo se toma la lectura de potencia en el equipo FieldFox, se realizó el primer experimento en tiempo real, por

el lapso de 2 horas con 30 minutos, en intervalos de lectura cada 5 minutos. Podemos observar el comportamiento de las mediciones de potencia y ancho de banda con el equipo FieldFox, mostradas en la figura 2.61.

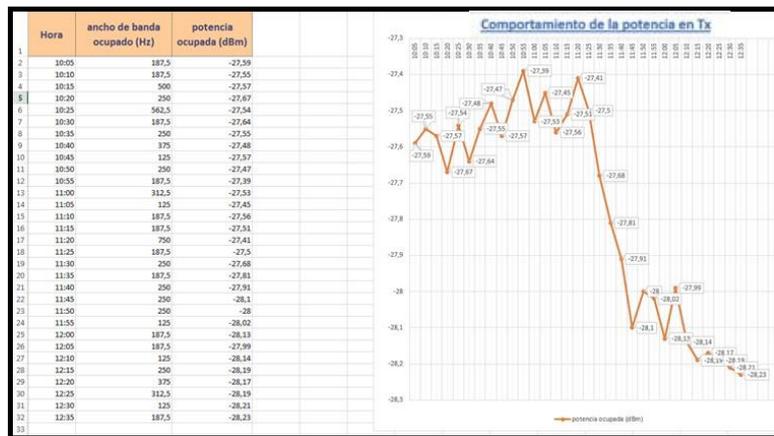


Figura 2.61. Comportamiento de la potencia con lecturas cada 5 minutos [45].

Como detalles a destacar, las lecturas de la potencia fueron tomadas con diversos anchos de banda: 187,5 Hz, 125 Hz, 500 Hz, 250 Hz, 375 Hz, 312,5 Hz entre otros, generadas por el equipo FieldFox. Al analizar el comportamiento de la potencia, se puede observar una caída en su gráfico. Por lo cual se formuló la hipótesis que dicha caída era generada por la variación de temperatura presente en el laboratorio de telecomunicaciones.

Por último, se realizó un segundo experimento en tiempo real, por el lapso de 4 horas con 45 minutos, en intervalos de lectura cada 5 minutos. En las mediciones de potencia y ancho de banda mostradas en la figura 2.62. En la cual se observa el comportamiento de la potencia en base a lecturas tomadas con el Equipo FieldFox N9916A.

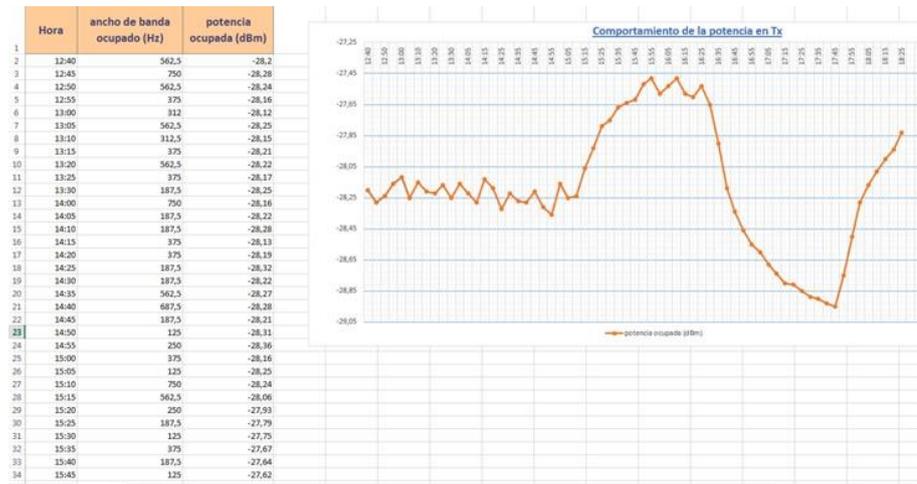


Figura 2.62. Comportamiento de la potencia por el lapso de 4 horas con 45 minutos. [45]

Similar al experimento anterior, la lectura de la potencia fue tomada con diversos anchos de banda y al analizar el comportamiento de la potencia, se puede observar una subida y una caída en su gráfico.

Por lo que puedo decir, que la subida se debe a que se cambió la parametrización en el sistema, en el campo de la ganancia para el transmisor, con la finalidad de mejorar la recepción de la señal, mientras que para la caída, se mantiene en la hipótesis que es generada por la variación de temperatura presente en el laboratorio de simulación de telecomunicaciones.

Cabe mencionar, que las muestras se tomaron en forma manual con el equipo FieldFox cada 5 minutos, para del ancho de banda ocupado en Hz y la potencia recibida en dBm, presentadas en la figura 2.63.

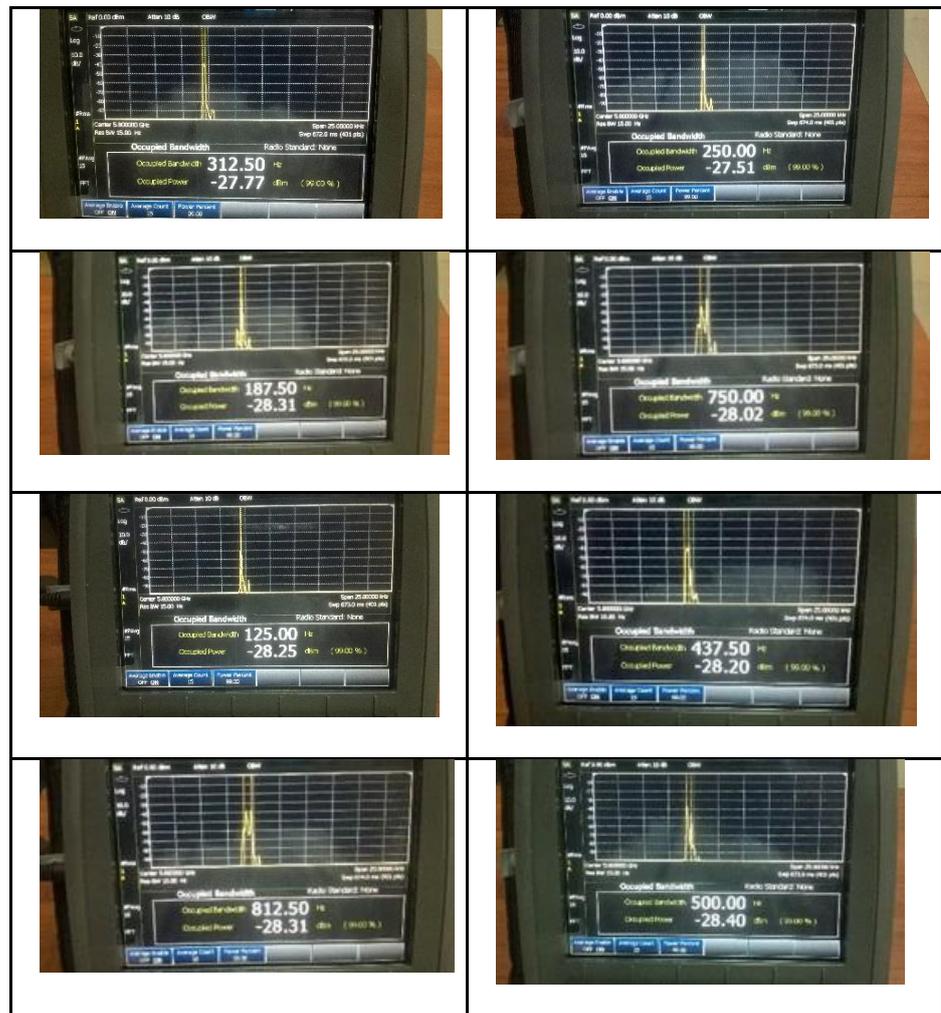


Figura 2.63. Toma de lecturas con Equipo FieldFox cada 5 minutos [45]

2.5.5 Pluviómetros Texas Instruments

Los pluviómetros son equipos de medición, que sirven para medir las precipitaciones por lluvias en un lugar específico [46] y fueron fabricados por la empresa Texas Instruments. Para este estudio se usaron cuatro pluviómetros tenemos cuatro pluviómetros distribuidos a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto entre las zonas metropolitanas de Guayaquil y Durán.

Los pluviómetros tienen en su interior dos mecanismos bien diferenciados:

- Mecanismo electromagnético que sirven para el conteo de la lluvia.
- Mecanismo de grabación de los tipos de los eventos de lluvia a través del registrador de datos.

En la figura 2.64, se muestra la forma de un pluviómetro sin conexiones eléctricas.



Figura 2.64. Pluviómetro Texas Instruments [45].

Para éste proyecto, el pluviómetro seleccionado de una gama de equipos de medición, fué el TR-525, que ofrece varias bondades y se ajusta a nuestras necesidades planteadas.

La recolección de datos para lluvias a través de los pluviómetros parece sencilla, su interior posee un mecanismo de balancín, con un dispositivo electromagnético que hace girar el balancín cada vez que sus compartimentos se llenan de agua, evacuando por su parte inferior el líquido de forma automática. En la figura 2.65, se muestra el interior de un pluviómetro.

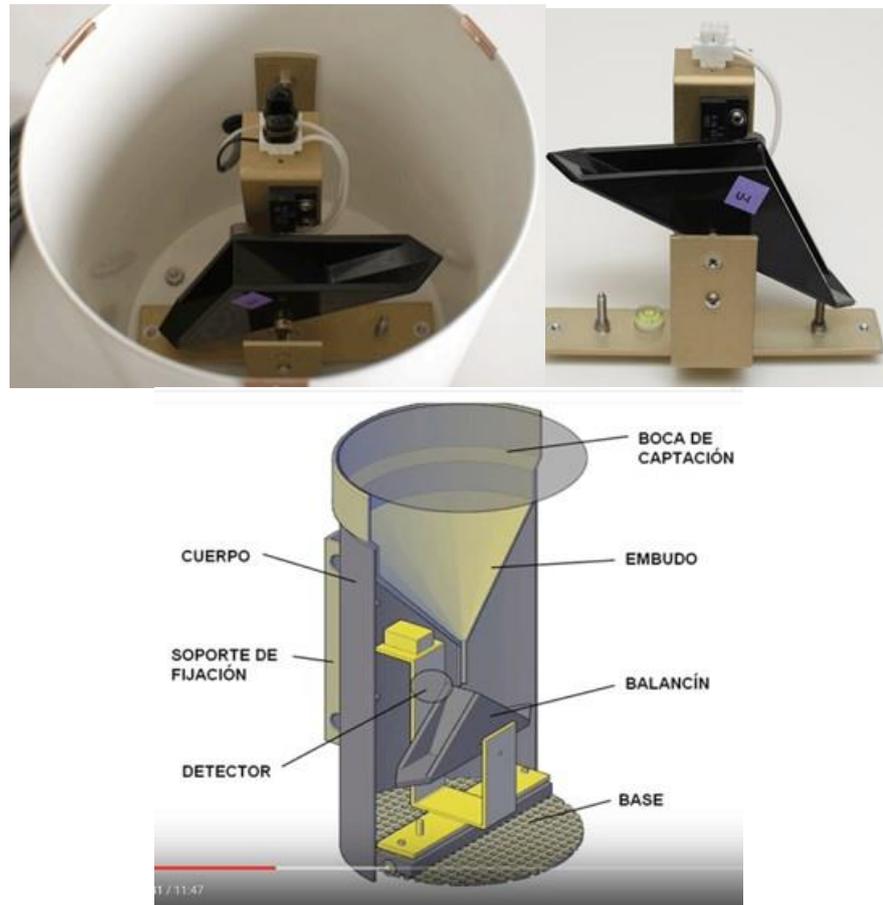


Figura 2.65. Interior del pluviómetro Texas Instruments [45].

Claro está que estos equipos al permanecer en la intemperie necesitan de protección, por lo cual en su interior poseen una malla metálica firme, que no permite el ingreso de basura que interrumpa el mecanismo de medición, por lo que es necesario un mantenimiento periódico al equipo.

Ahora, siendo más específicos con la recolección de datos para las lluvias con los pluviómetros, se detalla el principio matemático que hace posible la medición. Se basa en la capacidad de censar las gotas de agua a través del mecanismo electromagnético. El principio adoptado se detalla a continuación, se detalla en la figura 2.66.



Figura 2.66. Principios del pluviómetro [45].

Las gotas de lluvia se recolectan en los pluviómetros al ser influenciadas por la velocidad del viento, la recurrencia de las lluvias y el diámetro que tiene cada gota. Tal como se muestra en la figura 2.67.

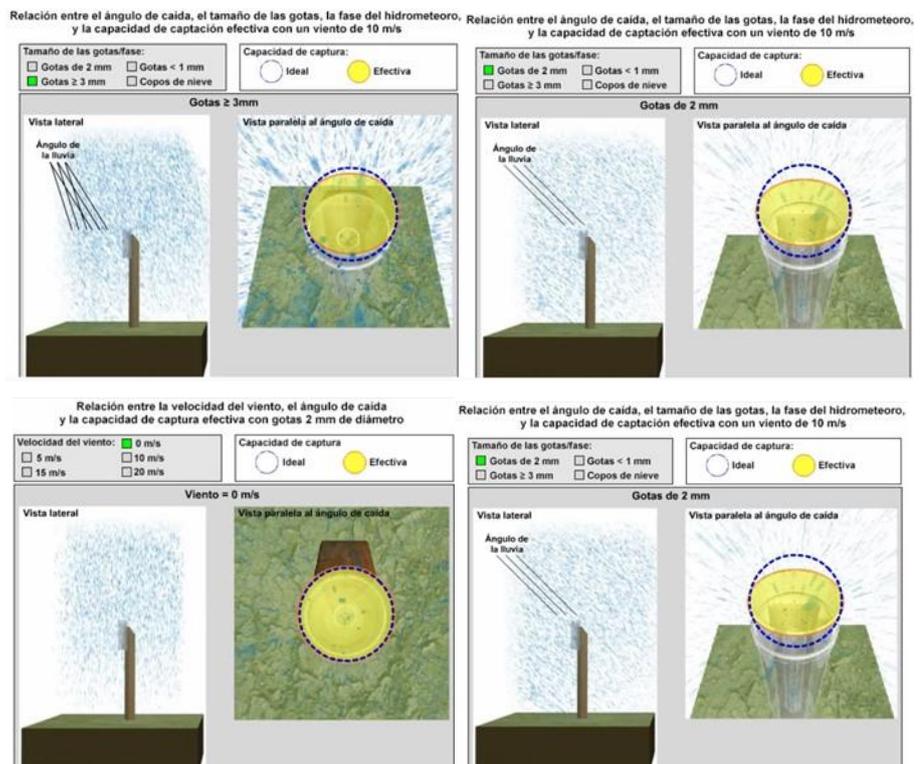


Figura 2.67. Caída de las gotas de lluvias en los pluviómetros [48].

Las gotas recolectadas deben de ser medidas mediante el uso de un registrador de eventos, que sirve como contador de cada uno de los movimientos del balancín denominado registrador de datos [49]. Este registrador de datos, es un dispositivo electrónico que consiste en una memoria USB, que graba los eventos bajo un formato dado. La figura 2.68, muestra la forma como colocar el registrador de datos en el pluviómetro.



Figura 2.68. Registrador de datos EL-USB-5, colocado en el pluviómetro [49].

El dispositivo USB, posee un excelente mecanismo de registro, en base a las siguientes especificaciones técnicas expuestas en la tabla 3.

Especificaciones	Rango de Valores
Eventos máximos / Frecuencia en cambios de estados	2 Hz
Tiempo mínimo en cada estado	100 ms
Resolución de eventos / Modos de estados	100 ms
Contador máximo/contador por frecuencia	100 Hz
Voltaje de entrada	3 a 28 V. DC
Rango de temperatura para su operación	-35°C a 80°C
Duración de la batería	1 año
Numero de lecturas	32510.00
Dimensiones	98x26.8x26.8 mm

Tabla 3. Hoja técnica del Registrador de datos EL-USB-5 [49].

Por lo cual, este dispositivo electrónico puede registrar:

- Eventos, como presencia de lluvia, hora y fecha exacta que ocurrió.
- Los cambios de estado del balancín involucran la presencia de lluvia. Mientras no hay lluvias permanece estático.
- Cada evento ocurrido es contado y grabado en la memoria USB.
- Según datos técnicos se puede contar hasta 32.510 eventos o cambios de estado.

Las lecturas tomadas por el registrador de eventos son gestionadas con el software EasyLogUSB [50], que se puede configurar para cada uno de los sitios donde se instalaron los pluviómetros, que se puede observar en la figura 2.69.

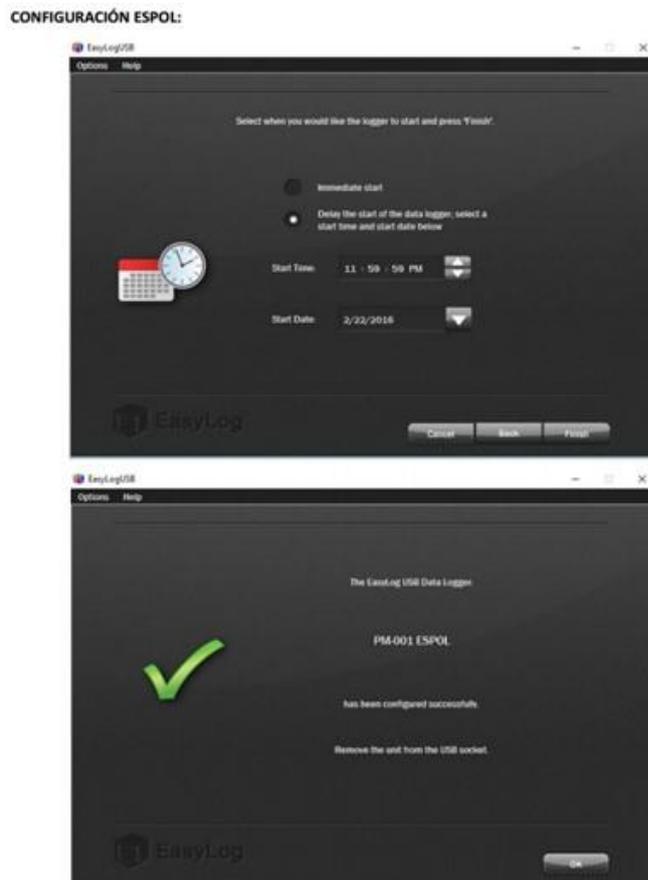


Figura 2.69. Configuración de Registrador de datos EL-USB-5 [50].

El proceso de recolección de la información se efectúa en base a la configuración detallada en la figura 2.67, que consiste determinar los tiempos en que el dispositivo va a censar eventos en caso de presencia de lluvias. Si no hay el registrador de datos no registra evento.

Cabe mencionar que la manipulación del registrador de datos es en forma manual y consiste en desconectar este dispositivo electrónico del puerto USB del pluviómetro, para luego conectarlo a una portátil donde con el software EL-USB-5, detiene el proceso de recolección de la información y permite descargar el archivo generado por los tips de lluvia que se ha censado en el sitio.

En la figura 2.70, en tiempo real, en donde se puede visualizar en forma gráfica la información mediante el software EasyLogUSB antes de ser grabada en el equipo portátil del laboratorio de telecomunicaciones.

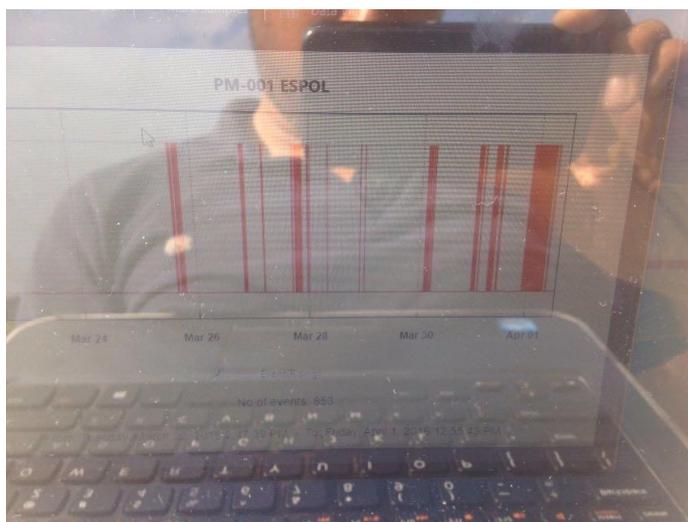


Figura 2.70. Información del Registrador de datos EL-USB-5 [45].

El proceso de grabar la información mediante el software EasyLogUSB, genera un archivo en formato texto, que contiene todos los eventos de lluvia que se ha censado en el sitio. Un ejemplo se muestra en la figura 2.71.

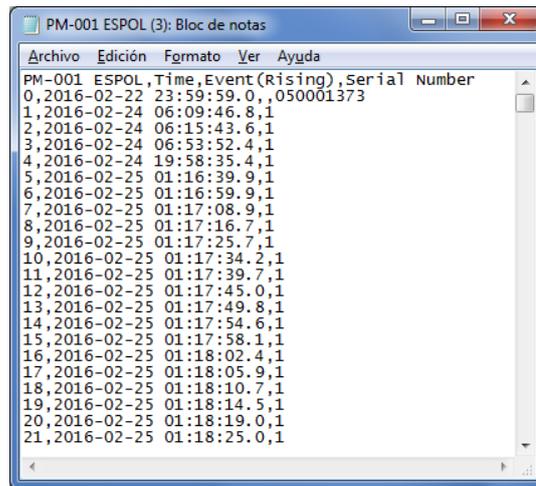


Figura 2.71. Información en archivo texto [45].

Cabe mencionar que el archivo texto posee una cabecera a colocada en su parte superior con el fin de distinguir el sitio de donde se están obteniendo los datos e impuesta por el software EasyLogUSB al momento de configurar las grabaciones de los datos en el equipo portátil. La distinción en la cabecera de cada lugar y se lo relaciona con un PM-00x.

La gráfica que genera el software EasyLogUSB de los tips o eventos censados por el registrador de datos se muestra en la figura 2.72.

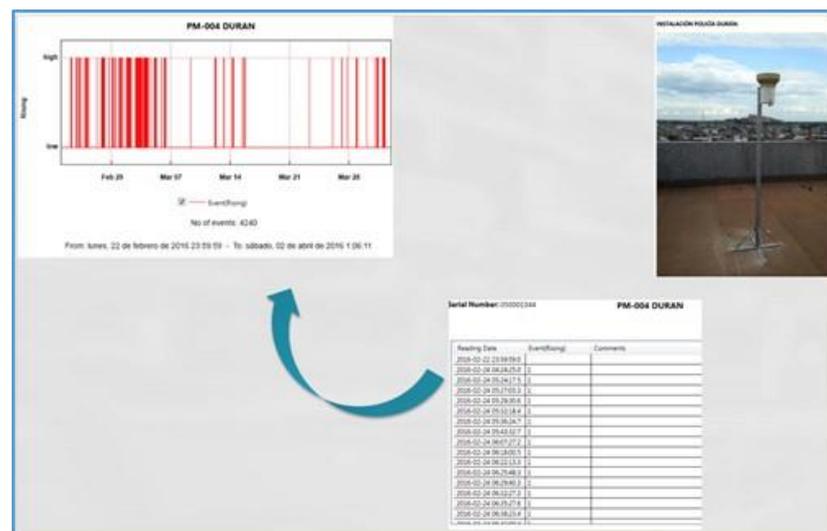


Figura 2.72. Tips o eventos censados en el pluviómetro de Durán [45].

Los pluviómetros fueron adquiridos a la empresa Servicios Tecnológicos S.A. de la ciudad de Quito, representantes únicos de la marca TEXAS INSTRUMENTS, en el país, mediante la plataforma de subasta electrónica.

Cabe mencionar que los equipos fueron instalados con el apoyo tecnológico de la empresa ganadora del concurso, en los sitios especificados y determinados mediante los estudios de factibilidad para el proyecto en la fase de implementación. Cada pluviómetro tiene una cobertura de aplicación y los sitios seleccionados están bajo el enlace inalámbrico punto a punto entre la ESPOL y UNIVISA de la ciudad de Durán.

Los sitios seleccionados para la instalación de los pluviómetros se encuentran detallados en la tabla 4.

<p>ESPOL (P1). Localizada en la terraza del primer edificio de la Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales.</p>	
--	--

Mapasingue (P2).

Localizada en el Cerro Mapasingue, en la terraza de una vivienda.



Kennedy (P3). Localizada en la Terraza de la empresa Telconet en Kennedy norte.





Tabla 4. Ubicación física de los pluviómetros a lo largo del enlace [45].

Los sitios seleccionados y graficados geográficamente en la aplicación google earth, se muestran en la figura 2.73.



Figura 2.73. Instalación de los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico entre la ESPOL y Durán [51].

Como los pluviómetros están localizados a lo largo del enlace inalámbrico, figura 2.73, las distancias en kilómetros al punto de ESPOL, se muestran en la figura 2.74.

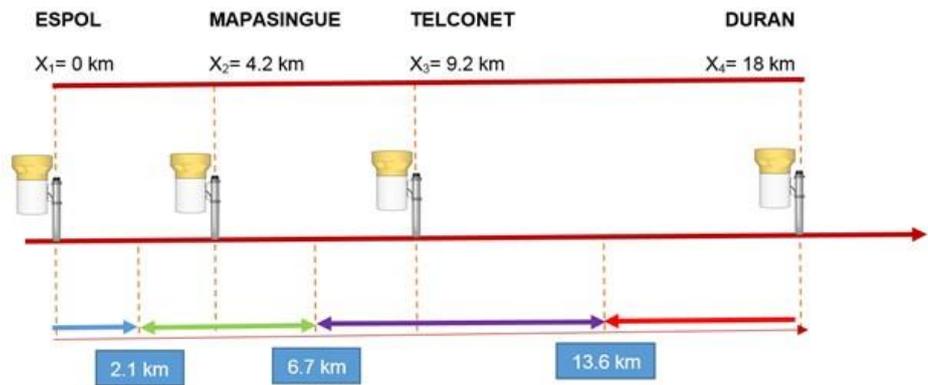


Figura 2.74. Distancia de los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico entre la ESPOL y Durán [51].

En base a las distancias de los pluviómetros podemos determinar la cobertura que ellos tienen a lo largo del enlace inalámbrico, tal como lo determino el Ing. Andreas Manzoni, siendo:

- ESPOL con una cobertura de 2.1 km del enlace.
- Mapasingue con una cobertura de 4.6 km del enlace.
- Kennedy con una cobertura de 6.9 km del enlace.
- Durán con una cobertura de 4.4 km del enlace.

2.6 Diagrama Esquemático del enlace inalámbrico

Para realizar el esquema del enlace inalámbrico, primeramente, lo tenemos que probar en el laboratorio con los equipos NI-USRP 2921, tal como se detalló en párrafos anteriores. Por lo cual este trabajo investigativo contempla los siguientes esquemas de enlaces:

- Enlace simulado en el laboratorio.
- Enlace inalámbrico ESPOL - Durán

2.6.1 Enlace simulado en el laboratorio.

Para realizar un enlace simulado en este proyecto investigativo, se requirieron los siguientes equipos:

- Dos computadoras, que sirven para ejecutar los algoritmos de transmisión y recepción de datos respectivamente. Modelo usado: core i7 Hewlett Packard.
- Tres NI-USRP 2921 y sus accesorios (antenas wifi, cables mimo adaptadores de poder), que nos sirven para tomar las medidas de la potencia recibida en el enlace inalámbricos simulado en el laboratorio de telecomunicaciones. Cabe mencionar que se efectuó pruebas de rendimiento de los equipos NI-USRP y se seleccionó solo dos y al tercero se lo designo como respaldo.
- Dos cables de red UTP de categoría 5e, que nos sirven para conectar los computadores a sus correspondientes NI-USRP 2921.
- Los algoritmos de transmisión y recepción de datos de potencia recibida desarrollados en LabVIEW por la Ing. Tanny Chávez, docente de la FIEC y encargada del Laboratorio de simulación de Telecomunicaciones.

El montaje de los equipos computacionales y de telecomunicaciones se muestran en la figura 2.75.



Figura 2.75. Montaje del enlace inalámbrico simulado [45].

2.6.2 Enlace inalámbrico ESPOL - Durán.

Una vez realizado el enlace inalámbrico simulado y luego de haber efectuado el estudio del comportamiento de la potencia recibida en un ambiente de laboratorio con condiciones ideales, se procedió a realizar el enlace inalámbrico en exteriores donde las condiciones del ambiente son muy diferentes e impredecibles, al depender de los cambios continuos de las variables ambientales, por lo cual las lecturas de potencia recibida a obtener son muy ser muy diferentes a las tomadas en un ambiente simulado.

Los equipos para implementar un enlace inalámbrico en el exterior, para este investigativo, son los siguientes:

- Dos computadoras core i7 Hewlett-Packard.
- Dos NI-USRP 2921 y sus adaptadores de poder.
- Dos cables de red UTP de categoría 5e, que sirven para conectar los computadores a sus correspondientes NI-USRP 2921.
- Los algoritmos de transmisión y recepción de datos de potencia recibida desarrollados en LabVIEW por la ing. Tanny Chávez.
- Los equipos de telecomunicaciones de la caseta de Recepción ubicada en ESPOLTEL dentro del Parcon tecnológico de la

ESPOL y la caseta de Transmisión ubicada en UNIVISA, en la ciudad de Durán.

Cabe mencionar que para realización de este proyecto de investigación se llegó a un acuerdo de cooperación tecnológica con los propietarios de las casetas de telecomunicaciones para colocar en su interior equipos e instrumentos de medición, para tomar las lecturas de la potencia recibida y las lecturas de la temperatura a la cual están expuestos los equipos.

Los equipos del proyecto fueron conectados a los equipos de telecomunicaciones de las casetas de transmisión y recepción, tanto en la ESPOLTEL dentro de la ESPOL, como en UNIVISA en la ciudad de Durán en su primera fase de implementación del enlace inalámbricos punto a punto. Para la segunda fase de implementación se coordinó con ESPOLTEL la configuración del enlace y sus pruebas de conectividad respectivas en sus torres, con la finalidad de garantizar de que ha subido el enlace y se puede empezar a enviar datos. Cabe mencionar que la distancia entre ambos puntos del enlace juega un papel muy importante en la determinación de la línea de vista, al igual que la propagación de la señal en un ambiente influenciado por sectores montañosos de las ciudades de Guayaquil y de Durán a lo largo del enlace.

El montaje del enlace inalámbrico implementado en el exterior se muestra en la figura 2.76.



Figura 2.76. Montaje del enlace inalámbrico en el exterior [45].

2.7 Esquema de transmisión y recepción en ambiente exteriores

Para efectuar el enlace inalámbrico en ambientes exteriores se realizaron dos esquemas para poder obtener la lectura de la potencia recibida, los cuales son:

- Con equipos NI-USRP 2921 en la transmisión y recepción
- Con equipos NI-USRP 2921 en la recepción y enrutador MikroTik en la transmisión

2.7.1 Equipos NI-USRP 2921 en la transmisión y recepción

El primer esquema creado para la obtención de las lecturas de potencia recibida fue de usar tanto en la caseta de transmisión como en la caseta de recepción los equipos NI-USRP 2921. Por lo cual este esquema se monitoreaba diariamente vía remota con teamviewer, para obtener la lectura de los sensores de temperatura y compararlos con la temperatura de operación de los equipos NI-USRP 2921 y determinar las alertas en caso de sobrepasar los límites de funcionamiento. Ante este acontecimiento era necesario ir al punto a observar el problema siendo este un limitante de operación. En el sitio de ESPOLTEL se podía chequear los equipos sin inconvenientes por la facilidad de acceso a las instalaciones por ser relacionadas a ESPOL, mientras que con UNIVISA era necesario contactar a la persona encargada del punto y solicitarle el ingreso.

Al aparecer alarmas, los problemas siguieron su curso y cada vez el limitante con UNIVISA fue creciendo. Por lo cual se hicieron nuevos estudios alternos para sortear el limitante de acceso.

El montaje del esquema en las casetas de transmisión y recepción del enlace inalámbrico con los equipos NI-USRP 2921, se muestra en la figura 2.77.



Figura 2.77. Montaje del enlace inalámbrico con equipos NI-USRP 2921 en las casetas de telecomunicaciones [45].

2.7.2 Equipos NI-USRP 2921 en la caseta recepción y enrutador MikroTik en la transmisión.

El segundo esquema de transmisión y recepción surgió del estudio de una mejora al primer esquema descrito anteriormente. Era necesario reemplazar el equipo de telecomunicaciones NI-USRP 2921 que servía como transmisor de la señal, al que se le aumentaba potencia a través de amplificadores, el cambio propuesto era el de un nuevo equipo muy utilizado en el mercado de los enlaces punto a punto, que incrementaba su potencia de transmisión sin necesidad de amplificadores adicionales y que funciona en el exterior de la caseta de transmisión soportando grandes temperaturas y lluvias de cualquier intensidad. Cabe mencionar que este equipo no transmite la señal en forma continua sino mediante ráfagas de información, lo cual optimiza el rendimiento del enlace.

El equipo con el cual se hizo el estudio, se llama enrutador MikroTik Metal 5SHPn [41], en el cual configuró la frecuencia con la que va a trabajar el enlace, su ancho de banda, tal como se muestra en la figura 2.78.

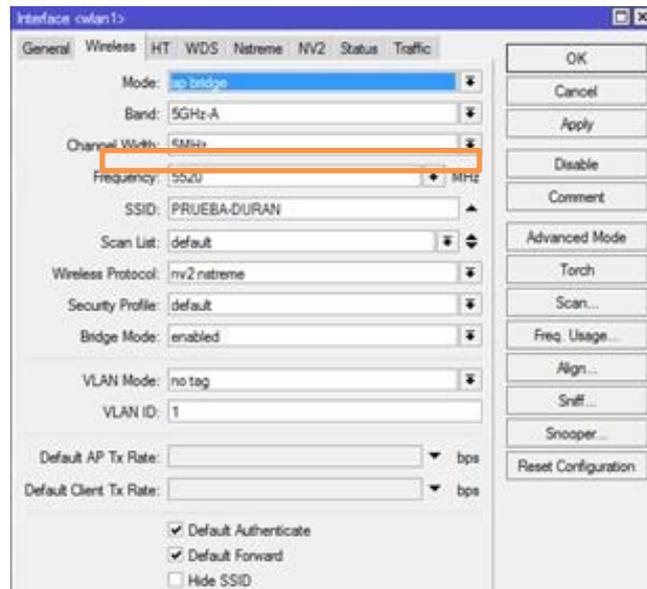


Figura 2.78. Frecuencia de operación del enlace inalámbrico con MikroTik Metal 5SHPn [41].

Con el enrutador MikroTik Metal 5SHPn, se solucionamos los problemas en la caseta de transmisión de la señal y en el otro punto del enlace en la caseta del receptor el equipo NI-USRP 2921, se puede tomar lecturas de la potencia recibida sin problema alguno, tomando como referencia un enlace punto a punto subido en condiciones normales, es decir sin lluvias. Pues bien, la presencia de lluvias puede ocasionar en un enlace inalámbrico punto a punto la disminución de la potencia por el efecto del fenómeno de la atenuación.

El montaje del enlace inalámbrico punto a punto entre la ESPOL y UNIVISA en la ciudad de Durán bajo éste nuevo esquema de transmisión y recepción, se muestra en la figura 2.79.

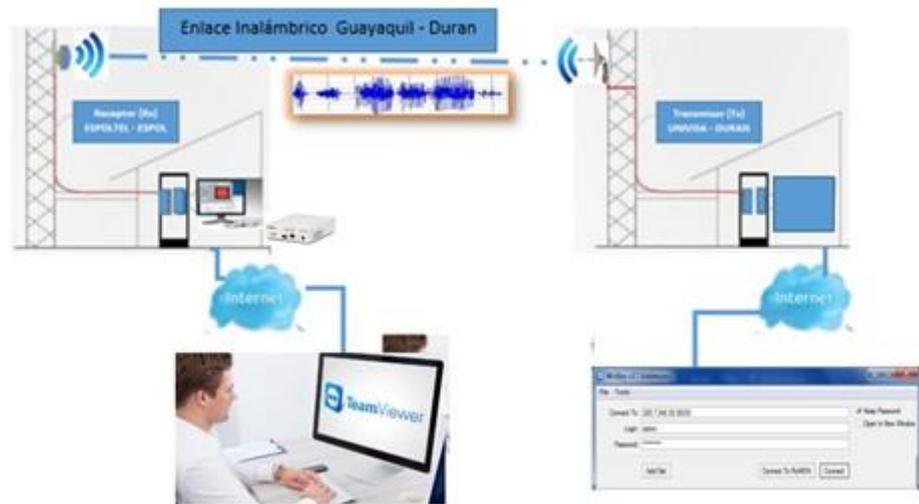


Figura 2.79. Montaje del enlace inalámbrico con equipos NI-USRP 2921 y MikroTik en las casetas de telecomunicaciones [45].

2.8 Definición de variables obtenidas del sistema de medición del enlace.

El sistema de medición que contempla los algoritmos de transmisión y recepción para obtener las lecturas de la potencia recibida del enlace y la temperatura de la caseta de telecomunicaciones, fue desarrollado en el lenguaje gráfico de LabVIEW por la Ing. Tanny Chávez.

2.8.1 Temperatura en la caseta de recepción.

La temperatura en la caseta de recepción es otra variable medible que nos interesa para nuestro estudio investigativo. Dicha caseta es el lugar donde se encuentran todos los equipos de telecomunicaciones del proveedor del servicio punto a punto, ubicada en ESPOLTEL, dentro del campo tecnológico de la ESPOL y climatizada con un sistema de enfriamiento que bordea los 23°C a 24°C.

Cabe mencionar que, en base a estudios realizados en el laboratorio podemos acotar que el equipo NI-USRP 2921 cuando opera con temperaturas de $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ [45], se obtienen lecturas de potencia recibida óptimas y válidas, con un comportamiento influenciado por las variables ambientales presentes a lo largo del enlace inalámbrico.

Cuando los límites de temperatura suben hasta llegar a la temperatura con la cual opera la caseta de recepción surgen anomalías en las lecturas de la potencia recibida originadas por el reloj de cuarzo que posee el NI-USRP 2921, que al ser sensible al cambio de temperatura en el medio efectúa un incremento de su frecuencia de operación reflejando este suceso en las lecturas de potencia. Por lo cual los comportamientos de las potencias recibidas de los dos casos acotados anteriormente son diferentes, reflejando mayores fluctuaciones de potencia cuando la temperatura en el medio se incrementa, tal como se muestra en la figura 2.80.

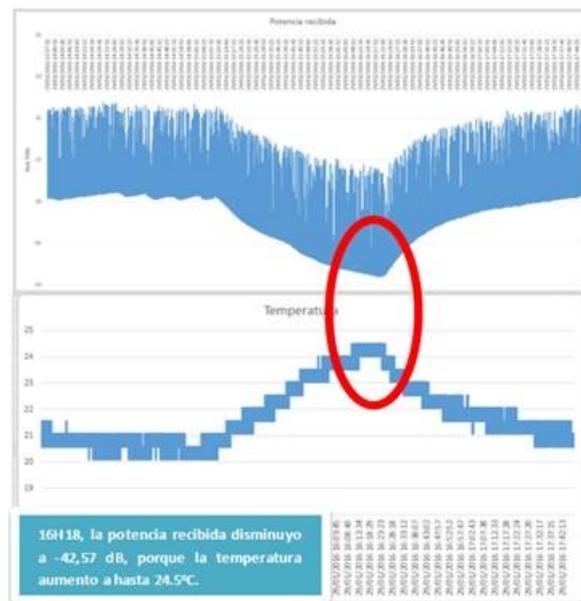


Figura 2.80. Lecturas de potencia recibida influenciada por cambios de temperatura en caseta de recepción [45].

Con la finalidad de solucionar el problema de la temperatura en la caseta de recepción se instalaron sensores de temperatura controlados por la plataforma electrónica del arduino UNO, se estableció un sistema de enfriamiento paralelo para mantener al NI-USRP 2921 en sus límites de operación para este proyecto investigativo. En sí, toda mejora para solucionar problemas latentes pasa por los estudios y pruebas respectivas en el laboratorio, determinando así su factibilidad.

2.8.2 Potencia recibida.

La potencia recibida es otra de las variables medibles obtenidas del enlace inalámbrico punto a punto y se lo logra al ejecutar los algoritmos de transmisión y recepción desarrollado en LabVIEW utilizando el equipo NI-USRP 2921 en la caseta de recepción. Tal como se muestra en la figura 2.81.

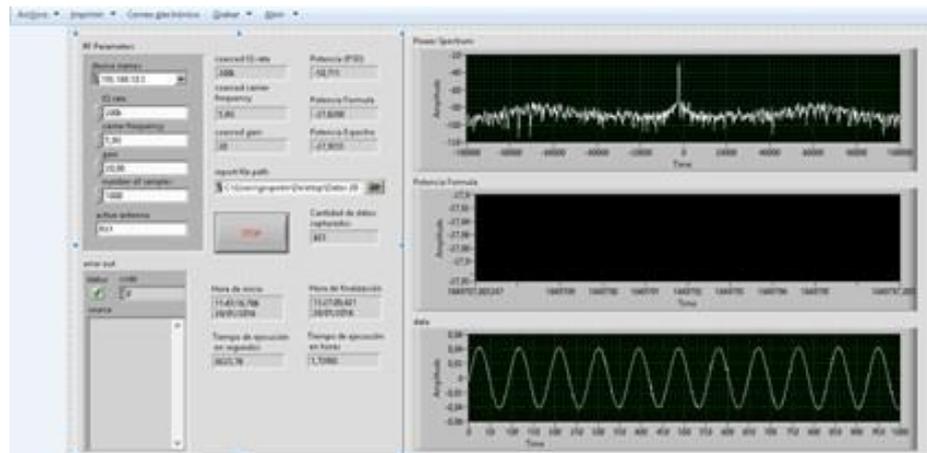


Figura 2.81. Sistema de medición de potencia personalizado para el experimento [45].

Las lecturas de la potencia recibida obtenidas en el enlace inalámbrico en un ambiente de lluvia varían desde -45 dBm a -37 dBm, observándose así picos bajos de potencias en el comportamiento de la variable. Por lo cual hay que determinar que origina la disminución o atenuación de la potencia en base a la influencia que tiene el medio exterior, cuando actúan sus variables ambientales.

La presencia de ruido a lo largo del enlace se refleja al observar las fluctuaciones en la señal de la potencia recibida, por lo cual el sistema de medición de potencia es adaptable a la sensibilidad del efecto del ruido en el medio ambiente, por lo que se requiere reconfigurar los márgenes de ruido que se consideran aceptables

2.8.3 Atenuación por llluvias.

La atenuación de la potencia originada por las llluvias predominantes a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto es una variable medible, que según nuestros estudios bordea entre los -8 dBm a -7 dBm.

Cabe mencionar que la atenuación por lluvia posee un modelo matemático publicado por la UIT, para poder obtener su valor teórico o específico, mediante la recomendación de la UIT-R P.838-3 [22]. Luego en base a los estudios realizados por el profesor PhD Damico en la ciudad de Turín [53], en su experimento con un pluviómetro en un enlace inalámbrico, determinó que los datos de lluvia recogidos por el registrador de datos, cuya unidad de medida son los tipos o eventos o milímetros (mm), se transforman en tasas de lluvia cuya unidad de medida es el mm/h, aplicando Técnica de Tormenta Sintética (SST) [52], En la figura 2.82, se muestra gráficamente la tasa de lluvia.

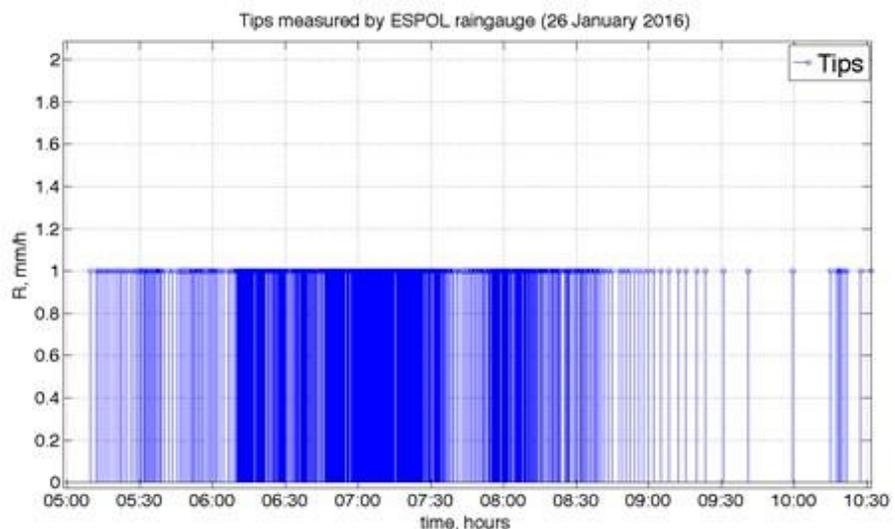


Figura 2.82. Tasa de lluvia de acuerdo a sus eventos de lluvia [51]

Luego mediante estudios realizados en campo en las ciudades de Guayaquil y Durán, por parte el profesor Andreas Manzoni [51], se logró determinar la velocidad del viento y la cobertura que tiene cada

pluviómetro en el enlace inalámbrico punto a punto, que en párrafos anteriores se detalló minuciosamente. Por lo cual el enlace inalámbrico punto a punto en presencia de lluvias se muestra en la figura 2.83.

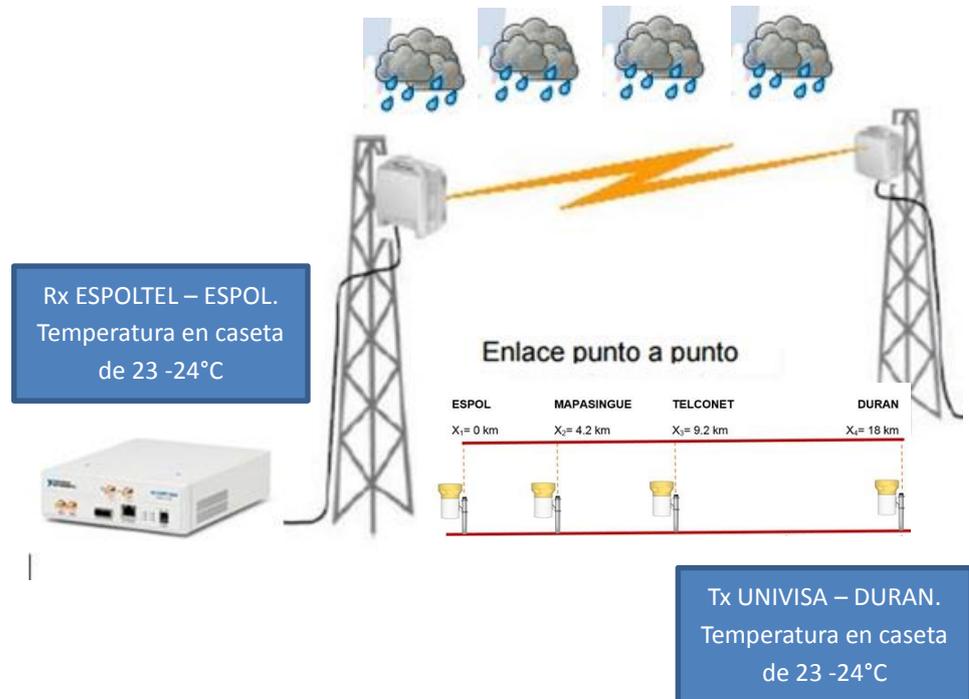


Figura 2.83. Enlace inalámbrico influenciado por eventos de lluvia [45]

CAPÍTULO 3

3. VARIABLES AMBIENTALES Y LA PROPAGACIÓN DE UNA SEÑAL INALÁMBRICA.

En el capítulo 3, se detallan la definición de las variables ambientales y su impacto en las mediciones de la potencia recibida por el receptor en un enlace inalámbrico punto a punto, así como también la propagación de la señal en el medio ambiente dada las distancias entre las torres de transmisión y recepción ubicadas en la ciudad de Durán y en la ciudad de Guayaquil, respectivamente.

3.1 Consideraciones generales en la propagación de la señal.

La propagación de la señal en nuestro enlace inalámbrico punto a punto entre ESPOLTEL Y UNIVISA en la ciudad de Durán, esta propenso a una serie de cambios influenciados por la acción de las variables ambientales cuando se presentan en el medio ambiente a lo largo del enlace. Cabe mencionar que el transmisor debe de tener una buena línea de vista para que la señal no tenga problema alguno al llegar al receptor, porque de lo contrario habría problemas en la comunicación inalámbrica. Es decir que los sitios donde se encuentran físicamente las antenas de transmisión y recepción no deben de tener ningún obstáculo dentro de sus 18 km [51], que es la distancia entre sus torres del enlace, tal como se muestra en la figura 3.1 desarrollada en google earth.



Figura 3.1. Enlace inalámbrico en google earth [45]

Luego de presentar la distancia física que debe de cubrir el enlace inalámbrico con google earth, ahora mediante la herramienta radio mobile se procedió a verificar la línea de vista existente entre las torres de transmisión y recepción del enlace. Tal como se muestra en la figura 3.2.

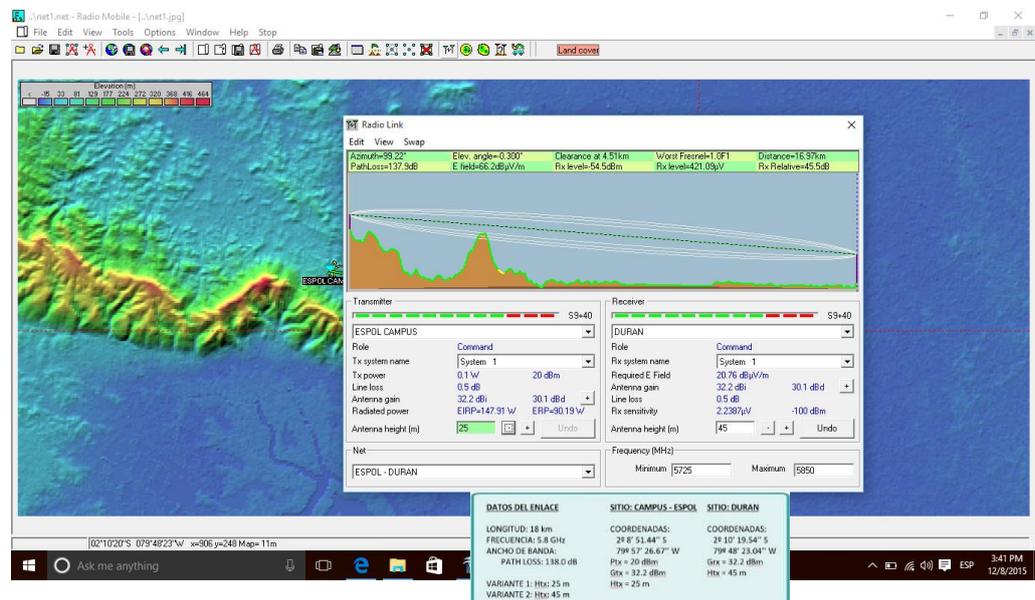


Figura 3.2. Enlace inalámbrico con la herramienta radio mobile [45]

Como se mencionó anteriormente la propagación de la señal puede ser influenciada no solo por las variables ambientales sino también por factores que afectan a la transmisión de la señal desde la torre de UNIVISA en la ciudad de Durán hasta la torre de ESPOLTEL en el parque tecnológico de la ESPOL [54], tales como:

- La atenuación
- El ruido existente en el medio
- Las pérdidas de la señal en espacio libre
- El efecto multitrayecto

Entre otros efectos, de los cuales este estudio considera importantes.

La atenuación, básicamente se debe a la pérdida de la potencia de la señal transmitida con el enrutador MikroTik en la torre transmisora de UNIVISA de la ciudad de Durán, a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto hasta llegar a la torre de recepción de ESPOLTEL, para ser interpretada por el equipo de telecomunicación NI-USRP 2921 y visualizada su señal de potencia recibida a través del sistema de medición desarrollado en LabVIEW.

La señal de potencia recibida debe ser mayor al ruido del ambiente, por lo cual el sistema de medición desarrollado en LabVIEW contempla niveles de sensibilidad al ruido, con el fin de captar solo lecturas válidas de potencia. En la figura 3.3 se muestra las lecturas de potencia y las pérdidas de la misma por la influencia de lluvias en el enlace inalámbrico punto a punto.

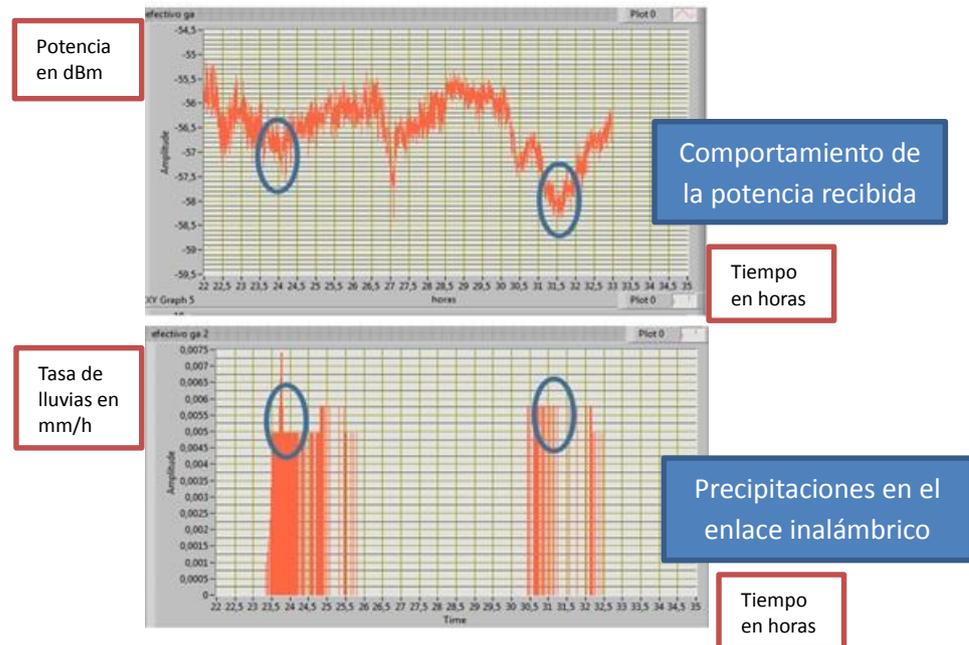


Figura 3.3. Enlace inalámbrico con pérdidas por presencia de lluvias [45]

Las pérdidas de la señal en espacio libre ocasionadas por las grandes distancias de separación que posee el enlace inalámbrico punto a punto, que para nuestro estudio es de 18 km, hace que la señal se disperse en un medio ambiente propenso a ser influenciado por las variables ambientales. La fórmula que permite calcular esta pérdida según la recomendación de la UIT-R P.525-2 [55], es la siguiente:

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi fd)^2}{c^2} \quad (3.1)$$

Ecuación 3.1. Relación entre la potencia de transmisión y recepción [55].

Donde:

P_t = potencia de la señal transmitida

P_r = potencia de la señal recibida

λ = longitud de onda portadora

d = distancia de propagación entre las antenas

c = velocidad de la luz = 3×10^8 m/s

f = frecuencia de la portadora

Las unidades de la potencia en la ecuación 3.1, pueden ser expresada en dB, a través de la siguiente fórmula:

$$L_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} \quad (3.2)$$

Ecuación 3.2. Pérdidas de las relaciones de potencias en dB [55].

Donde:

L_{dB} = pérdida de potencia en dB

P_t = potencia de la señal transmitida

P_r = potencia de la señal recibida

Al reemplazar la relación de potencias de la ecuación 3.1, en la ecuación 3.2 obtenemos la ecuación 3.3, que se detalla a continuación:

$$L_{dB} = -20 \log_{10} \lambda + 20 \log_{10} d + 21,98 dB \quad (3.3)$$

Ecuación 3.3. Pérdidas de potencia en dB [55].

Donde:

L_{dB} = pérdida de potencia en dB

λ = longitud de onda portadora

d = distancia de propagación entre las antenas

Ahora tomando en cuenta la ganancia de la antena, la ecuación 3.1, se transformaría en la ecuación 3.4, tal como se muestra en la siguiente fórmula.

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi)^2 d^2}{G_r G_t \lambda^2} \quad (3.4)$$

Ecuación 3.4. Relación entre potencias y ganancias [55].

Donde:

G_t = ganancia de la antena transmisora

G_r = ganancia de la antena receptora

P_t = potencia de la señal transmitida

P_r = potencia de la señal recibida

En base a las áreas efectivas de las antenas, la ecuación 3.1, se transformaría en la ecuación 3.5, tal como se muestra en la siguiente fórmula.

$$\boxed{\frac{P_t}{P_r} = \frac{(\lambda d)^2}{A_r A_t}} \quad (3.5)$$

Donde:

P_t = potencia de la señal transmitida

P_r = potencia de la señal recibida

A_t = área efectiva de la antena que transmite

A_r = área efectiva de la antena que recibe

λ = longitud de onda portadora

d = distancia de propagación entre las antenas

Finalmente obtenemos de la ecuación 3.1, la ecuación 3.6 con la relación de potencias con respecto a la frecuencia de la portadora, tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\boxed{\frac{P_t}{P_r} = \frac{(cd)^2}{f^2 A_r A_t}} \quad (3.6)$$

Ecuación 3.6. Relación de potencia de transmisión y recepción [55].

Donde:

P_t = potencia de la señal transmitida

P_r = potencia de la señal recibida

A_t = área efectiva de la antena que transmite

A_r = área efectiva de la antena que recibe

d = distancia de propagación entre las antenas

c = velocidad de la luz = 3×10^8 m/s

f = frecuencia de la portadora

La ecuación 3.6 se puede expresar en dB, aplicando la ecuación 3.2 y reemplazando su relación de potencias, creándose así la ecuación 3.7, tal como se detalla en la siguiente fórmula.

$$L_{dB} = -20\log_{10} f + 20\log_{10} d - 10\log_{10}(A_r A_t) + 169,54dB \quad (3.7)$$

Ecuación 3.7. Pérdidas de potencia en dB [55].

Donde:

L_{dB} = pérdida de potencia en dB

A_t = área efectiva de la antena que transmite

A_r = área efectiva de la antena que recibe

d = distancia de propagación entre las antenas

f = frecuencia de la portadora

A continuación, se muestra en la figura 3.4, un ejemplo de un enlace inalámbrico, en donde mediante estudios se han podido determinar las pérdidas de la potencia en el espacio libre con diferentes frecuencias de operación en su portadora y con distancias considerables entre las antenas de transmisión y recepción.

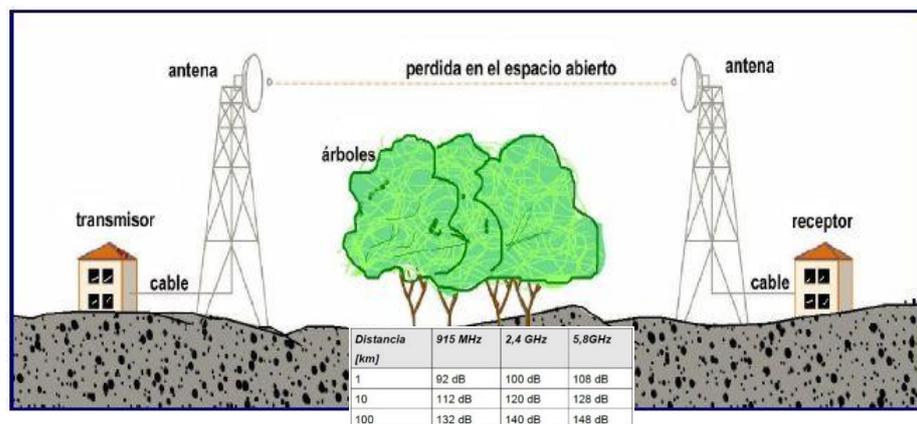


Figura 3.4. Enlace inalámbrico con pérdida en espacio libre [56]

El ruido en el medio ambiente afecta a la transmisión en un enlace inalámbrico punto a punto, por lo cual hay que determinar los niveles de ruido que se consideran aceptables al configurar el sistema de medición, con la finalidad de que al llegar la señal en el receptor sus lecturas de potencia recibida se han válidas y no valores de ruido. A continuación, se muestra un ejemplo de una señal con ruido en la figura 3.5.

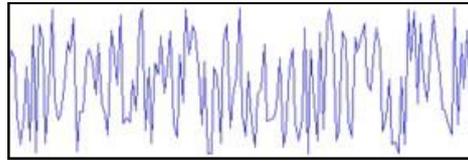


Figura 3.5. Señal aleatoria o ruido [45]

El efecto multitrayecto se debe a los múltiples obstáculos que la señal tiene que pasar antes de llegar al receptor, ocasionando copias de la señal, pero con efectos de retardos en la llegada de la misma, por lo cual la señal original llegara primero y luego sus copias.

Este efecto en nuestro enlace pudiera darse con el obstáculo uno denominado el cerro Las Cabras en la ciudad de Durán y con el obstáculo dos denominado el Cerro de Mapasingue en la ciudad de Guayaquil que ocasionaría el efecto multitrayecto, pero se solucionó este problema de línea de vista subiendo las antenas tanto en el transmisor como en el receptor. Tal como se lo demostró en la figura 3.2 con la aplicación radio mobile. Ahora con la finalidad de tener en claro el concepto del multitrayecto se presenta la señal original y sus copias al momento de ser recibidas por el receptor en la figura 3.6.y 3.7.

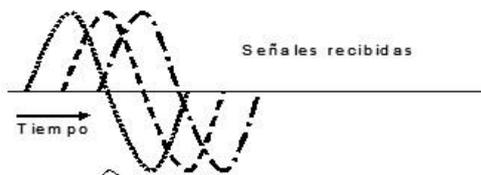


Figura 3.6. Señal original y copias recibidas [56]

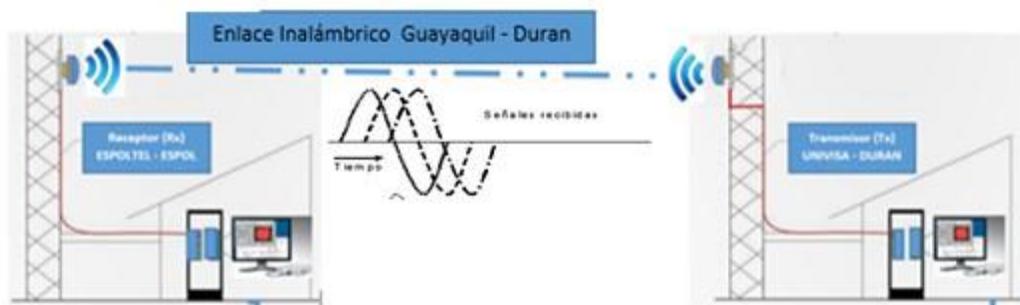


Figura 3.7: Ejemplo de Propagación Multitrayecto [45]

3.2 Definición de las variables ambientales.

Las variables ambientales que se tomaron en consideración para este estudio investigativo que involucra la influencia en las caídas de potencia en un enlace inalámbrico punto a punto, son los siguientes:

- La temperatura en el ambiente
- Humedad relativa
- Sensación térmica
- Radiación solar

3.2.1 La temperatura en el ambiente

La variable ambiental que concierne a la temperatura en el ambiente tiene una influencia no despreciable en términos de afectación en el enlace inalámbrico punto a punto entre ESPOLTEL y UNIVISA.

La forma como se obtiene los valores de temperatura es mediante la colaboración científica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) [4], utilizando los datos obtenidos de sus sensores de temperatura de las estaciones meteorológicas ubicadas por la iglesia del Divino Niño en la ciudad de Durán y por el Liceo Cristiano en la ciudad de Guayaquil, las cuales físicamente quedan en la trayectoria del enlace inalámbrico punto a punto, por lo cual se puede estipular en este estudio, la incidencia de esta variable en el comportamiento de la potencia recibida en el receptor.

Con la base de datos otorgado por el INAMHI sobre las variables ambientales y las lecturas de potencia recibida del enlace inalámbrico punto a punto, se procede a graficar el comportamiento de la temperatura en el ambiente y la potencia, tal como se muestra en la figura 3.8.

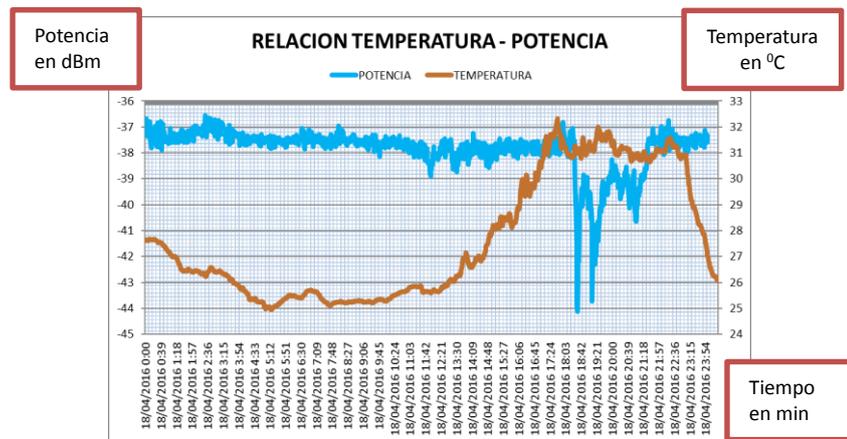


Figura 3.8: Relación entre las variables de temperatura y potencia recibida [45]

Como se puede observar existe relación entre las gráficas de las variables de temperatura y potencia. La relación consiste en una caída de la potencia recibida de 7 dBm, en un lapso de tiempo cuando la temperatura del medio ambiente sube hasta 7°C.

Por lo cual este es el objetivo principal de nuestro estudio que involucra la relación existente entre las variables ambientales y la variable de la potencia recibida en el receptor.

3.2.2 La humedad relativa

La variable ambiental de la humedad relativa, mide la carga porcentual del vapor de agua que asciende a la atmosfera y se distribuye por todo el medio ambiente. Cuando el vapor de agua llega a su punto de saturación, el vapor se condensa, dando un estado de rocío formándose pequeñas gotas de agua en la atmosfera. Que al ir incrementándose dicho vapor estas pequeñas gotas de agua crecen hasta llegar a su diámetro perfecto en el cual la fuerza de la gravedad las atrae al suelo ocasionando así las lluvias.

La humedad relativa guarda mucha relación con la potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto, según su comportamiento gráfico de las variables, tal como se muestra en la figura 3.9.

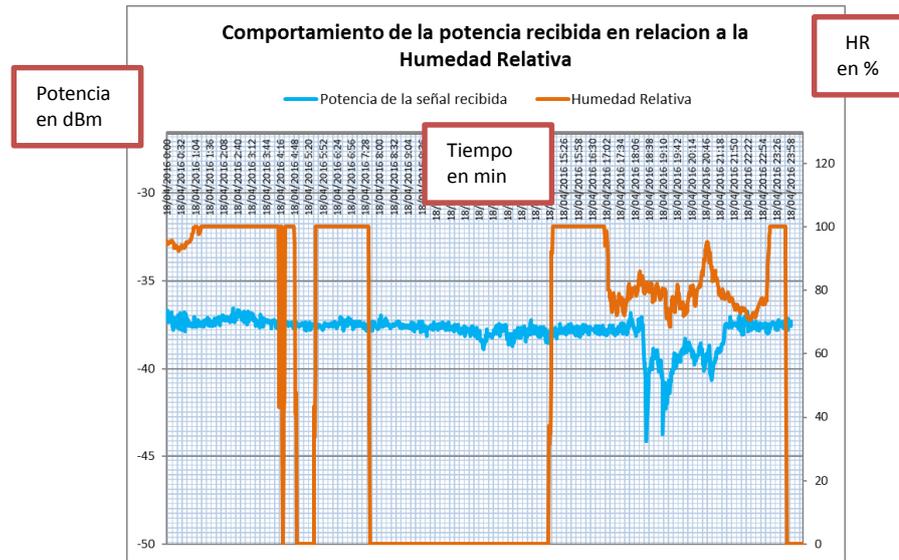


Figura 3.9: Relación entre las variables de humedad relativa y potencia recibida [45]

La información de la variable de la humedad relativa también es otorgada por el INAMHI, el cual es un organismo científico que ha otorgado un importante apoyo en la realización de este estudio, que relaciona las variables de potencia recibida y la humedad relativa.

La encontramos en la atmósfera o medio ambiente como vapor de agua en el aire y se han definido términos para su correcta medida o lectura en base a estudios climatológicos, teniendo en cuenta que es la causante de que exista las precipitaciones por lluvias, que influye en la calidad de vida presente en nuestro planeta y la sensación de bienestar originada por la sensación térmica.

La humedad relativa forma parte del ciclo hidrológico que domina al planeta, dependiendo de la zona en donde se ubica el país. Para nuestro caso estamos ubicado en la zona tórrida. Adicionalmente podemos decir que depende de otras variables ambientales, tales como:

- la presión atmosférica,
- la dirección y velocidad de los vientos alisios [57] y
- la temperatura en el aire.

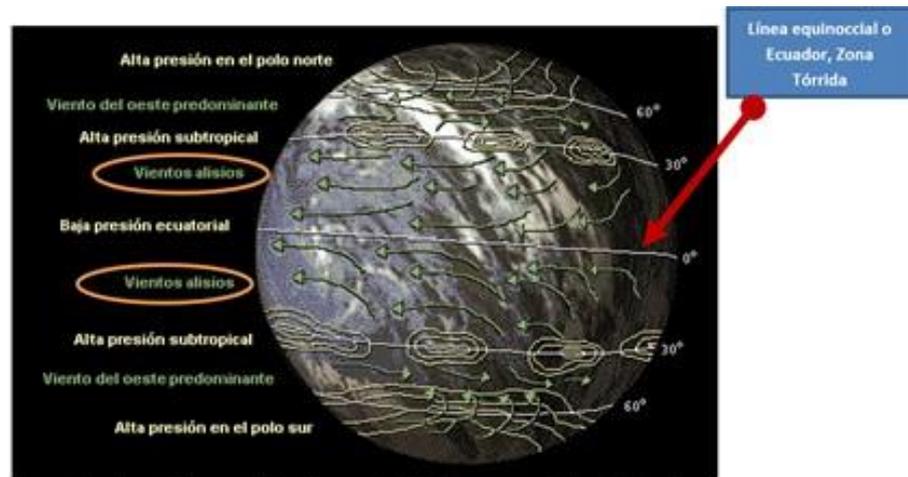


Figura 3.10: Direcciones de vientos alisios en la zona Tórrida
influyentes en el clima del Ecuador [58]

Para el cálculo de la humedad relativa se toma en consideración la relación que existe entre el valor de la presión del vapor de agua que genera los agentes de la tierra presentes en la atmósfera, y la máxima saturación del vapor de agua a las diferentes temperaturas que se encuentran en el medio ambiente. [62] Por lo cual, detallamos su fórmula en la ecuación 3.8.

$$HR = (e/e_s) \times 100\% \quad (3.8)$$

Ecuación 3.8. Humedad relativa (HR) en % [62]:

Siendo:

e = Presión de vapor de agua (hPa)

e_s = Presión de vapor de agua saturada (hPa)

Cabe mencionar que para la relación de la ecuación 3.5, tenemos tres posibles estados [62], que a continuación se detallan:

- Si $e < e_s$, el aire se encuentra en estado subsaturado.
- Si $e = e_s$, el aire se encuentra saturado, por lo cual la humedad relativa es de un 100%.

- Si $e > e_s$, el aire se ha sobresaturado. Por lo cual, el exceso de vapor de agua se procederá a condensar en la atmósfera y por ende se transformará en gotas de agua originando así, las lluvias.

Adicionalmente podemos mencionar que las variables de humedad relativa y de la temperatura en el ambiente están muy relacionadas. Tal como se muestra en la figura 3.11.

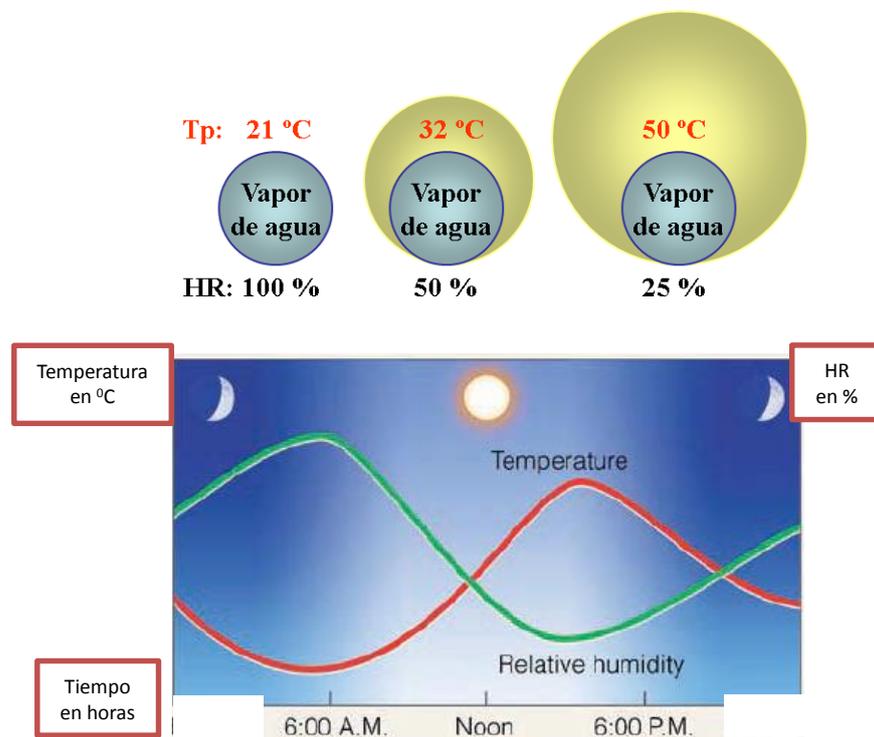


Figura 3.11: Relación entre las variables de temperatura y la humedad relativa [62]

3.2.3 Sensación térmica.

La sensación térmica es una variable ambiental que mide el grado de confort que siente el cuerpo humano ante la presencia del frío o del calor influenciado por la velocidad del viento o por la humedad relativa. Siendo muy diferente a la temperatura del aire o medio ambiente censada con un termómetro [59].

La incidencia de esta variable ambiental a permitido que las estaciones meteorológicas generen los valores de esta variable al igual que las variables tradicionales. A continuación, se muestra la ecuación empírica 3.9, para la sensación térmica por efectos del frío.

$$ST_F = \text{temperatura del aire} + \text{efecto del viento} \quad (3.9)$$

Ecuación 3.9. Sensación térmica por frío (°C) [59]:

Ahora, se mostrara la ecuación empírica 3.10, para la sensación térmica por efectos del calor.

(3.10)

$$ST_C = \text{temperatura del aire} + \text{efecto de La humedad relativa.}$$

Ecuación 3.10. Sensación térmica por calor (°C):

Por lo cual podemos decir que la sensación térmica conjuga la relación existente entre la variable ambiental de la temperatura con las variables del viento y de la humedad relativa [18]. Tal como se muestra en la figura 3.12, en donde se expone un ejemplo del calculo de la sensación térmica.



Figura 3.12: Ejemplo de la sensación térmica [18]

Su diferencia radica en dos aspectos que determinan la forma de calcular la sensación térmica:

- Tabla para calcular la sensación térmica por efecto del frío y del viento.
- Tabla para calcular la sensación térmica por efecto del calor y la humedad

La tabla que concierne al cálculo de la sensación térmica por efecto del frío y del viento depende básicamente de la velocidad del viento que disponga el medio ambiente, el cual decrementa el valor de la temperatura, es decir haría más frío de la temperatura censada por un termómetro. A continuación, se presenta la tabla 5, con datos de la velocidad del viento en km/h.

Viento en Nudos	Viento en Km/h	TEMPERATURA (°C)																									
Calma	Calma	10	7.5	5	2.5	0	-2.5	-5	-7.5	-10	-12.5	-15	-17.5	-20	-22.5	-25	-27.5	-30	-32.5	-35	-37.5	-40	-42.5	-45	-47.5	-50	
Sensación térmica por efecto de enfriamiento del viento																											
3-6	8	7.5	5	2.5	0	-2.5	-5	-7.5	-10	-12.5	-15	-17.5	-20	-22.5	-25	-27.5	-30	-32.5	-35	-37.5	-40	-45	-47.5	-50	-52.5	-55	
7-5	16	5	2.5	-2.5	-5	-7.5	-10	-12.5	-15	-17.5	-20	-25	-27.5	-32.5	-35	-37.5	-40	-45	-47.5	-50	-52.5	-57.5	-60	-62.5	-65	-67.5	
11-15	24	2.5	0	-5	-7.5	-10	-12.5	-17.5	-20	-25	-27.5	-32.5	-35	-37.5	-42.5	-45	-47.5	-52.5	-55	-57.5	-60	-65	-67.5	-72.5	-75	-77.5	
16-19	32	0	-2.5	-7.5	-10	-12.5	-17.5	-22.5	-25	-30	-35	-37.5	-42.5	-47.5	-50	-52.5	-57.5	-60	-65	-67.5	-70	-72.5	-77.5	-80	-85	-87.5	
20-23	40	-0	-5	-7.5	-10	-15	-17.5	-22.5	-25	-30	-32.5	-37.5	-40	-45	-47.5	-52.5	-55	-60	-62.5	-67.5	-70	-75	-77.5	-82.5	-85	-90	
24-28	48	-2.5	-5	-10	-12.5	-17.5	-20	-25	-27.5	-32.5	-35	-40	-42.5	-47.5	-50	-55	-57.5	-62.5	-67.5	-72.5	-75	-77.5	-80	-85	-90	-95	
29-32	56	-2.5	-7.5	-10	-12.5	-17.5	-20	-25	-30	-32.5	-37.5	-42.5	-45	-50	-52.5	-57.5	-60	-65	-67.5	-72.5	-75	-80	-82.5	-87.5	-90	-95	
33-36	64	-2.5	-7.5	-10	-15	-20	-22.5	-27.5	-30	-35	-37.5	-42.5	-45	-50	-55	-60	-62.5	-65	-70	-75	-77.5	-82.5	-85	-90	-92.5	-97.5	
Vientos superiores a los 64 km/h producen un peligroso efecto adicional	PELIGROSO		MUY PELIGROSO					EXTREMADAMENTE PELIGROSO																			
	Las partes del cuerpo expuestas al viento se pueden congelar en 1 minuto		Las partes del cuerpo expuestas al viento se pueden congelar en 1 minuto					Las partes del cuerpo expuestas al viento se pueden congelar en 30 segundos																			
PELIGRO DE CONGELAMIENTO DEL CUERPO HUMANO EXPUESTO AL VIENTO SIN LA APROPIADA VESTIMENTA																											

Tabla 5. Sensación térmica por efecto del frío y del viento [19] [59]

Mientras tanto, la tabla que concierne al cálculo de la sensación térmica por efecto del calor y la humedad depende básicamente de la humedad presente en el medio ambiente, el cual incrementa el valor de la temperatura, es decir haría más calor de la temperatura censada por un termómetro. A continuación, se presenta la tabla 6, con datos de la humedad relativa.

TEMP. (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
20	16	16	17	17	17	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21	21
21	18	18	18	19	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	22	22
22	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	24
23	20	20	20	20	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	25
24	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	25	25	25	25	26	26	26	26
25	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28
26	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	29	29	30
27	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31	31	33
28	26	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	31	32	32	33	34	34	36
29	26	26	27	27	27	28	29	29	29	29	30	30	31	33	33	34	35	35	37	38	40
30	27	27	28	28	28	28	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	37	39	40	41	45
31	28	28	29	29	29	29	30	31	31	31	33	34	35	36	37	39	40	41	45	50	50
32	29	29	29	29	30	31	31	33	33	34	35	35	37	39	40	42	44	45	51	51	55
33	29	29	30	30	31	33	33	34	34	35	36	38	39	42	43	45	49	53	54	55	55
34	30	30	31	31	32	34	34	35	36	37	38	41	42	44	47	48	50	52	55		
35	31	32	32	32	33	35	35	37	37	40	40	44	45	47	51	52	55				
36	32	33	33	34	35	36	37	39	39	42	43	46	49	50	54	55					
37	32	33	34	35	36	38	38	41	41	44	46	49	51	55							
38	33	34	35	36	37	39	40	43	44	47	49	51	55								
39	34	35	36	37	38	41	41	44	46	50	50	55									
40	35	36	37	39	40	43	41	47	49	53	55										
41	35	36	38	40	41	44	45	49	50	55											
42	36	37	39	41	42	45	47	50	52	55											
43	37	38	40	42	44	47	49	53	55												
44	38	39	41	44	45	49	52	55													
45	38	40	42	45	47	50	54	55													
46	39	41	43	45	49	51	55														
47	40	42	44	47	51	54	55														
48	41	43	45	49	53	55															
49	42	45	47	50	54	55															
50	42	45	48	50	55																

Tabla 6. Sensación térmica por efecto del calor y de la humedad relativa [19] [59]

Las tablas son muy útiles y se puede calcular la sensación térmica sin problema alguno, pero con valores enteros basados en el criterio de la intersección de las filas y columnas de los datos otorgados, tal como la temperatura y velocidad del viento de la tabla 5. Para el caso de que se desea ser más exacto con la lectura de la variable ambiental de la sensación térmica por frío [60], se debe utilizar el índice de temperaturas WindChill (Wind Chill Temperature Index), expresada en grados centígrados (°C). Tal como se muestra en la ecuación 3.11.

$$ST_F = 13.12 + 0.6215 * T - 11.37 * V^{0.16} + 0.3965 * T * V^{0.16}$$

Ecuación 3.11. WindChill(°C) [60]: (3.11)

En donde:

ST_F = Sensación térmica por frío

V = Viento en Km/h

T = Temperatura en $^{\circ}C$

Dados los datos del INAMHI sobre los valores censados de las variables ambientales de temperatura en $^{\circ}C$ y velocidad del viento en km/h, podemos observar el siguiente comportamiento de la variable ambiental de la sensación térmica por frío en la figura 3.13.

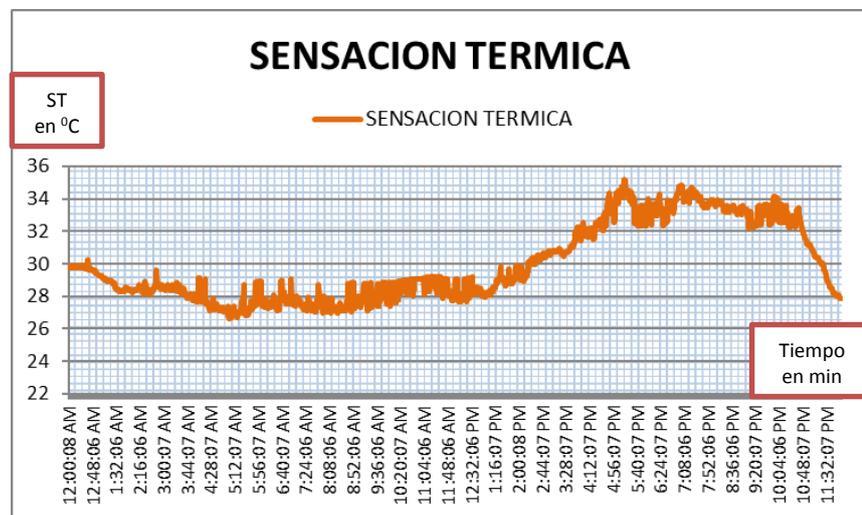


Figura 3.13: Comportamiento de la sensación térmica por frío [45]

Ahora en la tabla 6, tenemos relacionadas las variables ambientales de la temperatura y la humedad relativa, por lo cual con el criterio de la intersección de las filas y columnas de los datos otorgados podemos encontrar el valor de la sensación térmica por calor.

Otra forma de obtener la lectura de variable ambiental de la sensación térmica por calor [60], es mediante el índice de calor (Heat Index), expresada en grados centígrados ($^{\circ}C$). Tal como se muestra en la ecuación 3.12.

(3.12)

$$ST_C = -8,78469476 + 1,61139411 \cdot T + 2,338548839 \cdot HR - 0,14611605 \cdot T \cdot HR - 0,012308094 \cdot T^2 - 0,016424828 \cdot HR^2 + 0,002211732 \cdot T^2 \cdot R + 0,00072546 \cdot T \cdot HR^2 - 0,000003582 \cdot T^2 \cdot HR^2$$

Ecuación 3.12. Heat Index (°C) [60]:

En donde:

ST_C = Sensación térmica por calor,

T = Temperatura del aire °C

HR = Humedad relativa del aire en %.

Dados los datos del INAMHI sobre los valores censados de las variables ambientales de temperatura en °C y velocidad del viento en km/h, podemos observar el siguiente comportamiento de la variable ambiental de la sensación térmica por frío en la figura 3.14.

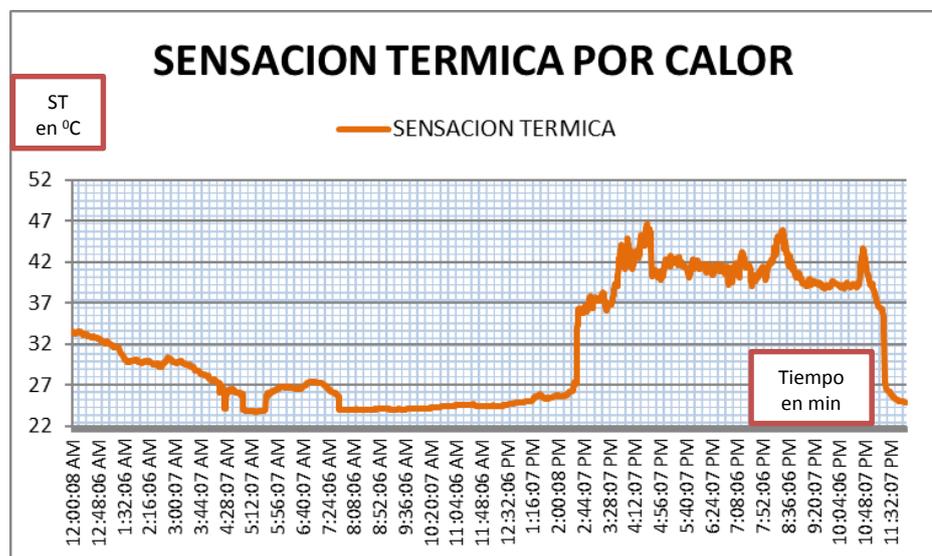


Figura 3.14: Comportamiento de la sensación térmica por calor [45]

3.2.3 Radiación solar.

La radiación solar es una variable ambiental que depende directamente de la luz solar que ingresa a nuestro planeta en forma de ondas electromagnéticas, la cual sufre pérdidas por los efectos de reflexión, absorción y radiación [57], tal como muestra la figura 3.15.

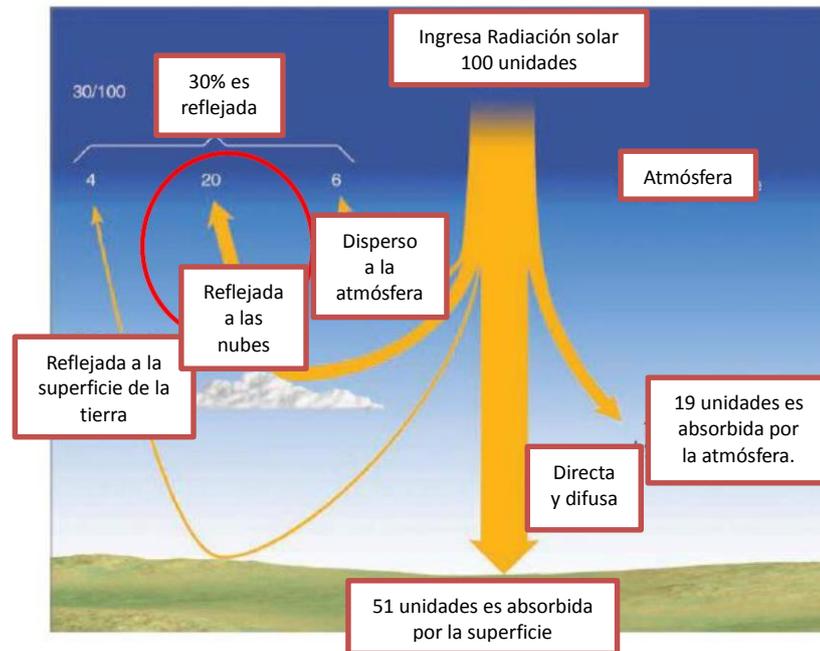


Figura 3.15: Radiación solar que ingresa al planeta [61]

Es decir, que de la energía del sol que llega a la tierra, la podemos tabular de la siguiente forma:

30% es reflejada

19% es absorbida

51% es radiada a la superficie de la tierra en forma directa y difusa.

Podemos también observar que del 30% de la energía del sol que es reflejada, tenemos que:

20% es reflejada por las nubes

4% es reflejada por la superficie de la tierra

6% es reflejada por la atmósfera.

Pues bien, en base a estudios realizados referente a la influencia de las variables ambientales de la temperatura y la radiación solar sobre un enlace inalámbrico punto a punto en la banda de frecuencia de los 5 GHz, entre la ESPOL y UNIVISA de la ciudad de Durán, se logró determinar una relación en el comportamiento de la señal de potencia recibida con respecto a la variable de la radiación solar censada por las estaciones meteorológicas del INAMHI, ubicadas a lo largo del enlace, tal como se muestra en la figura 3.16.

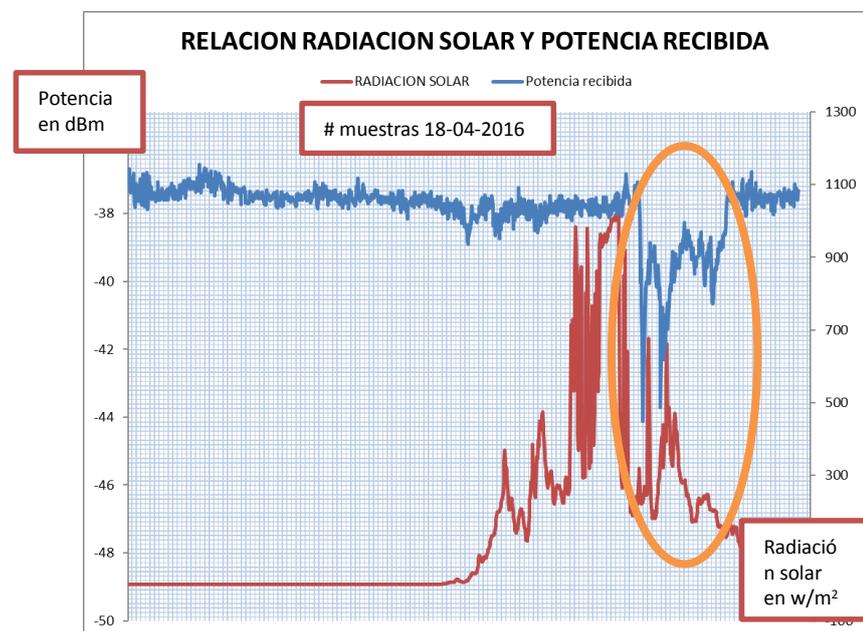


Figura 3.16: Comportamiento de la radiación solar con respecto a la potencia recibida [45]

Explicando el gráfico del comportamiento de las señales de la figura 3.15, podemos decir que al momento en el que la lectura de la potencia recibida sufre una disminución en su potencia, esta se debe a la influencia de un suceso ambiental en el medio de propagación, tal suceso que se hace referencia son las precipitaciones por lluvias [62]. Por lo cual se refleja que al momento que hay lluvias, la potencia disminuye y hay un incremento en las lecturas de la radiación solar según los datos censados por el INAMHI.

Claro está que, si no hay presencia de lluvias, las lecturas de potencia no sufren alteraciones que se puedan tomar en consideración para un análisis, al igual que las lecturas de la variable ambiental de la radiación solar. Por lo que, al existir las precipitaciones, se activan todas las variables ambientales tales como: la temperatura, la humedad relativa, la presión atmosférica, la radiación solar y unido con cambios frecuentes en la velocidad y dirección del viento, obtenemos la razón por la cual se atenúa la señal de potencia recibida. En sí, cada variable forma parte integral del ciclo hidrológico [62]. Tal como se muestra en la figura 3.17.

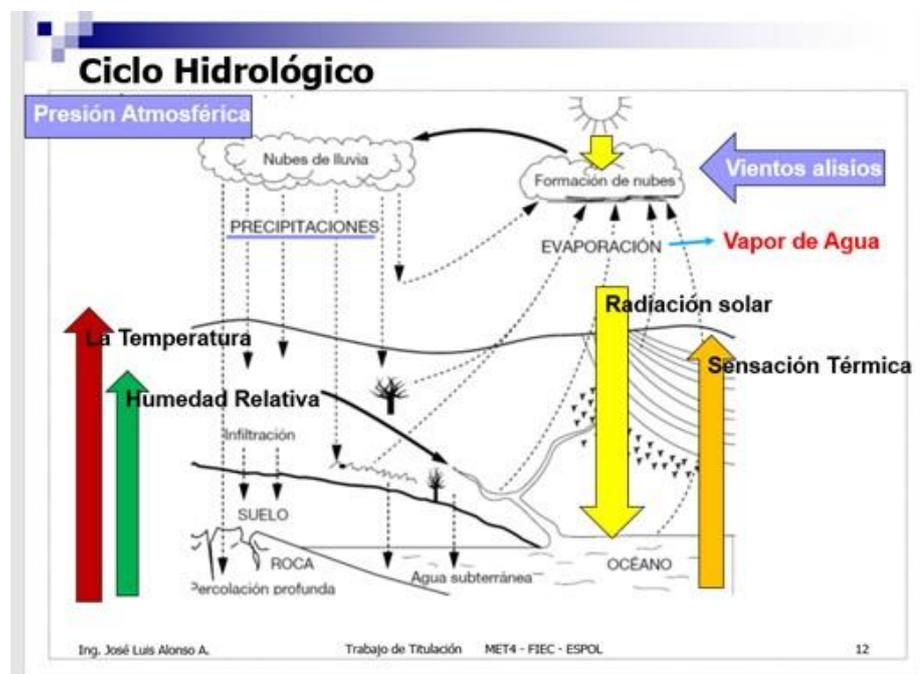


Figura 3.17. Ciclo Hidrológico con las variables ambientales [69]

Para corroborar el estudio efectuado en este proyecto de titulación sobre las variables ambientales de la temperatura y de la radiación solar, y su influencia en las lecturas de potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto, se tomó como prueba científica las investigaciones del profesor PhD. Jaime Lloret, catedrático principal de la Universidad Politécnica de Valencia, España [6] [7] [9] [62].

En donde se midió el rendimiento de un enlace inalámbrico en el campus tecnológico de la misma universidad (UPV), en primera instancia a una frecuencia de 10 GHz y luego a una frecuencia de 2.4 GHz a nivel de capa física, observando las lecturas de potencia en formas de tramas de datos. Luego se adquirió los datos censados de la temperatura y la radiación solar por partes de las estaciones meteorológicas de la Agencia Española de Meteorología y se demostró mediante análisis estadístico que existe la influencia de estas variables en el rendimiento de un enlace inalámbrico [7].

Para la frecuencia de 10 GHz se tenía estudios de que la influencia de estas variables existía. Pero para la frecuencia de 2 GHz y 4 GHz no se tenía el estudio, por lo cual se demostró que a nivel de tramas de datos en capa física existe la influencia de las variables antes mencionadas. La idea del investigador era de ir demostrando que a medida que la frecuencia de un enlace inalámbrico va disminuyendo la influencia se mantiene.

3.3 Definición de las variables ambientales complementarias

Las variables ambientales complementarias nos sirven para realizar una mejor definición de las variables principales, tales como:

- Para la variable ambiental de la sensación térmica vamos a necesitar los valores de la variable de la velocidad del viento.
- Para la variable ambiental de la humedad relativa, vamos a necesitar los valores de la presión atmosférica.
- Para la variable de la radiación solar vamos a necesitar los valores de precipitación por lluvias, humedad relativa, presión atmosférica y temperatura.

3.3.1 Precipitación acumulada

La variable ambiental que concierne a las precipitaciones acumuladas por lluvias son medidas a través de los instrumentos denominados pluviómetros que nos sirven para capturar los sucesos de lluvias con

ayuda del registrador de datos. Tenemos de dos tipos de pluviómetros para este trabajo de titulación:

- Cuatro pluviómetros marca Texas Instrumentos, que están instalados a lo largo del enlace por parte del proyecto investigativo, ubicados en la facultad de Marítima en la ESPOL, en el cerro Mapasingue, en Kennedy Norte en la terraza de la empresa TELCONET, en el Cuartel de Policías en la ciudadela el Recreo en la ciudad de Durán.
- Dos pluviómetros adicionales por parte de las estaciones meteorológicas del INAMHI, ubicados en el Cuerpo de Bomberos frente a la iglesia del Divino Niño en la ciudad de Durán y en el Liceo Cristiano en la ciudad de Guayaquil.

Las lecturas de las lluvias en la zona de Durán con los dos pluviómetros se relacionan entre sí. Tal como ocurre con el pluviómetro del Liceo Cristiano y del cerro de Mapasingue.

En la figura 3.18, se muestra un ejemplo de las lecturas de los sucesos por lluvias.

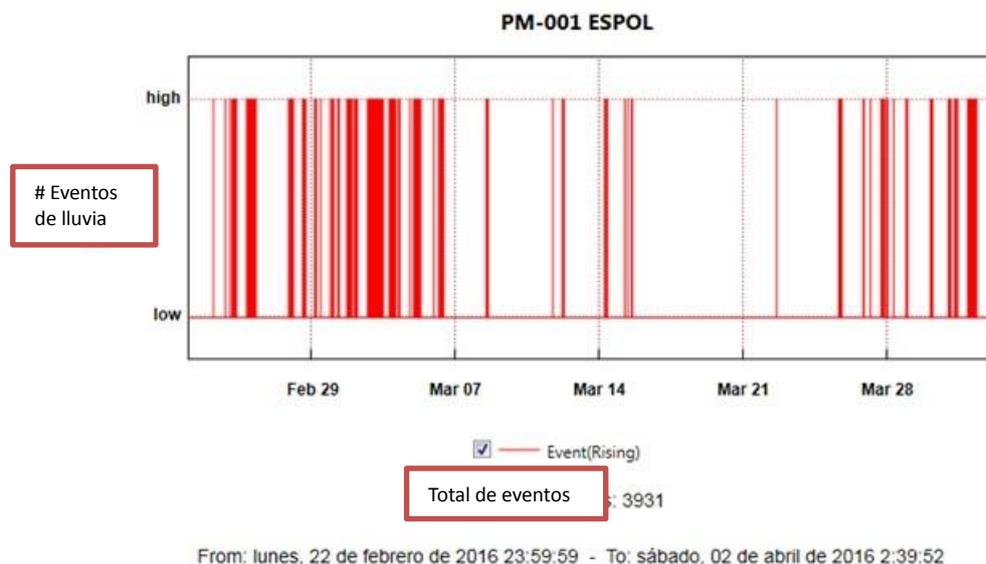


Figura 3.18: Precipitaciones por lluvias acumuladas en el pluviómetro de la ESPOL [45]

3.3.2 Presión atmosférica.

La variable de la presión atmosférica por definición está relacionada con la variable de la humedad relativa, ambos datos son censados por las estaciones meteorológicas del INAMHI, que se encuentran ubicados a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto entre la ESPOL y UNIVISA de la ciudad de Durán.

Por definición la presión atmosférica es la fuerza que el aire ejerce sobre un área específica de la superficie del planeta [57]. Es decir, depende básicamente de la altura en donde se ejerza la presión, mientras más cerca de la tierra este mayor será la presión atmosférica. Su fórmula esta expresada en la ecuación 3.13.

$$\begin{aligned} \text{Presión (P)} &= \text{Fuerza (F)} / \text{Área (A)} \\ P &= F / A = \text{N} / \text{m}^2 = \text{Pa} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Ecuación 3.13. Presión atmosférica (Pascal) (Pa) [57].

En donde:

P = Presión atmosférica

F = Fuerza

A = Área de aplicación

También la presión atmosférica puede ser expresada en atmosfera (atm). Es decir:

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa} = 1013.25 \text{ mb}$$

$$1 \text{ atm} = 29.92'' \text{ Hg} = 76 \text{ cm Hg} = 760 \text{ mm Hg}$$

$$1 \text{ kPa} = 10 \text{ mb} = 10 \text{ milibars}$$

$$1 \text{ mb} = 100 \text{ N/m}^2$$

En la figura 3.19, se muestra un suceso en donde se detalla la diferencia de altitud y su influencia en las lecturas de la presión atmosférica en los dos puntos de las alturas consideradas.

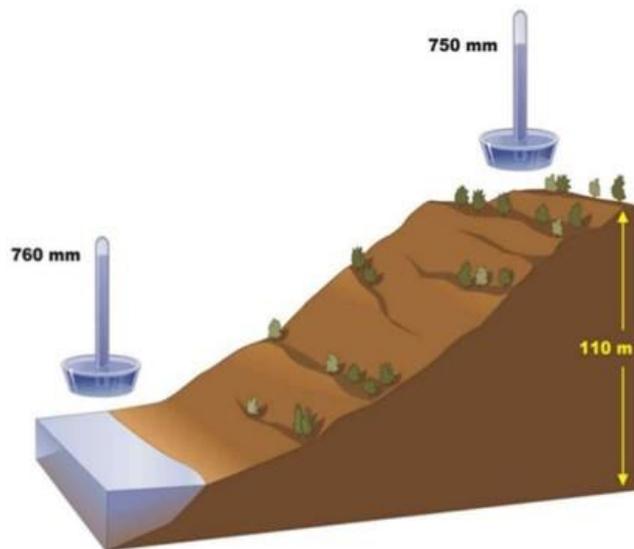


Figura 3.19: Diferencias de presión atmosférica [45]

Los estudios sobre la presión atmosférica nos indica que es parte influyente en el clima del planeta originando los vientos que conducen las masas de aire por toda la atmosfera en cada zona de nuestro planeta [63]. Para nuestro caso, en la zona Tórrida, los vientos alisios son los que determinan el clima, tal como se muestran en la figura 3.20.



Figura 3.20: Circulación general de la atmosfera [63]

3.3.3 Velocidad del viento.

La variable ambiental que concierne a la velocidad del viento depende de la presión atmosférica, la radiación solar y de la zona en donde actúan, para nuestro caso en la zona Tórrida actúan los vientos alisios [57], tal como se mostró en la figura 3.20.

Los vientos alisios llegan a la línea equinoccial o ecuador con una dirección contraria al sentido de rotación normal del planeta y su velocidad la determina las diferencias de presión atmosféricas de sus masas de aires en la atmósfera [63]. Tal como se muestra en la figura 3.21.

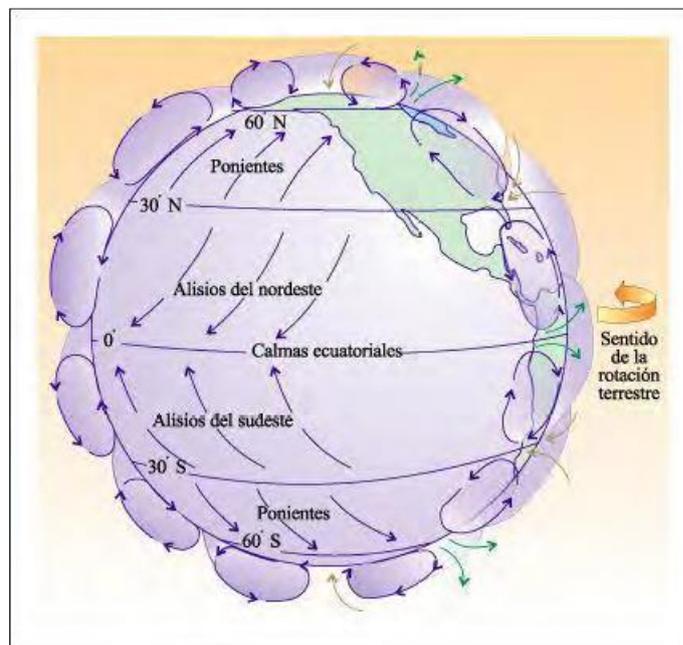


Figura 3.21: Viento alisios en la zona Tórrida [57]

Cabe mencionar que en base a la velocidad de los vientos podemos determinar su intensidad y con ello poder clasificar su influencia en el clima, tal como se muestra en la tabla 7, basada en la escala de Beaufort.

Escala de Beaufort				
FUERZA	mts/seg	Nudos	Km/h	DEFINICION
0	0 - 0,2	0 - 1	0 - 2	Calma.
1	0,3 - 1,6	1 - 3	2 - 6	Ventolina.
2	1,6 - 1,3	4 - 6	7 - 11	Brisa muy débil.
3	3,4 - 5,4	7 - 10	12-29	Flojo. Brisa débil.
4	5,5 - 7,9	11 - 16	20 - 29	Bonacible. Brisa moderada.
5	8,0 - 10,7	17 - 21	30 - 39	Fresquito. Brisa Fresca.
6	10,8 - 13,8	22 - 27	40 - 50	Moderado. Brisa fuerte.
7	13,9 - 17,1	28 - 33	51 - 61	Frescachón. Viento fuerte.
8	17,2 - 20,7	34 - 40	62 - 74	Temporal.
9	20,8 - 24,4	41 - 47	75 - 87	Temporal fuerte.
10	24,5 - 28,4	48 - 55	88 - 101	Temporal duro.
11	28,5 - 32,6	56 - 63	102 - 117	Temporal muy duro.
12	>32,7	>64	>118	Temporal huracanado

Tabla 7. Clasificación del viento en base a su velocidad en km/h [57]

El estudio de esta variable ambiental se base en dos aspectos que se complementan tal como es la magnitud de la velocidad del viento y la dirección que esta tiene en su recorrido. La medida de la velocidad puede ser en m/s o km/h, mientras que la dirección se da en grados de giro de 0° a 360° .

Los grados con los cuales se puede medir la dirección del viento vienen determinados por un instrumento denominado la rosa de los vientos, en donde básicamente se tienen posiciones de orientación, tales como: norte (N), sur (S), este (E), oeste (O), noreste (NE), noroeste (NO), suroeste (SO) y sureste (SE). En la figura 3.22, se detallan los puntos cardinales.

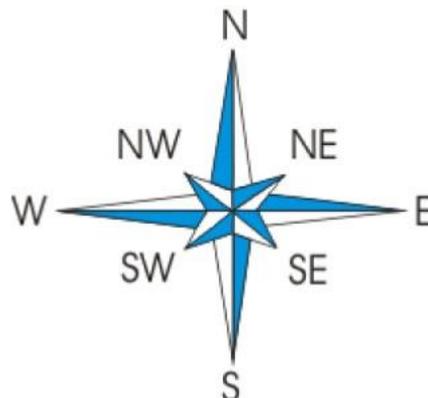


Figura 3.22: Rosa de los vientos [57]

3.4 Efecto de las variables ambientales en la propagación de la señal.

El estudio de las variables ambientales en este trabajo de titulación consiste en observar la incidencia de estas variables sobre el comportamiento de la señal de la potencia recibida en un enlace inalámbrico punto a punto, detallando los sucesos en donde se determinó una disminución de potencia en la señal transmitida.

Las consideraciones y alcances que se han tomado en consideración en este trabajo se deben a dos situaciones o sucesos ambientales, como son la presencia o ausencia de las precipitaciones por lluvias en la zona donde se implementó el enlace inalámbrico punto a punto entre la ESPOL y UNIVISA en la ciudad de Durán.

Para el caso de no presencia de lluvias en el enlace inalámbrico, mediante este estudio se determinó que las atenuaciones surgidas en la señal se deben a fluctuaciones o variaciones mínimas de la señal de potencia recibida. Mientras que, al haber la presencia de lluvias en el enlace inalámbrico, se presentan atenuaciones considerables alrededor de los -6 dBm a -7 dBm, influenciada por todas las variables ambientales que actúan en el medio ambiente determinando así la disminución de potencia. En la figura 3.23, se muestra el comportamiento de la señal de potencia recibida en presencia de lluvias.

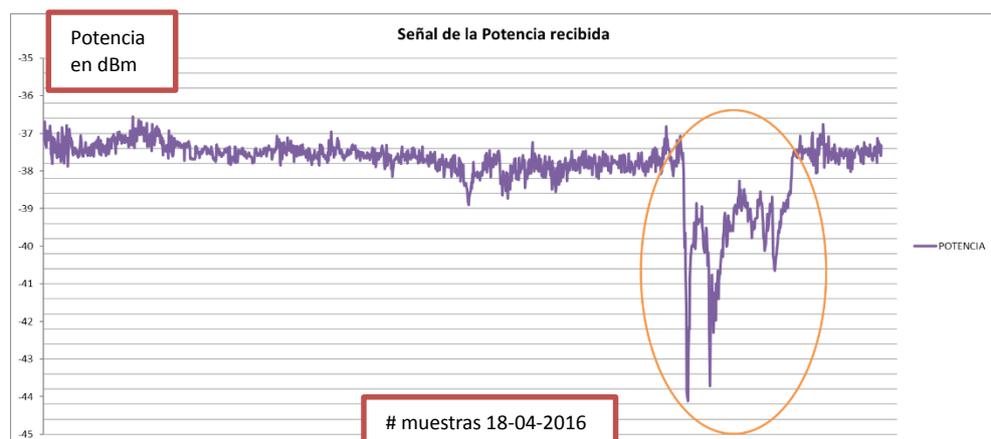


Figura 3.23: Atenuación de la potencia recibida [45]

3.4.1 Efecto de la temperatura en la propagación de la señal.

La variable ambiental de la temperatura en el ambiente mantiene un efecto de consideración en la propagación de la señal de la potencia recibida en un enlace inalámbrico punto a punto. La podemos observar al graficar el comportamiento de ambas variables a través del tiempo, sincronizando el inicio y el fin del experimento para la lectura de sus datos.

Los datos de potencia recibida lo obtenemos con la lectura que se ejecuta cuando se activan los algoritmos de transmisión y recepción del sistema de medición desarrollado en LabVIEW y los equipos NI-USRP 2921, empiezan a censa la señal recibida del enlace inalámbrico. Mientras que los datos de la temperatura en el ambiente son otorgados por el INAMHI, mediante los sensores de temperatura de sus estaciones meteorológicas.

Con los datos procesados de las dos variables antes mencionadas, se procede a graficar el comportamiento de la temperatura en el ambiente y la potencia, tal como se muestra en la figura 3.24.

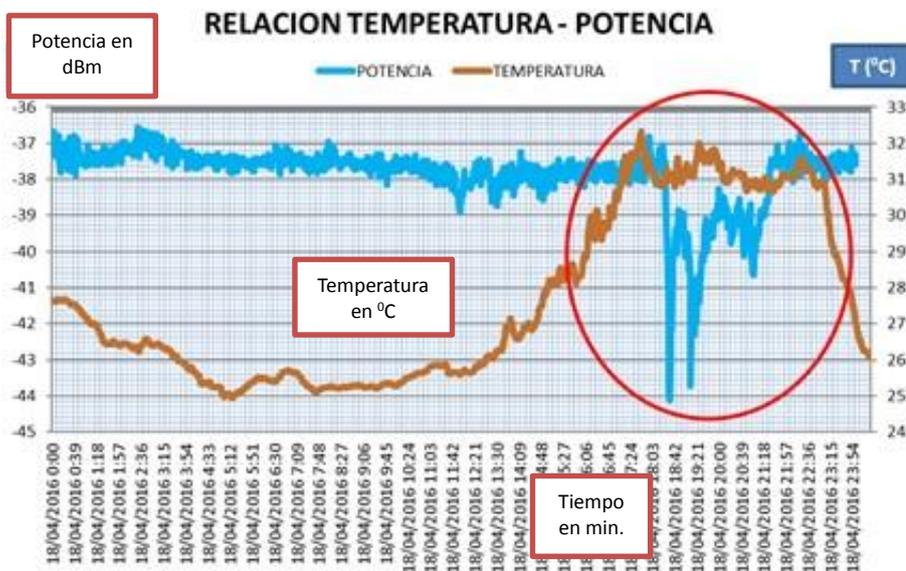


Figura 3.24: Efecto de la temperatura en potencia recibida [45]

Podemos determinar que la relación existente entre las gráficas de las variables de temperatura y potencia son inversamente proporcionales, según su comportamiento. Por lo cual para este experimento se tomó datos reales en un lapso de tiempo determinado y se obtuvo el siguiente resultado: Que la variación de la temperatura en el ambiente va desde 25 °C a 32 °C, lo cual se refleja en una caída de la potencia recibida en el receptor que va desde los -37 dBm hasta los -44 dBm. Lógicamente existen contribuciones de las otras variables ambientales que influyen en la lectura de la potencia recibida.

3.4.2 Efecto de la humedad relativa en la propagación de la señal.

La variable ambiental de la humedad relativa forma parte del ciclo hidrológico [62], depende de la temperatura del medio ambiente, de la presión del vapor de agua en la atmósfera y la saturación del aire que hacen que se origine las lluvias. También intervienen la velocidad del viento y por ende la presión atmosférica. Es decir, que todas las variables involucradas en la humedad relativa influyen en la propagación de la señal de la potencia recibida en un enlace inalámbrico punto a punto.

Los datos obtenidos de la humedad relativa por parte de los sensores de humedad de la estación meteorológica se grafican con la finalidad de observar su influencia en las lecturas de la potencia recibida. Tal como se muestra en la figura 3.25.

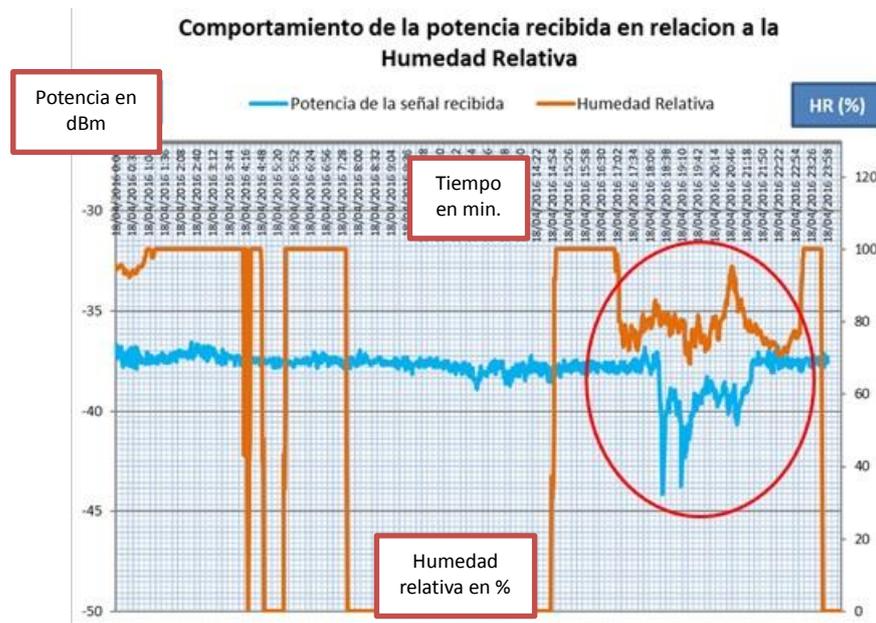


Figura 3.25: Efecto de la humedad relativa en potencia recibida [45]

La relación existe entre los comportamientos de las variables graficadas y son inversamente proporcionales, dependen en sí, de que el evento de lluvia se encuentre presente en el medio ambiente dentro el trayecto del enlace inalámbrico, registrándose una variación del 70% al 100% en la humedad relativa.

3.4.3 Efecto de la sensación térmica en la propagación de la señal.

Los efectos que ocasiona la variable ambiental de la sensación térmica sobre la propagación de la señal de potencia recibida, va a depender del tipo de sensación que tenga el cuerpo humano de calor o de frío y de su ubicación geográfica. Para cada efecto intervienen otras variables ambientales, tales que si efecto es el calor intervienen las variables ambientales de la temperatura y la humedad relativa, mientras que para el efecto del frío intervienen la temperatura y la velocidad del viento. En la figura 3.26 y 3.27, se muestran los comportamientos de las variables ambientales de la velocidad del viento y la sensación térmica por efecto del frío, en el trayecto del enlace inalámbrico.



Figura 3.26: Comportamiento de la variable de la velocidad viento [45]



Figura 3.27: Comportamiento de la variable la sensación térmica por efecto del frío [45]

En base a la zona geográfico donde esta implementado el enlace inalámbrico punto a punto, podemos utilizar la variable de la sensación térmica por efecto del calor, tal como se muestra en la figura 3.28.



Figura 3.28: Comportamiento de la variable la sensación térmica por efecto del calor [45]

Ahora podemos observar el comportamiento de las variables ambientales de la humedad relativa y de la temperatura, en conjunto con la variable de la sensación térmica por calor, tal como se muestra en la figura 3.29.

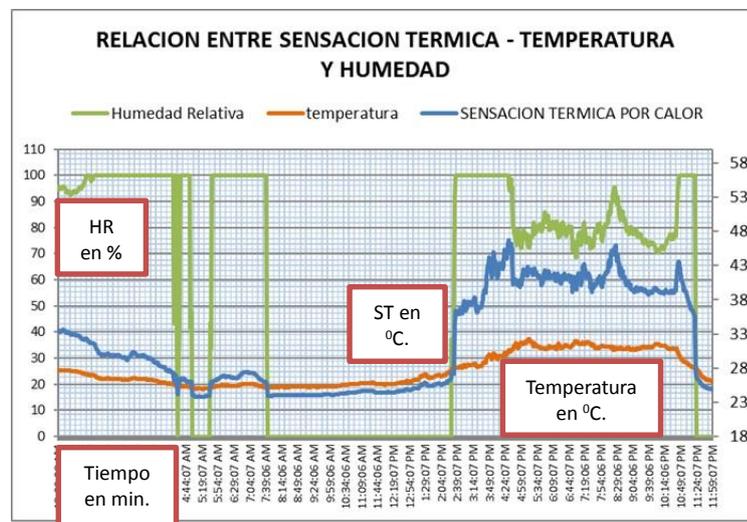


Figura 3.29: Sensación térmica por efecto del calor y los aportes de las variables de temperatura y humedad relativa [45]

Una vez determinado el comportamiento de la variable de la sensación térmica por calor, ahora procedemos a observar la influencia que tiene

esta variable en las lecturas de la potencia recibida, tal como se muestra la figura 3.30.



Figura 3.30: Influencia de la sensación térmica por efecto del calor en la señal de la potencia recibida [45]

Como se puede observar la sensación térmica tiene el mismo comportamiento que la variable de la temperatura del medio ambiente, por lo cual existe una relación inversamente proporcional con la señal de la potencia recibida en un enlace inalámbrico punto a punto.

3.4.4 Efecto de la radiación solar en la propagación de la señal.

Al igual que la variable ambiental de la temperatura, también la radiación solar incide en la propagación de la señal de potencia recibida en el receptor de un enlace inalámbrico punto a punto.

La incidencia de la radiación solar sobre la superficie de la tierra implica que la temperatura en la misma puede variar por la influencia de la humedad relativa, que al saturar el aire en la atmósfera condensa el vapor de agua y lo transforma en lluvia. Luego la velocidad de los vientos que son imperantes en cada zona del planeta, controla el calor que siente nuestro cuerpo [61]. Es decir que esta variable de la radiación solar actúa en presencia de: humedad relativa, temperatura, lluvia,

velocidad del viento, sensación térmica [62], por lo cual genera el siguiente comportamiento, tal como se muestra en la figura 3.31.

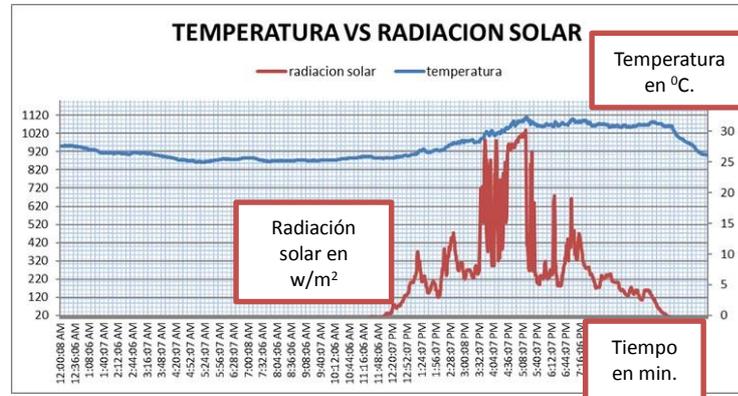


Figura 3.31: Comportamiento de la radiación solar con respecto a la temperatura del medio ambiente [45]

Los datos de la variable ambiental de la radiación solar son censados por las estaciones meteorológicas del INAMHI, ubicadas a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto. Al graficar el comportamiento de esta variable podemos observar una relación inversamente proporcional con la señal de potencia recibida, tal como se muestra en la figura 3.32.

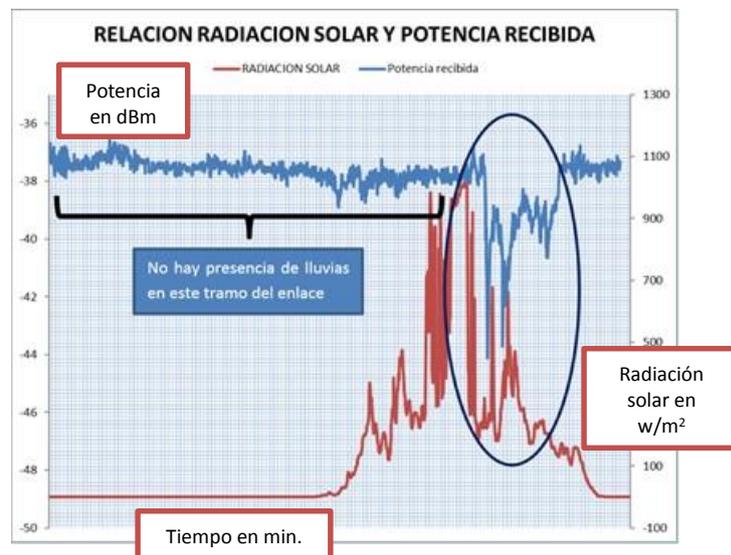


Figura 3.32: Lectura de potencia recibida en el receptor, influenciada por la radiación solar [45]

CAPÍTULO 4

4. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

En el capítulo 4, corresponde a la Recolección y análisis de datos, en donde se define la forma como se obtuvo la información, tanto para el sistema de medición de potencia, como para los pluviómetros instalados a lo largo del enlace inalámbrico y la base de datos de las estaciones meteorológicas del Liceo Cristiano en Guayaquil y Divino niño en Durán, para ser analizados luego.

4.1 Recolección de la información del experimento.

La recolección de los datos del experimento, se la obtuvo en base a tres diferentes procedimientos que involucro el apoyo tecnológico de la empresa privada y organismo estatales.

4.1.1 Recolección por el sistema de medición desarrollado en LabVIEW

La primera recolección de datos que se realizó en este estudio, fué mediante el sistema de medición desarrollado en LabVIEW, que captura las lecturas de la variable potencia recibida en el receptor utilizando el equipo NI-USRP 2921 y las lecturas de la temperatura en la caseta de recepción del enlace inalámbrico punto a punto entre la ESPOL y UNIVISA en la ciudad de Durán, a través de la plataforma electrónica del arduino UNO.

En la figura 4.1, se muestra el sistema de medición con las configuraciones listas para capturar las lecturas de potencia recibida, adicionalmente el sistema cuenta con aplicativos que permiten grabar los datos capturados en archivos de excel, tanto para las lecturas de la temperatura en la caseta como para la potencia recibida en el receptor.

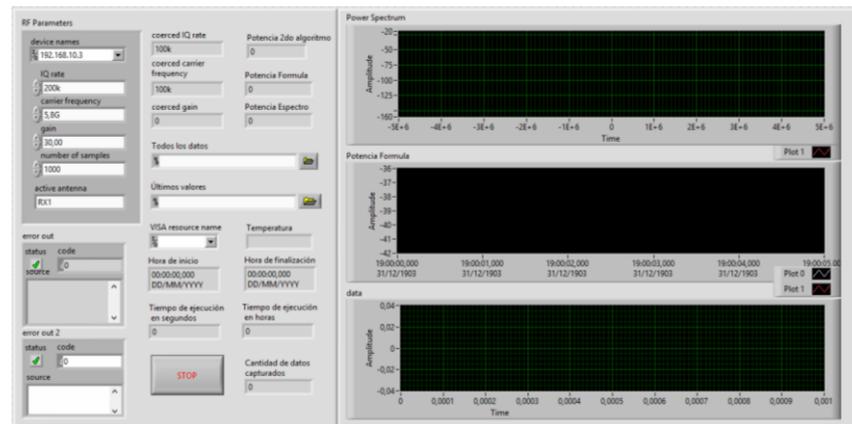


Figura 4.1: Sistema de medición de la potencia recibida y de la temperatura de la caseta de recepción [45]

Los datos que corresponde a las lecturas de la temperatura en la caseta, sirven como una variable de control que activa un sistema de alarmas por correos a través de la herramienta Ubidots, cuando esta sube de los límites configurados. Con lo cual, se garantiza que el equipo NI-USRP 2921 este climatizado adecuadamente, funcionando en perfectas condiciones y listo para realizar las capturar de las lecturas de potencia del enlace inalámbrico.

La lectura de los datos capturados por el sistema de medición, obedecen a un formato específico y se graban en un archivo excel. Tal como se muestra en la figura 4.2.

	dBm	°C
HORA	POTENCIA	TEMPERATURA
4/2/2016 5:45:36 PM	-22,6364	20,58
4/2/2016 5:45:46 PM	-22,6308	21,07
4/2/2016 5:45:56 PM	-22,6043	21,07
4/2/2016 5:46:06 PM	-22,6036	20,09
4/2/2016 5:46:16 PM	-22,5835	20,58
4/2/2016 5:46:26 PM	-22,5601	21,07
4/2/2016 5:46:36 PM	-22,5466	20,58
4/2/2016 5:46:46 PM	-22,5431	20,58
4/2/2016 5:46:56 PM	-22,5345	21,07
4/2/2016 5:47:06 PM	-22,5253	20,58
4/2/2016 5:47:16 PM	-22,521	20,58
4/2/2016 5:47:26 PM	-22,5105	20,58
4/2/2016 5:47:36 PM	-22,522	20,58
4/2/2016 5:47:46 PM	-22,531	20,58
4/2/2016 5:47:56 PM	-22,5352	20,58
4/2/2016 5:48:06 PM	-22,5304	20,58
4/2/2016 5:48:16 PM	-22,5294	20,58
4/2/2016 5:48:26 PM	-22,5429	20,58
4/2/2016 5:48:36 PM	-22,5351	20,58
4/2/2016 5:48:46 PM	-22,5329	20,58
4/2/2016 5:48:56 PM	-22,5443	20,58
4/2/2016 5:49:06 PM	-22,5454	20,58
4/2/2016 5:49:16 PM	-22,5503	20,58
4/2/2016 5:49:26 PM	-22,5553	20,09
4/2/2016 5:49:36 PM	-22,5697	20,58
4/2/2016 5:49:46 PM	-22,5845	20,58
4/2/2016 5:49:56 PM	-22,6124	20,58
4/2/2016 5:50:06 PM	-22,6053	20,09

Figura 4.2: Lectura de datos de potencia recibida y temperatura [45]

4.1.2 Recolección por el registrador de datos de los pluviómetros instalados a lo largo del enlace

La recolección de los datos a través de un registrador de datos, es la segunda forma de extracción que se implementó para este estudio, el cual consiste en ir físicamente a los sitios donde están instalados los pluviómetros y retirar el dispositivo de memoria USB registrador de datos, con mucha precaución para no alterar los datos. Dicho dispositivo se conecta a un puerto USB de una laptop para descargar los sucesos de lluvias censados por el mecanismo electromagnético que posee cada uno de los pluviómetros a través del software EasyLogUSB [50]. Tal como se muestra en la figura 4.3.

La lectura de los sucesos capturados por el registrador, obedecen a un formato específico y se graban en un archivo de texto. Tal como se muestra en la figura 4.5.

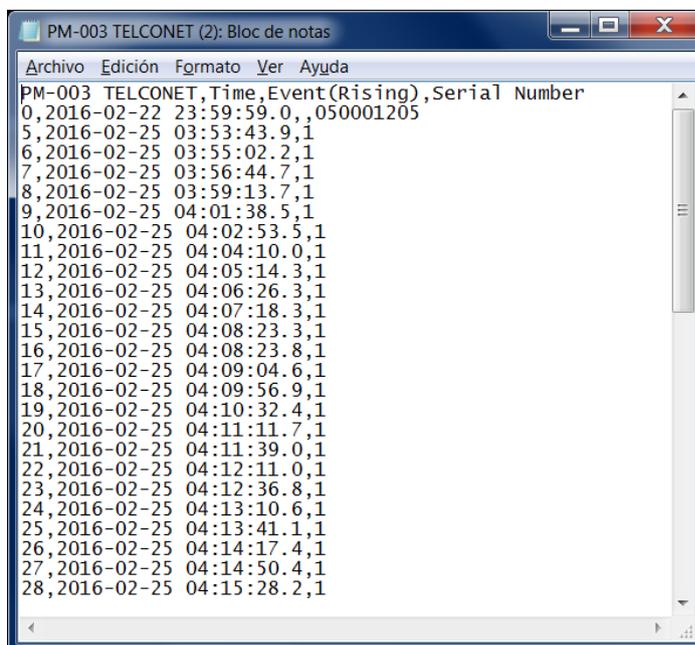


Figura 4.5: Archivo de texto con sucesos de lluvia [45]

Las limitaciones que se dieron en el transcurso de este estudio investigativo para poder obtener los datos de los sucesos de lluvias de los pluviómetros se centraban en solicitar la autorización de ingreso a las instalaciones de las empresas privadas y públicas que nos brindaron su apoyo tecnológico, tales como: Espoltel, Telconet, Facultad de Ingeniería Marítima y el cuartel de la Policía Nacional en la ciudadela el Recreo en la ciudad de Durán.

4.1.3 Recolección de datos de las variables ambientales.

La recolección de datos de las variables ambientales se la efectuó en base a una solicitud de requerimiento de información dirigida al INAMHI, con el fin de que se otorgue la base de datos con la información requerida. Para ello se determinó las estaciones meteorológicas específicas que se encuentran a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto. Bajo este criterio, se escogió las estaciones meteorológicas del

Divino Niño en la ciudad de Durán y la del Liceo Cristiano en la ciudad de Guayaquil.

Las variables ambientales que se tomó en consideración para este estudio son: la temperatura en el ambiente, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento. Las cuales pueden ser escogida de la base de datos generada por las estaciones meteorológicas del INAMHI. Tal como se muestra en la figura 4.6.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
fecha	hora	Temperatura	Humedad Relativa	Presión Atmosférica	Radiación Solar	Precipitación	Dirección de viento	Velocidad de viento	Recorrido de viento
03/19/2016	8:47:07 PM	-56.149	66.578	1.005.939	299.096	0	9	2.209	0.549
03/19/2016	8:37:07 PM	-56.075	68.998	1.005.924	578.155	0	12	2.562	0.646
03/19/2016	8:45:08 PM	-55.911	63.717	1.005.938	283.05	0	36	2.484	0.634
03/19/2016	8:39:07 PM	-55.887	67.112	1.005.962	590.024	0	42	2.188	0.561
03/19/2016	8:38:07 PM	-55.716	68.377	1.005.948	572.076	0	25	3.305	0.822
03/19/2016	8:42:07 PM	-55.691	64.452	1.005.969	597.147	0	8	2.93	0.736
03/19/2016	8:44:07 PM	-55.619	64.383	1.005.959	481.055	0	29	2.961	0.729
03/19/2016	8:40:08 PM	-55.589	66.974	1.005.969	599.087	0	23	1.203	0.318
03/19/2016	8:43:07 PM	-55.548	63.642	1.005.95	587.201	0	14	2.383	0.598
03/19/2016	8:32:07 PM	-55.211	67.633	1.005.214	584.416	0	359	1.75	0.48
03/19/2016	8:29:07 PM	-55.145	68.731	1.005.219	598.037	0	359	2.75	0.7
03/19/2016	8:30:08 PM	-55.102	69.601	1.005.197	597.718	0	353	1.805	0.454
03/19/2016	8:35:08 PM	-55.066	69.16	1.005.281	540.644	0	2	1.234	0.313
03/19/2016	7:24:07 PM	-55.064	73.034	1.006.229	805.622	0	36	2.594	0.653
03/19/2016	8:28:07 PM	-54.971	68.285	1.005.198	598.248	0	72	2.07	0.52
03/19/2016	8:33:07 PM	-54.939	68.012	1.005.244	509.827	0	356	3.008	0.763
03/19/2016	7:29:07 PM	-54.934	71.038	1.006.146	805.207	0	358	1.797	0.446
03/19/2016	7:23:07 PM	-54.897	70.506	1.006.229	814.344	0	355	4.094	0.999
03/19/2016	7:28:07 PM	-54.852	72.48	1.006.183	803.89	0	15	1.852	0.477
03/19/2016	7:30:08 PM	-54.807	72.318	1.006.11	789.434	0	358	1.797	0.479
03/19/2016	8:24:07 PM	-54.717	67.108	1.005.222	624.038	0	54	2.578	0.679
03/19/2016	8:25:08 PM	-54.687	65.363	1.005.207	611.665	0	19	2.852	0.697
03/19/2016	7:33:07 PM	-54.682	69.732	1.006.065	756.085	0	349	2.617	0.655
03/19/2016	8:22:07 PM	-54.682	67.635	1.005.24	629.909	0	44	2.391	0.606
03/19/2016	8:36:07 PM	-54.656	69.594	1.005.309	579.376	0	356	0.938	0.235
03/19/2016	7:38:07 PM	-54.606	68.489	1.005.967	769.731	0	10	1.734	0.445
03/19/2016	7:34:07 PM	-54.589	69.514	1.006.047	771.657	0	339	1.586	0.402
03/19/2016	7:35:08 PM	-54.577	70.84	1.006.022	780.325	0	346	1.375	0.356

Figura 4.6: Base de datos generada por estación meteorológica Divino Niño en Durán [45]

4.2 Procesamiento de la información según el esquema de recolección.

Los esquemas de recolección para obtener los datos difieren uno de otro debido al grado de complejidad de las limitaciones de acceso al sitio de recolección. Es así, que para procesar la información se requiere interpretar los formatos con los que se generan los datos. Tal como se muestran en la tabla 8.

Esquemas	Recolección	Formatos
# 1	Sistema de medición desarrollado en LabVIEW.	Fecha y Hora. Potencia. Temperatura en la caseta de recepción.
# 2	Registrador de sucesos de lluvias mediante pluviómetros.	Fecha. Hora. Sucesos de cada pluviómetro instalado a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto.
# 3	Estaciones meteorológicas del INAMHI.	Fecha. Hora. Temperatura en el ambiente. Humedad Relativa. Presión atmosférica. Radiación solar. Precipitación acumulada. Dirección del viento. Velocidad del viento. Recorrido del viento y otros datos calculados como: Desviaciones estándares, máximos, mínimos de cada variable.

Tabla 8. Formatos de datos recolectados [45]

Luego de tener en claro los datos de cada esquema, se procedió al procesamiento de la información sincronizando el tiempo de captura de cada recolección de datos, con la finalidad de obtener una base de datos en tiempo real y con la misma resolución.

La nueva base de datos esta dada en un archivo en Excel, con un nuevo formato basados en la información obtenida de la tabla 8. Este procesamiento selectivo va a contener los siguientes campos de datos: Tal como se muestra en la tabla 9.

Campos	Descripción	Observaciones
campo1	FECHA	En formato día - mes -año
campo2	HORA	En formato hora -minutos - segundos
campo3	POTENCIA	Potencia recibida en dB,
campo4	SUCESO LLUVIA P1	Suceso de lluvia en el pluviómetro ESPOL
campo5	SUCESO LLUVIA P2	Suceso de lluvia en el pluviómetro MAPASINGUE
campo6	SUCESO LLUVIA P3	Suceso de lluvia en el pluviómetro TELCONET
campo7	SUCESO LLUVIA P4	Suceso de lluvia en el pluviómetro DURAN
campo8	TEMPERATURA	Temperatura en el medio ambiente - INAMHI
campo9	HUMEDAD RELATIVA	Humedad relativa - INAMHI
campo10	RADIACIÓN SOLAR	radiación solar - INAMHI
campo11	VIENTO	Velocidad del viento - INAMHI
campo12	SENSACION TERMICA	Sensación térmica por calor - INAMHI

Tabla 9. Nuevo formato para datos procesados [45]

4.3 Análisis de datos obtenidos del procesamiento.

En base a la nueva base de datos procesada en la tabla 9, se procedió a efectuar el estudio investigativo de las variables ambientales y su influencia en las lecturas de la potencia recibida en un enlace inalámbrico punto a punto.

Los primeros campos a analizar en este experimento, son los datos de los sucesos de lluvia que se generaron desde el mes de abril del 2016, en donde el funcionamiento del enlace inalámbrico punto a punto era óptimo, para cada uno de los pluviómetros mencionados en la tabla 9. Tal como se muestra en forma estadística en la tabla 10.

Recolección de lluvias en mm	DURAN	ESPOL	MAPASINGUE	TELCONET	TOTALES PLUVIOMETROS
ABRIL	114,3	42,7	168,6	165,2	490,8
MAYO	0,3	1,9	0,5	0,4	3,1
JUNIO	0	0	0,1	0,2	0,3
JULIO	0,4	0	0	0	0,4
AGOSTO	0,6	0	0,7	0,5	1,8
SEPTIEMBRE	1,7	0	0,4	0,1	2,2
	117,3	44,6	170,3	166,4	498,6

Tabla 10. Precipitaciones por lluvias capturadas por los pluviómetros en mm desde abril hasta septiembre del 2016 [45]

Como se puede observar en tabla 10, se procesaron las mayores precipitaciones en el mes de abril, por lo cual se tomó este mes como elemento de estudio. Por lo cual en la tabla 11, se muestra para cada pluviómetro dos

tabla 9, para el día 18 de abril del 2016, con la finalidad de que graficar el comportamiento de la señal, la cual presenta una disminución de potencia por un lapso de tiempo de cuatro horas desde las 18H00 hasta las 22H00. Tal como muestra la figura 4.8.

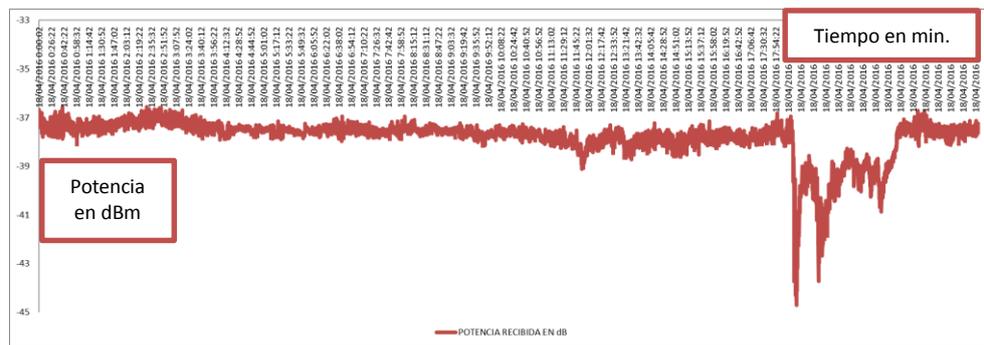


Figura 4.8: Potencia recibida del día 18 de abril del 2016 [45]

Las precipitaciones para el día 18 de abril, empezaron desde las 18H00 hasta las 22H00, tal como se muestra en la figura 4.9.

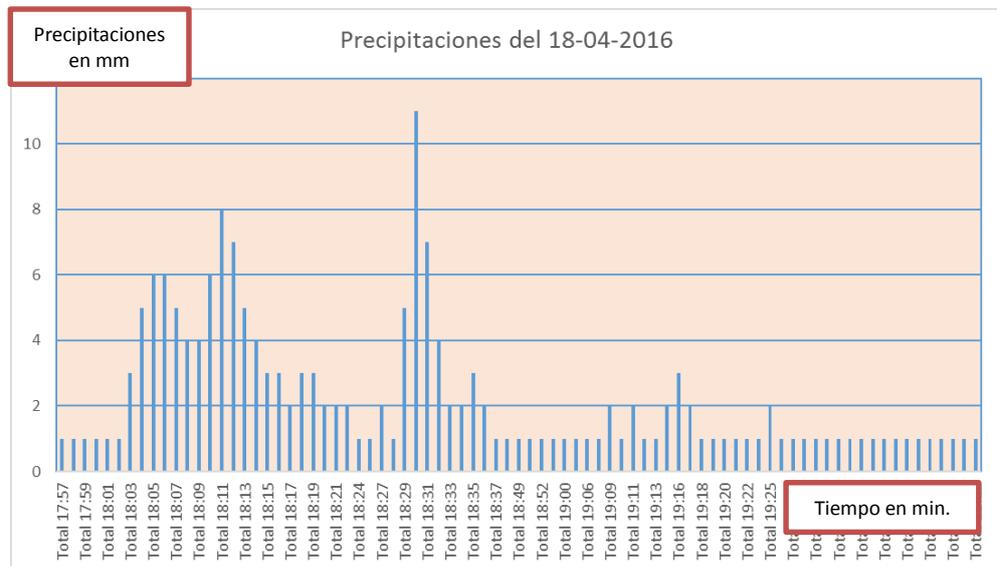


Figura 4.9: Precipitación del día 18 de abril del 2016 [45]

Por lo cual concuerda la disminución de la potencia recibida en el comportamiento de la señal, con las precipitaciones del 18 de abril desde las 18H00 hasta las 22H00 unidas con las influencias de las demás variables

ambientales, dan origen a la atenuación del enlace. Por lo cual la atenuación real del enlace inalámbrico punto a punto se muestra en la figura 4.10.

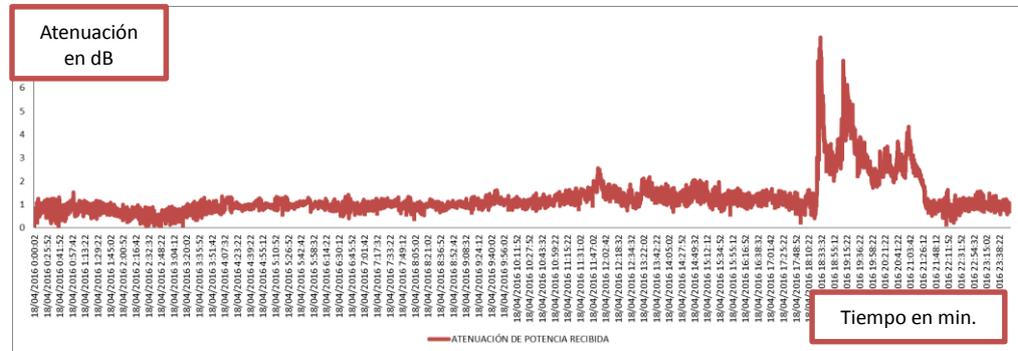


Figura 4.10: Atenuación del enlace inalámbrico punto a punto del día 18 de abril del 2016 [45]

Ahora, al procesar los datos de la tabla 9, que corresponde a la base de datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI, podemos graficar el comportamiento de las variables ambientales de la temperatura, humedad relativa, radiación solar con respecto a la señal de potencia recibida y podemos observar una relación existente entre ellas. Tal como se muestra en la figura 4.11.

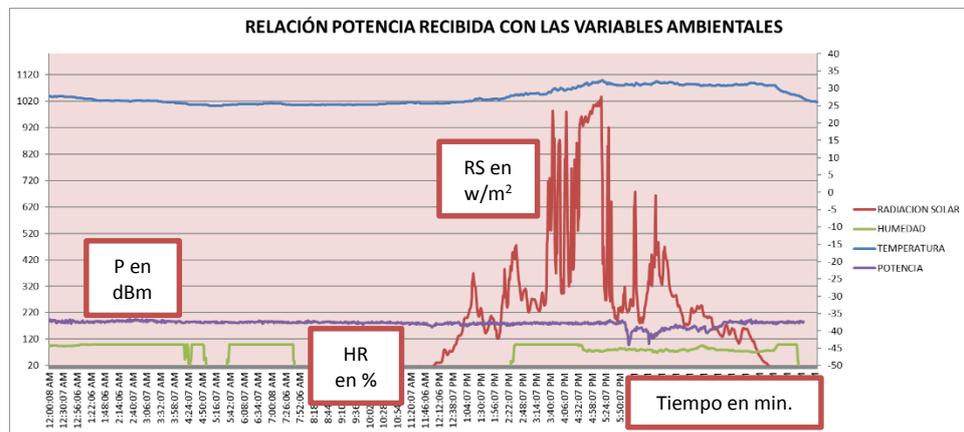


Figura 4.11: Comportamiento de la potencia recibida y la influencia de las variables ambientales [45]

Al culminar el análisis de datos de la potencia recibida con las variables ambientales podemos darnos cuenta que la presencia de lluvias activa estas

variables y con ello originan una atenuación en la señal. Con lo cual mediante este estudio se logró observar en el comportamiento de las variables, las relaciones existentes entre ellas.

4.4 Comportamiento de las señales analizadas en el experimento en tiempo real con lluvia.

Para este análisis vamos a tomar los datos de potencia recibida del día 23 de abril del 2016 de la tabla 9, con la finalidad de obtener el comportamiento de la señal para el día señalado, tal como muestra la figura 4.12.



Figura 4.12: Comportamiento de la potencia recibida para el 23 de abril del 2016 [45]

Como se puede observar en la figura 4.12, la señal de potencia recibida se atenúa por un lapso de tiempo, desde las 19H00 hasta las 20H40. Luego procedemos al análisis de los datos censados por los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto, para el día y hora señalada, con la finalidad de tener la certeza de que existe la presencia de lluvias en el enlace. Es así, que se encontró sucesos de lluvias en la base de datos de la tabla 9. Tal como se muestra en la figura 4.13.

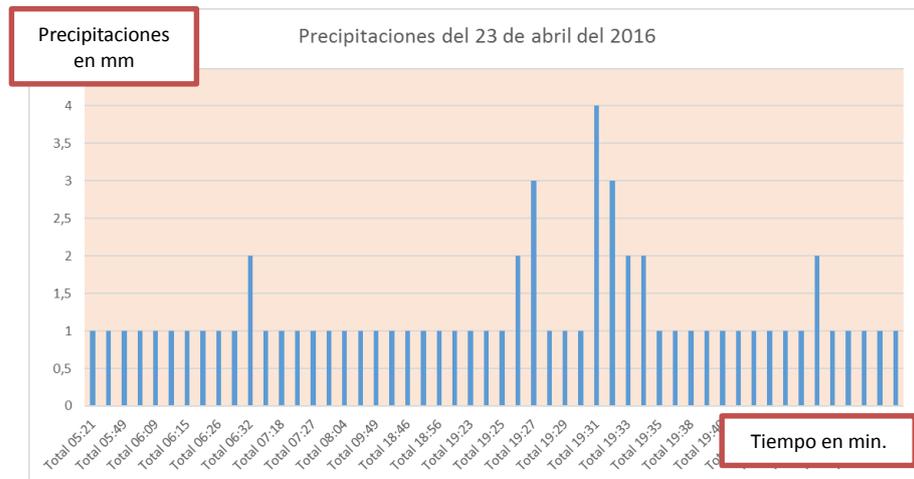


Figura 4.13: Precipitaciones del día 23 de abril del 2016 [45]

En base al comportamiento de la señal de potencia recibida, se puede obtener la atenuación real del enlace. Tal como se muestra en la figura 4.14.

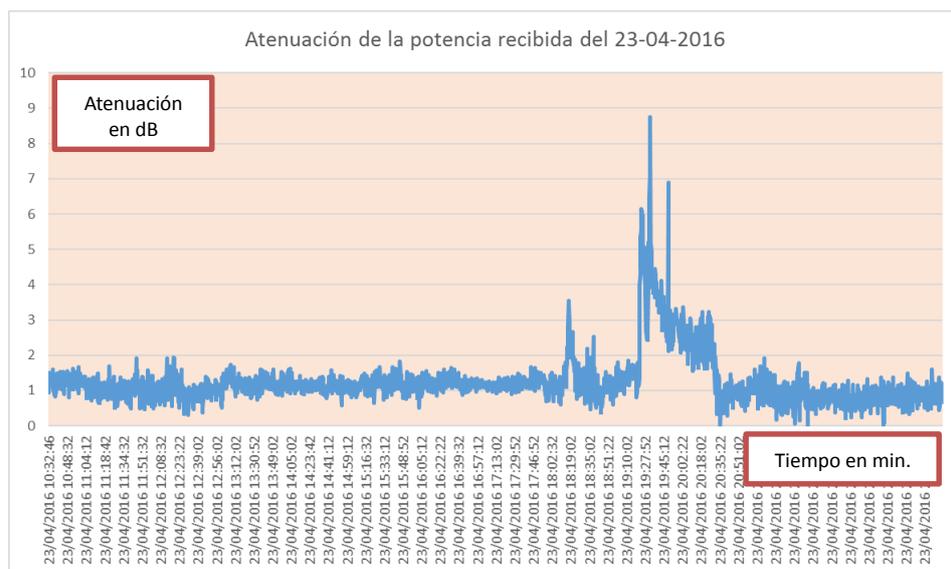


Figura 4.14: Atenuación del enlace para el día 23 de abril del 2016 [45]

Con base al estudio realizado podemos decir que la atenuación de la potencia recibida se debe a la presencia de los sucesos de lluvias, que activan la influencia de las variables ambientales, tales como la temperatura, humedad relativa, radiación solar y la sensación térmica, que se encuentran presentes en el medio ambiente.

4.5 Comportamiento de las señales analizadas en el experimento en tiempo real sin lluvia.

En los días desde el 19 al 21 de abril del 2016 no hubo lluvias, ya que los pluviómetros no censaron ningún suceso. En lo referente al enlace inalámbrico punto a punto estuvo habilitado, se tomaron las lecturas correspondientes de la potencia recibida para el día 19 de abril y se pudo observar el siguiente comportamiento, que se expone en la figura 4.15

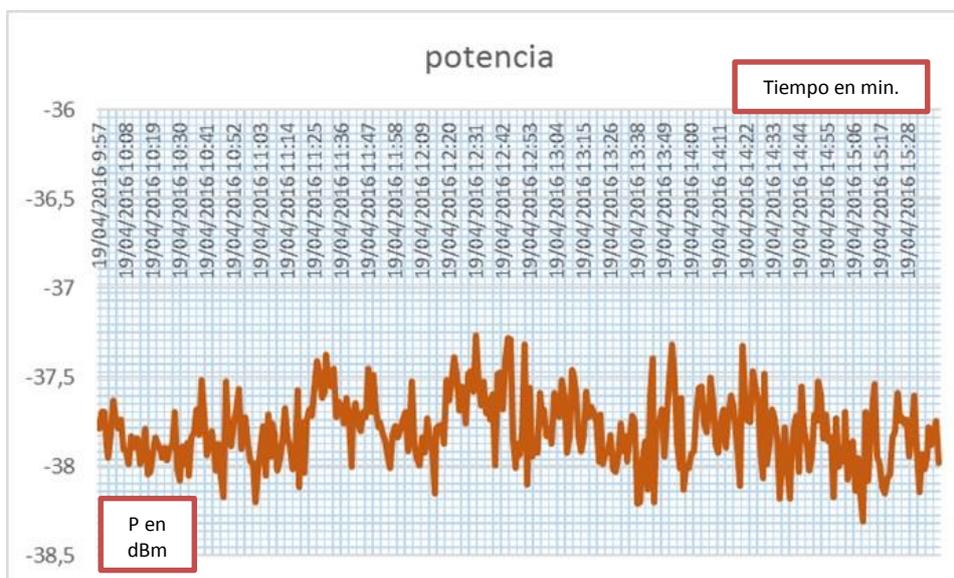


Figura 4.15: Lectura de la potencia recibida. 19 de abril del 2016 [45]

Como se puede observar la potencia recibida, fue censada por el lapso de 5H30, dándonos como resultado, fluctuaciones de potencias que van desde los -38.4 dBm hasta -37.4 dBm, ósea su variación es de 1 dBm. Por lo cual, la atenuación de la señal de potencia es mínima y ante la ausencia de sucesos de lluvias, las variables ambientales no se activan y no provocan ninguna influencia al comportamiento de la señal.

Otro punto en tomarse en consideración en las lecturas de la potencia recibida es la temperatura en la caseta de recepción de la señal, por lo cual los datos de temperatura censados por la plataforma electrónica del arduino UNO son muy importantes para este estudio investigativo, ya que de ello depende el

buen funcionamiento del equipo NI-USRP 2921. Tal como se muestra en la figura 4.16.

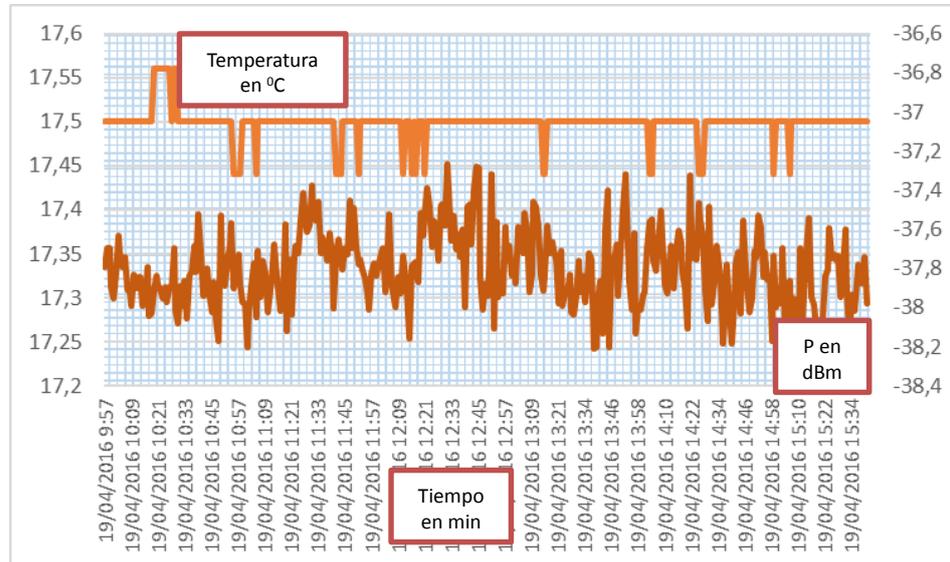


Figura 4.16: Lectura de la potencia recibida y temperatura en la caseta de recepción. 19 de abril del 2016 [45]

El comportamiento de la temperatura de la caseta de recepción que se muestra en la figura 4.16 (primera gráfica), fluctúa desde 17.45 a 17.55, ósea su variación es de 0.10 °C, lo cual implica que las mediciones de la lectura de la potencia recibida son muy confiables, ya que el equipo NI-USRP 2921 está trabajando en óptimas condiciones (segunda gráfica),

En lo referente al comportamiento de las variables ambientales sobre la señal de potencia recibida en un enlace inalámbrico punto a punto, podemos decir, que no presentan ninguna influencia en la señal, tal como se mencionó en anteriores párrafos.

Ahora, mediante este estudio investigativo, se probará que cada variable ambiental, empezando con la variable de la temperatura del medio ambiente no influyen en la señal de potencia recibida, tal como se muestra en la figura 4.17.

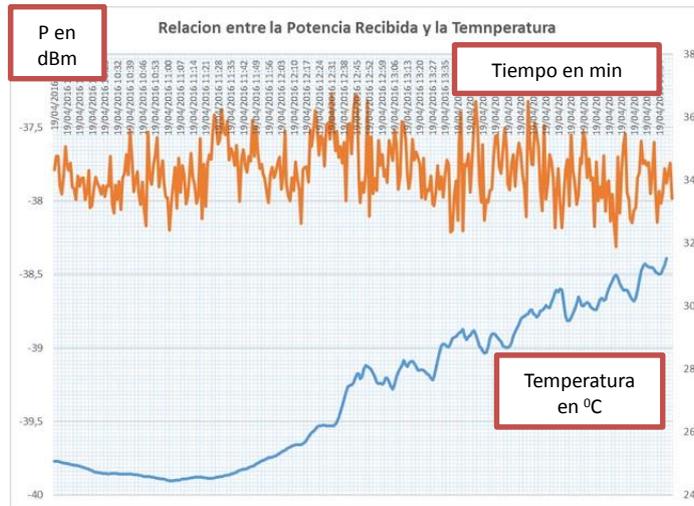


Figura 4.17: Lectura de la potencia recibida y la temperatura en el ambiente.
19 de abril del 2016 [45]

En la figura 4.17, se puede observar que La temperatura en el aire o medio ambiente va aumentada desde los 24 °C hasta los 32 °C, pero ante la ausencia de sucesos de lluvia, la variable no se activa y por ende no influye en la señal de potencia recibida.

En lo referente a la variable de humedad relativa y su influencia en la señal de la potencia recibida, podemos decir de que no existe, tal como se muestra en la figura 4.18.



Figura 4.18: Humedad relativa y la potencia recibida. 19 de abril del 2016 [45]

Lo mismo ocurre con la variable de la presión atmosférica, que no existe influencia en la señal de potencia recibida, tal como se muestra la figura 4.19.

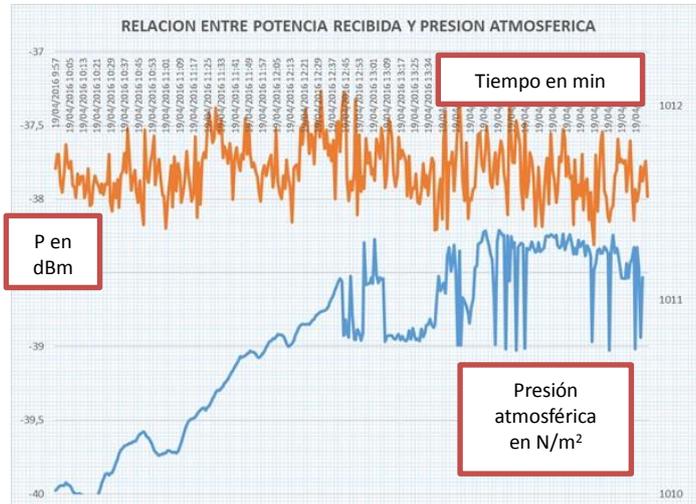


Figura 4.19. Presión atmosférica y la potencia recibida. 19 de abril del 2016 [45]

Por último para la variable ambiental de la radiación solar ocurre lo mismo que las otras variables y es la cero influencias en la señal de potencia recibida. Tal como se muestra en la figura 4.20.

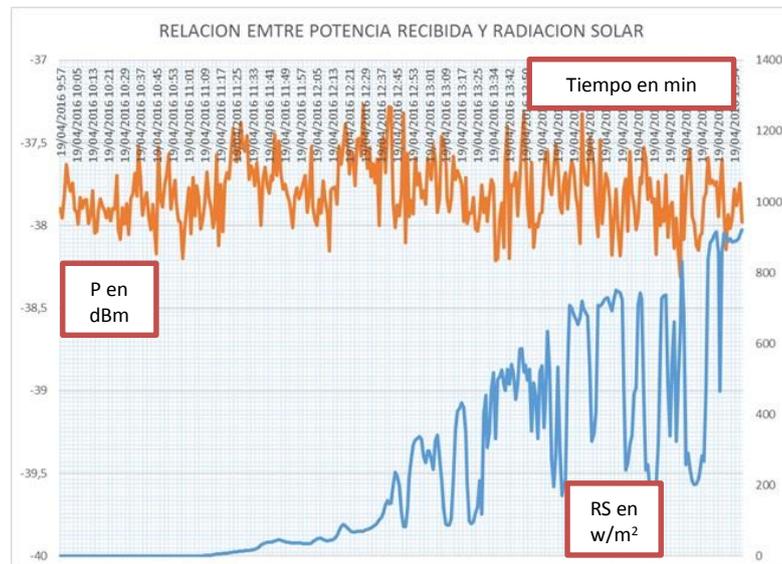


Figura 4.20. Radiación solar y la potencia recibida. 19 de abril del 2016 [45]

Igualmente, como parte del estudio, se tomó otro día de prueba sin presencia de lluvias, obteniendo el siguiente comportamiento, tal como se muestra en la figura 4.21.



Figura 4.21. Lectura de la potencia recibida. 20 de abril del 2016 [45]

Como se mencionó anteriormente, la ausencia de lluvias, no activa las variables ambientales y, por ende, no existe la influencia en la señal de potencia recibida.

4.6 Análisis estadístico de las relaciones entre variables.

Para el análisis estadístico entre las variables ambientales y la potencia recibida se va a necesitar varios campos de la base de datos de la tabla 9, con el fin de ir determinando las relaciones existentes entre ellas. En la tabla 12 se muestra la nueva base de datos con la cual se efectuará el análisis estadístico de las variables ambientales y la potencia recibida.

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure
1	Temperatura	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
2	Humedad	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
3	PresionAtmosferica	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
4	RadiacionSolar	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
5	DirViento	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
6	VelViento	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
7	RecorViento	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
8	HumedadRH	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
9	PotenciaRecibida	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
10	SensacionT	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
11	atenuacion	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale

Tabla 12. Base de datos de las variables ambientales y potencia recibida [45]

Cada variable contiene una muestra de determinados datos dependiendo del día en el que fueron generados. Para este estudio investigativo se tomaron los datos del día 18 de abril del 2016, en donde hubo presencia de lluvias en cada pluviómetro a lo largo del trayecto del enlace punto a punto entre la ESPOL y UNIVISA en la ciudad de Durán.

4.6.1 Análisis estadísticos descriptivos

Para poder efectuar un análisis estadístico descriptivo de las variables de potencia recibida y de las variables ambientales, tales como: la temperatura del medio ambiente, la humedad relativa, radiación solar y sensación térmica, debemos contar con la base de datos de la información bajo el formato de la tabla 12. Es así que, con los datos procesados de la base, podremos determinar:

- Media aritmética
- Error estándar de la media
- Mediana
- Moda
- Desviación estándar
- Varianza
- Rangos
- Máximos
- Mínimos
- Sumatoria

Entre otras [66]. Ya que son parámetros de información necesarios para determinar si la muestra es relevante para nuestros fines. En la tabla 13, se muestra el análisis estadístico descriptivo de las variables ambientales y de la potencia recibida.

Statistics						
	Potencia Recibida	atenuacion	Temperatura	Humedad	Radiacion Solar	SensacionT
N Valid	1436	1410	1436	1436	1424	1436
Missing	4	30	4	4	16	4
Mean	-37.8643184	1.3142	27.6457347	59.7198928	128.1868223	31.7364
Std. Error of Mean	.02239727	.02279	.06234065	1.15520206	5.53755127	.18975
Median	-37.6255000	1.0700	26.5500000	78.7610000	.2145000	29.4896
Mode	-37.78150	1.03 ^a	25.25500 ^a	.00000	.00000	24.06 ^a
Std. Deviation	.84873523	.85594	2.36237338	43.77590922	2.08964617E2	7.19061
Variance	.720	.733	5.581	1916.330	43666.211	51.705
Skewness	-2.835	2.805	.580	-.536	2.257	.421
Std. Error of Skewness	.065	.065	.065	.065	.065	.065
Kurtosis	10.910	10.653	-1.294	-1.558	5.469	-1.459
Std. Error of Kurtosis	.129	.130	.129	.129	.130	.129
Range	7.56120	7.56	7.37000	100.08300	1017.90000	22.92
Minimum	-44.11390	.00	24.94300	.00000	.00000	23.75
Maximum	-36.55270	7.56	32.31300	100.08300	1017.90000	46.67
Sum	-54373.16120	1853.09	39699.27500	85757.76600	1.82538E5	45573.45

Tabla 13. Análisis descriptivo de las variables [45]

Es decir, podemos mencionar como ejemplo que los valores estadísticos para la potencia recibida serían los siguientes, tal como se muestra en la tabla 14.

	VARIABLE	MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
P en dBm	Potencia recibida	-36.55	-37.86	-44.11

Tabla 14. Potencia recibida del 18 de abril del 2016 [45]

También en el análisis descriptivo de las variables se encuentran presentes conceptos como:

- Los histogramas de frecuencia, que son la representación estadística y gráfica de cada variable, según la muestra de datos que se esté analizando.
- El test de normalidad, se basa en visualizar las distribuciones obtenidas de las variables y realizar la prueba de hipótesis, con la finalidad de determinar si su distribución es normal, por lo cual se crean las curvas de curtosis que pasan por encima de la distribución para cada una de las variables ambientales y de potencia recibida [64]. Tal como se muestra en la figura 4.22, sobre diferentes tipos de curtosis.

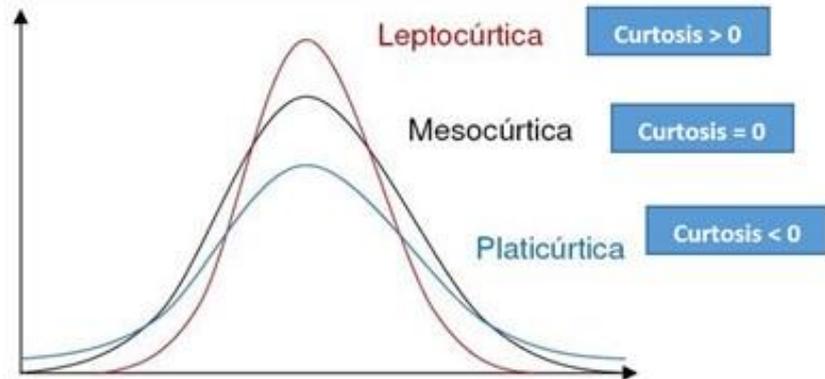


Figura 4.22: Tipos de curtosis [64]

Para el análisis estadístico descriptivo de la muestra del 18 de abril del 2016, se calculó el parámetro de la curtosis. Tal como se muestra en la tabla 15, donde para cada valor de la variable existe una distribución en la curva de la curtosis.

		Statistics					
		PotenciaRecibida	atenuacion	Temperatura	HumedadHR	RadiacionSolar	SensacionT
N	Valid	1436	1410	1436	1436	1424	1436
	Missing	4	30	4	4	16	4
	Kurtosis	10.910	10.653	-1.294	-1.605	5.659	-1.455
	Std. Error of Kurtosis	.129	.130	.129	.129	.130	.129

Tabla 15: Valores de curtosis para cada variable. [45]

En la tabla 16, se muestran los histogramas de frecuencia para cada variable ambiental (temperatura en el ambiente, humedad relativa, radiación solar y sensación térmica por efecto del calor) y también para la variable de potencia recibida, junto con las curvas estimación de distribución de curtosis.

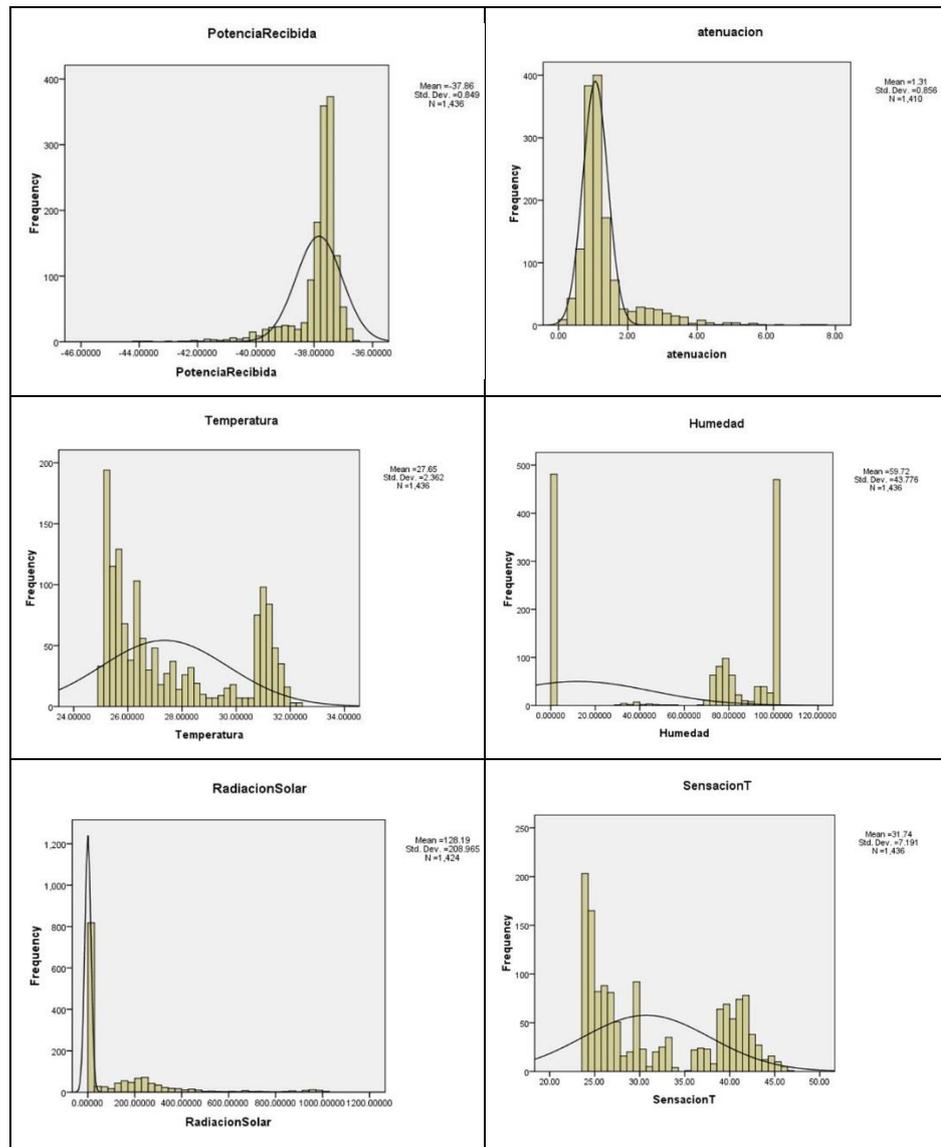


Tabla 16. Histogramas de frecuencia de las variables con sus curvas de curtosis, con datos del 18-abril-2016 [45]

4.6.2 Correlación entre las variables.

Para el desarrollo de este estudio investigativo es importante saber el cálculo de las diferentes correlaciones existente entre todas las variables ambientales y la variable de potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto, en base al coeficiente de correlación de PEARSON (r) [65].

El valor del coeficiente r de Pearson, al momento de analizar una muestra de datos, puede estar dentro de -1 y $+1$. Los signos positivos (+) o negativos (-) en r , me indican la dirección de la relación. Por lo cual r puede ser positiva, negativa y nula sus correlaciones, tal como se muestra en la figura 4.23.



Figura 4.23. Correlaciones positivas, negativas y nulas [45]

El autor Cohen (1998) [64], sugiere utilizar la siguiente lista para interpretar los valores del coeficiente r de Pearson. Tal como se muestra en la tabla 17.

Correlación	MÍNIMO	MÁXIMO
Pequeña	0.10	0.29
mediana	0.30	0.49
Grande	0.50	1.00

Tabla 17. Valores del coeficiente de correlación de Pearson [64].

Los cálculos que se realizan para obtener este coeficiente, se muestra en la ecuación 4.1 [64].

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (4.1)$$

Ecuación 4.1. Coeficiente de Pearson [64].

En base a estudio realizados se determinó que el valor ideal de r , es que $r > 0.30$, para poder considerar que las dos variables analizadas, están íntimamente relacionadas [64]

Cabe mencionar que el software estadístico SPSS, procesa los datos de las variables ambientales y mediante la utilización del método de distancia entre variables, se calcula el coeficiente de Pearson, el cual nos facilita el trabajo en el momento de la toma de decisiones y con ello saber cuál variable nos sirve para nuestro estudio, obteniendo los siguientes resultados, según lo que se muestra de la tabla 18.

Proximity Matrix

		Correlation between Vectors of Values					
		PotenciaRecibida	atenuacion	Temperatura	HumedadHR	RadiacionSolar	SensacionT
PotenciaRecibida		1.000	-.100	-.502	-.418	-.353	-.423
atenuacion		-.100	1.000	.503	.418	.353	.423
Temperatura		-.502	.503	1.000	.961	.619	.946
HumedadHR		-.418	.418	.961	1.000	.612	.944
RadiacionSolar		-.353	.353	.619	.612	1.000	.612
SensacionT		-.423	.423	.946	.944	.612	1.000

Tabla 18. Matriz de correlación y de proximidades de las variables ambientales y la potencia recibida [45].

En la matriz de probabilidades podemos observar que la correlación existente entre las variables de la tabla 18, es evidente, ya que todas sobrepasan un $r > 0.30$. Como, por ejemplo, para el caso de la variable ambiental de la temperatura en el ambiente obtuvimos muy buenos valores de r, al relacionarse con las variables de potencia recibida, humedad relativa, radiación solar, sensación térmica, tal como se muestra en la tabla 19.

	P en dBm	%	w/m ²	°C	
RELACIONES	PotenciaRecibida	HumedadHR	RadiacionSolar	SensacionT	
°C	Temperatura	-.503	0.961	.622	.946

Tabla 19. Relación de la temperatura con las variables ambientales y la potencia recibida [45].

Ahora, si tomamos en consideración la variable de la potencia recibida de la tabla 18, podemos observar que, dados los valores obtenidos,

existe relación con las variables ambientales de la temperatura en el ambiente, humedad relativa, radiación solar, tal como se muestra en la tabla 20.

		°C	%	w/m ²	°C
	RELACIONES	Temperatura	HumedadHR	RadiacionSolar	SensacionT
P en dBm	PotenciaRecibida	-.502	-.418	-.353	-.423

Tabla 20. Relación de la potencia recibida con las variables ambientales [45].

La correlación existente entre la variable ambiental de la humedad relativa con respecto a las otras variables tomadas para nuestro estudio investigativo, se muestra en la tabla 21.

		°C	P en dBm	w/m ²	°C
	RELACIONES	Temperatura	PotenciaRecibida	RadiacionSolar	SensacionT
%	HumedadHR	.961	-.418	.612	.944

Tabla 21. Relación de la humedad relativa con las otras variables [45].

La radiación solar es otra variable ambiental cuyos valores del coeficiente de Pearson son mayores 0.3, con respecto a las otras variables, tal como se muestra en la tabla 22.

		°C	P en dBm	%	°C
	RELACIONES	Temperatura	PotenciaRecibida	HumedadHR	SensacionT
w/m ²	RadiacionSolar	.619	-.353	.612	.612

Tabla 22. Relación de la radiación solar con las otras variables [45].

Por último, la variable ambiental de la sensación térmica por calor, la cual es calculada en base a las variables de la humedad relativa y la temperatura en el ambiente, guarda mucha relación con las otras

variables ambientales, basados en los cálculos de sus correlaciones, tal como muestra la tabla 23.

	^o C	P en dBm	%	w/m ²	
RELACIONES	Temperatura	PotenciaRecibida	HumedadHR	RadiacionSolar	
^o C	SensacionT	.946	-.423	.944	.612

Tabla 23. Relación de la sensación térmica con las otras variables [45].

4.6.3 Análisis de regresión lineal.

El análisis de la regresión lineal para las variables ambientales con respecto a la variable de potencia recibida, se basa en el estudio de la relación de dependencia de una variable sobre otra [63]. Su fórmula se muestra en la ecuación 4.2.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i \quad (4.2)$$

Ecuación 4.2. Ecuación de regresión lineal [63].

Donde:

Y_i = valores de la variable dependiente.

β_0 = Intersección con el eje de la Y.

β_1 = Pendiente de la recta.

X_i = valores de la variable independiente.

Es decir, podemos mencionar que la ecuación de regresión lineal es un modelo matemático simple que conjuga dos variables. Para este estudio investigativo sería la combinación de las variables ambientales con respecto a la variable de potencia recibida. Teniendo en cuenta las relaciones de la tabla 24, que se muestran a continuación.

Variable dependiente	vs	Variable independiente
Temperatura en el medio ambiente	vs	Potencia recibida
Humedad relativa	vs	Potencia recibida
Radiación solar	vs	Potencia recibida
Sensación térmica por efecto del calor	vs	Potencia recibida

Tabla 24. Regresiones lineales de las variables consideradas [45].

4.6.4 Identificación de las relaciones entre variables.

Las relaciones existentes fueron tomadas de la muestra del día 18 de abril del 2016 entre las variables ambientales consideradas para este estudio investigativo con respecto a la variable de potencia recibida, son determinadas por el cálculo de sus coeficientes de correlación de Pearson r , tal como se muestra en la tabla 25.

		°C	%	w/m ²	°C
	RELACIONES	Temperatura	HumedadHR	RadiacionSolar	SensacionT
P en dBm	PotenciaRecibida	-0.502	-0.418	-0.353	-0.423

Tabla 25. Coeficientes de Pearson para las variables [45].

Al obtener valores de $r > 0.30$ [64], podemos mencionar que existe la correlación entre la variable de potencia recibida y cada una de las variables ambientales en forma individual. Con lo cual hemos identificado cada una de las relaciones entre las variables.

4.6.5 Diagrama de dispersión de las variables relacionadas.

Los diagramas de dispersión es la representación gráfica de dos variables utilizando el plano cartesiano, donde sus componentes están compuesto de los datos de cada variable en un mismo instante de tiempo [64]. Los puntos generados en la gráfica de dispersión nos sirven para generar una tendencia lineal del comportamiento de las variables, la cual denominamos la recta de la regresión lineal. Tal como se muestra en la figura 4.24, con los datos obtenidos de potencia recibida y temperatura en el laboratorio de simulación de telecomunicaciones.

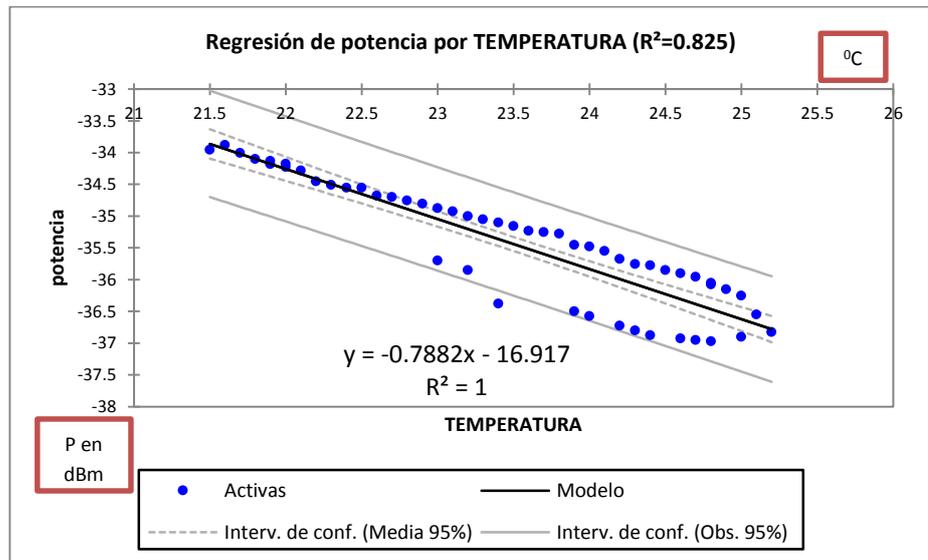


Figura 4.24. Diagrama de dispersión en condiciones ideales [45]

4.6.6 Identificación de los modelos matemáticos de comportamiento.

Los modelos matemáticos generados por el procesamiento de datos en la regresión lineal de las variables ambientales con la variable de potencia recibida son considerados en este estudio investigativo, en forma individual, se muestran en la tabla 24, anteriormente observada y los comportamientos de las variables se pueden observar en la figura 4.25.

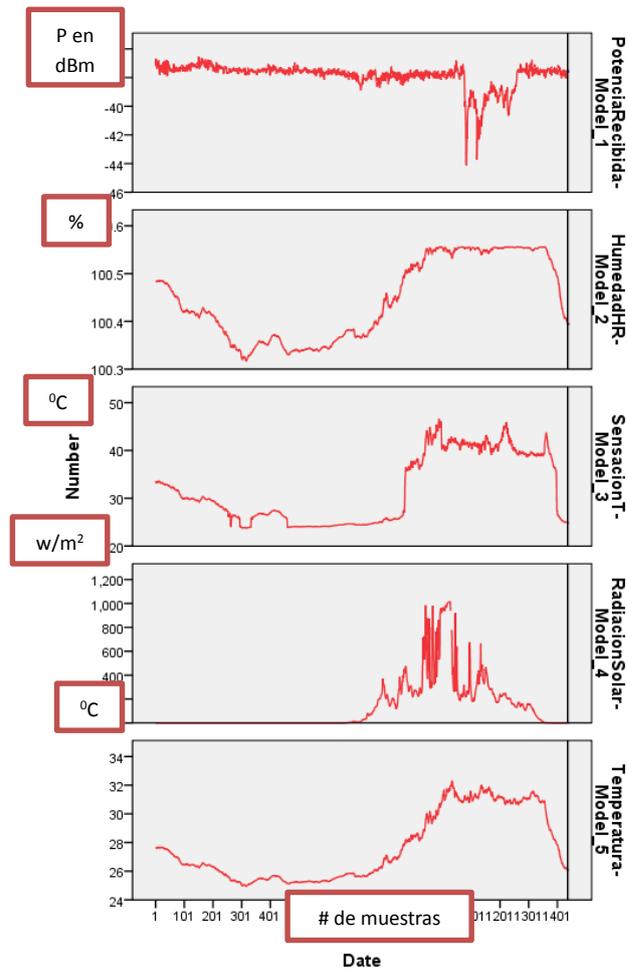


Figura 4.25. Gráficas del comportamiento de las variables [45]

4.7 Definición de herramienta estadística SPSS.

La herramienta estadística SPSS fue desarrollada por la empresa SPSS Inc., como solución a la problemática de la estadística tanto descriptiva e inferencial que tenían las empresas, ya que al manejar un gran volumen de información necesitaba procesar sus datos para poder efectuar una buena toma de decisiones. Por lo cual esta herramienta al ser muy utilizada por las empresas, se la incursiono al sector académico especialmente en la enseñanza en universidades. En el 2009 fue adquirida por IBM Company, en base a la buena proyección que se logró desde el inicio el producto [68].

El software estadístico SPSS posee una gama de versiones, de las cuales la versión que se utilizó para el desarrollo de este estudio investigativo es 17, la misma que se ejecuta bajo la interface de Windows, siendo muy amigable su estructura de trabajo, ya que maneja base de datos. Por lo cual existe una facilidad imperante de pasar datos de archivos de Excel al editor de datos de SPSS.

Cabe mencionar que el estudio investigativo hemos obtenido los datos de la lectura de la potencia recibida del enlace inalámbrico punto a punto, los datos de los sucesos de lluvia grabados en el registrador de datos de cada pluviómetro a lo largo del trayecto del enlace y la base de datos con la información de las variables ambientales censadas por las estaciones meteorológicas del INAMHI, están grabadas en un archivo de Excel unidas en una sola base de datos bajo el formato de la tabla 9, anteriormente descrita. Por lo cual, para trabajar con el software estadístico SPSS, solo necesitamos tener el mismo formato y copiar los datos en el editor de datos de la herramienta, tal como se muestra en la figura 4.26.

The screenshot shows the SPSS Statistics Data Editor window. The title bar reads 'Factores02.sav [Data View] - SPSS Statistics Data Editor'. The menu bar includes File, Edit, View, Data, Transform, Analyze, Graphs, Utilities, Add-ons, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations and analysis. The main window displays a data table with 11 columns and 31 rows. The columns are labeled: Temperatura, Humedad, PresionAtmo, RadiacionSolar, DirViento, VelViento, RecoViento, HumedadRH, PotenciaRecibida, SensacionT, and atenuacion. The first row of data is: 1, 27.64300, 95.73800, 1008.86000, 0.00000, 280.00000, 0.85900, 0.22800, 100.48436, -37.16630, 33.53, 0.61. The table continues with similar data points for rows 2 through 31. The status bar at the bottom indicates 'SPSS Statistics Processor is ready'.

Figura 4.26. Software estadístico SPSS – vista de datos [45]

Luego, hay que tomar en cuenta que cada columna de datos es una variable, por lo cual se le da un nombre descriptivo de lo que expresa cada dato clasificado, tal como se muestra en la figura 4.27

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure
1	Temperatura	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
2	Humedad	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
3	PresionAtm	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
4	RadiacionS	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
5	DirViento	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
6	VelViento	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
7	RecoViento	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
8	HumedadHR	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
9	PotenciaRe	Numeric	8	5		None	None	8	Right	Scale
10	SensacionT	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
11	atenuacion	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale

Figura 4.27. Software estadístico SPSS – vista de variables [45]

Mediante el software estadístico SPSS versión 17, podemos realizar varios procesos que involucra la combinación de las variables ambientales y la variable de potencia recibida. Tal como se muestra en la figura 4.28, en donde se encuentran todos los algoritmos estadísticos que posee esta herramienta de análisis, con la que se obtienen resultados importantes para tomar decisiones.

Name	Type	Label	Value
1	Temperatura	Numeric	
2	Humedad	Numeric	None
3	PresionAtm...	Numeric	None
4	RadiacionS...	Numeric	None
5	DirViento	Numeric	None
6	VelViento	Numeric	None
7	RecoViento	Numeric	None
8	HumedadHR	Numeric	None
9	PotenciaRe...	Numeric	None
10	SensacionT	Numeric	None
11	atenuacion	Numeric	None
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

Figura 4.28. Algoritmos de análisis estadístico en SPSS [45]

Es así, que para este estudio investigativo utilizamos la herramienta SPSS, para obtener:

- Análisis estadísticos descriptivos de las variables ambientales y la variable de la potencia recibida.
- Coeficiente de correlación de Pearson entre la variable de potencia recibida y las variables ambientales, con la finalidad de probar las relaciones entre variables.
- Regresión lineal entre la variable de potencia recibida y cada una de las variables ambientales, con la finalidad de observar el diagrama de dispersión de los datos y su correspondiente modelo matemático simple.

CAPÍTULO 5

5. DESARROLLO DE MODELOS.

En el capítulo 5, se plantean el desarrollo de los modelos matemáticos según el impacto que proporciona cada una de las variables ambientales sobre las mediciones de potencia y por último la validación de los mismos en base a sus correlaciones existentes.

5.1 Antecedentes.

Para este estudio investigativo se necesita desarrollar modelos matemáticos mediante la técnica de la regresión lineal que procesa los datos de las variables ambientales y los datos del experimento basados en la toma de lecturas de la potencia recibida en el enlace inalámbrico punto a punto con presencia de lluvias, estableciendo relaciones entre cada una de ellas..

5.2 Modelamiento matemático de las variables relacionadas.

Los modelos matemáticos planteados mediante la técnica de la regresión lineal, se muestran en la tabla 26.

Variable dependiente	vs	Variable independiente
Temperatura en el medio ambiente	vs	Potencia recibida
Humedad relativa	vs	Potencia recibida
Radiación solar	vs	Potencia recibida
Sensación térmica por efecto del calor	vs	Potencia recibida

Tabla 26. Modelos matemáticos planteados [45].

5.2.1 Relación Temperatura ambiente con respecto a la potencia recibida.

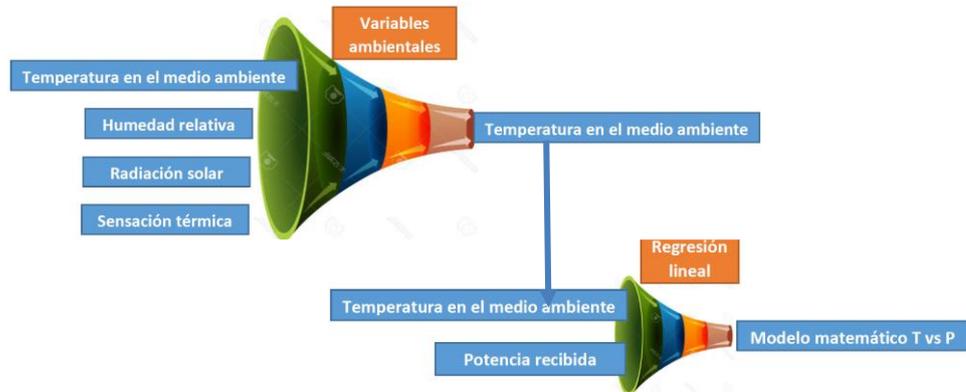


Figura 5.1. Relación T vs P [45]

Se empieza a analizar la regresión lineal de la variable de la “temperatura en el ambiente” (T), con respecto a la variable de “potencia recibida” (P), mediante los siguientes pasos.

1. Procesar los datos para el modelo, con el fin de obtener su coeficiente de r de Pearson, que para este caso $R = 0.491$, el cual me indica la relación que existe entre las variables de temperatura en el ambiente y la potencia recibida. Tal como se indica en la tabla 27.
2. Con el coeficiente de Pearson calculado, se obtuvo el coeficiente de determinación R^2 , el cual me indica cuánto gana o se puede mejorar la variable de potencia recibida en forma porcentual, siendo para este caso $R^2 = 0.241$ entonces la mejora sería del 24.1%. tal como se indica en la tabla 27.

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.491 ^a	.241	.241	2.05870464

a. Predictors: (Constant), PotenciaRecibida

b. Dependent Variable: Temperatura

R = Coeficiente de Pearson = Entre +1 y -1
 R^2 = Coeficiente de determinación = 0 y 1
 $R^2 = 0$; variables independientes.
 $R^2 = 1$; relación perfecta.

Tabla 27. Resumen del modelo de regresión T vs P [45].

3. Analizamos ahora, la tabla 28, del ANOVA o análisis de la varianza, la cual consiste en realizar una prueba de hipótesis a la muestra de datos.

H_0 = hipótesis nula, las medias de las variables son iguales.

H_1 = hipótesis válida, las medias son diferentes.

Nivel de significancia = 5%

Para ello se usó del valor de la significancia (campo sig. de la tabla), el cual me indica que $p = 0.000 < 0.05$, lo que significa que rechazamos la hipótesis nula H_0 y aceptamos la hipótesis H_1 de este estudio investigativo.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1930.788	1	1930.788	455.561	.000 ^a
	Residual	6077.672	1434	4.238		
	Total	8008.459	1435			

a. Predictors: (Constant), PotenciaRecibida

b. Dependent Variable: Temperatura

Tabla 28. Tabla ANOVA T vs P [45].

4. Como el valor de $R > 0.30$, podemos procesar los valores de los coeficientes del modelo de regresión lineal. tal como se indica en la tabla 29. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = -24.103$$

$$\beta_1 = -1.367$$

$$\text{Temperatura} = -24.103 - 1.367 \text{ Potencia}$$

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-24.103	2.425		-9.939	.000
	PotenciaRecibida	-1.367	.064	-.491	-21.344	.000

a. Dependent Variable: Temperatura

Tabla 29. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal T vs P [45].

5. De la ecuación de la regresión lineal se obtuvo una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en la figura 5.2.

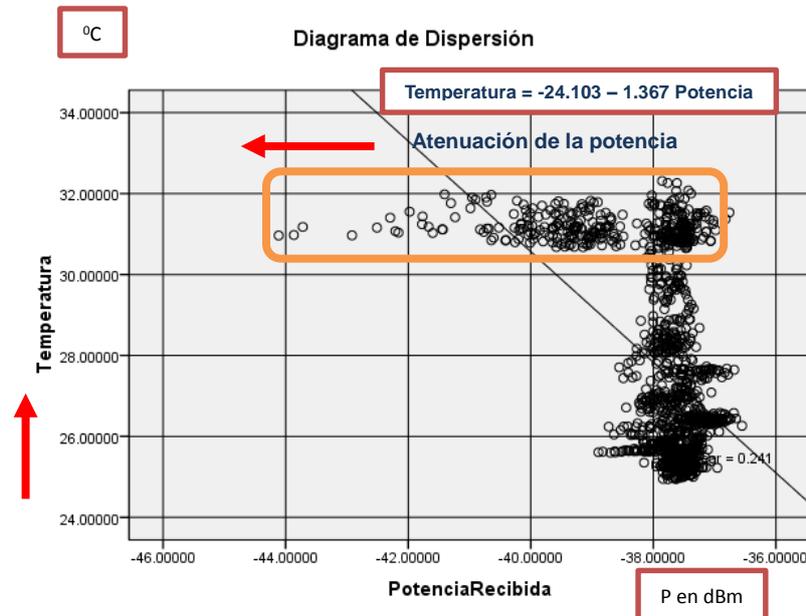


Figura 5.2. Diagrama de dispersión T vs P [45]

Ahora analizaremos el diagrama de dispersión de la figura 5.2, en donde se puede observar que mientras no exista presencia de lluvias, la potencia recibida oscila entre -37 dBm y -38 dBm. Luego la temperatura empieza a incrementarse hasta que aparecen las lluvias en el enlace inalámbrico y produce en **la potencia una variación desde -37 dBm hasta -44 dBm**, la cual se la conoce como **atenuación**.

- **Mejoras al modelo matemático**

Para obtener un modelo matemático que refleje solo la presencia de lluvias en el enlace inalámbrico del día 18 de abril del 2016, se segmentó la serie de datos del diagrama de dispersión de la figura 5.2.

La segmentación de datos se la ejecuto mediante una regla aplicada la variable lluvias, creada como una bandera que tiene dos estados:

lluvias = 1, presencia real de lluvias

Lluvias = 0, no hubo lluvias

Cabe mencionar que la variable lluvias es un indicador basado en los eventos de lluvias censados por los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico, no cuantifica. La variable que cuantifica los eventos de lluvias es la variable ambiental de precipitaciones.

- **Caso Lluvias = 1.**

De tal forma que el nuevo diagrama de dispersión luego de la segmentación presenta variaciones que se muestran en la figura 5.3.

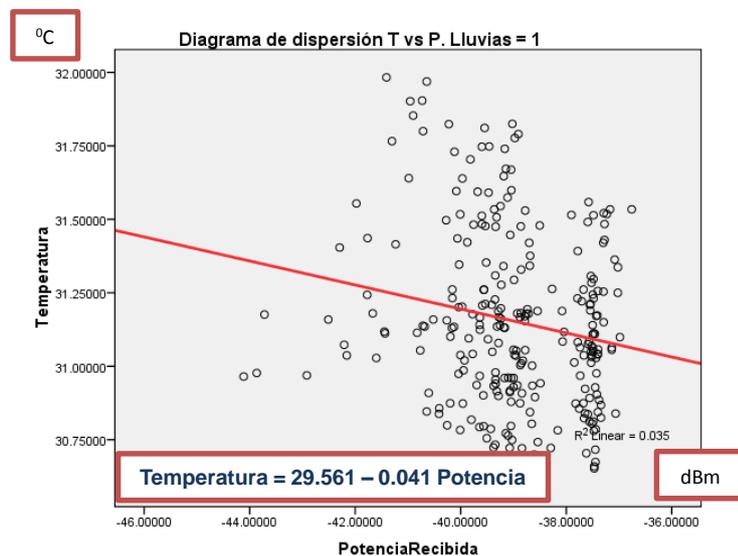


Figura 5.3. Diagrama de dispersión segmentado T vs P. Lluvias =1 [45]

La recta de la regresión lineal presente en el diagrama de dispersión de la figura 5.3, pasa por todos los puntos observados. El proceso estadístico que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 30. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 29.561$$

$$\beta_1 = -0.041$$

$$\text{Temperatura} = 29.561 - 0.041 \text{ Potencia}$$

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	29.561	.516		57.269	.000
	PotenciaRecibida	-.041	.013	-.186	-3.088	.002

a. Dependent Variable: Temperatura
 b. Selecting only cases for which Lluvia = 1

Tabla 30. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para T vs P. Lluvias =1 [45].

La distribución de los datos observados alrededor de la recta de regresión lineal, se la detalla en la figura 5.4.

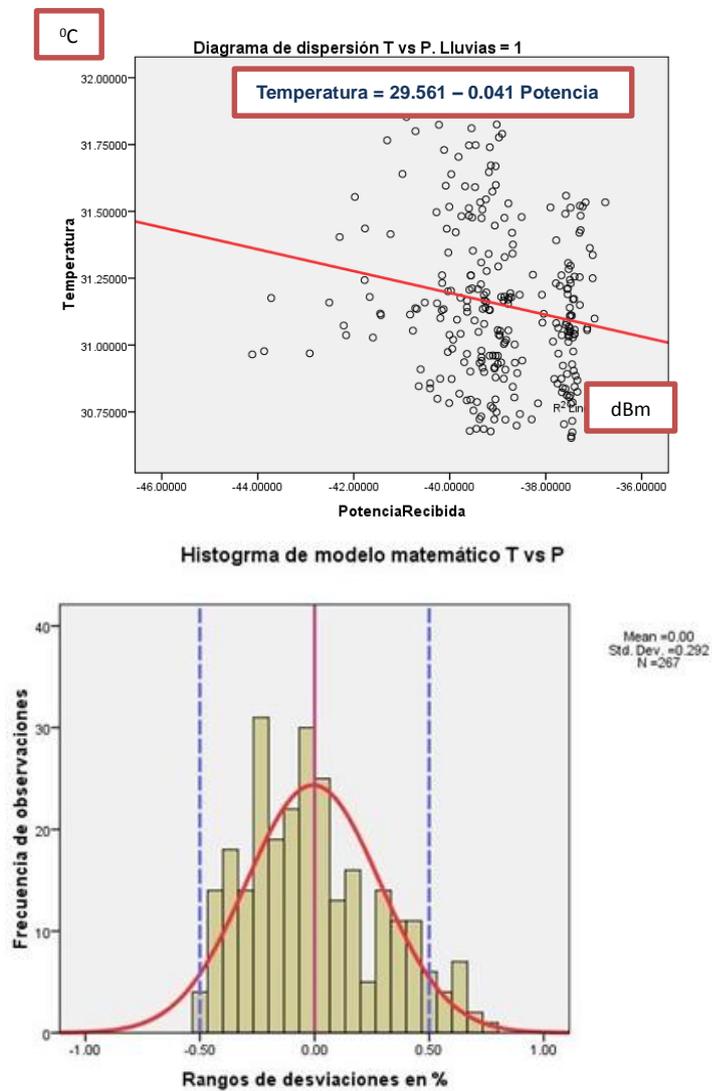


Figura 5.4. Distribución de datos observados del modelo T vs P [45]

- **Caso Lluvias = 0.**

El nuevo diagrama de dispersión no contara con presencia de lluvias, por lo cual la segmentación presenta variaciones, las mismas que se muestran en la figura 5.5.

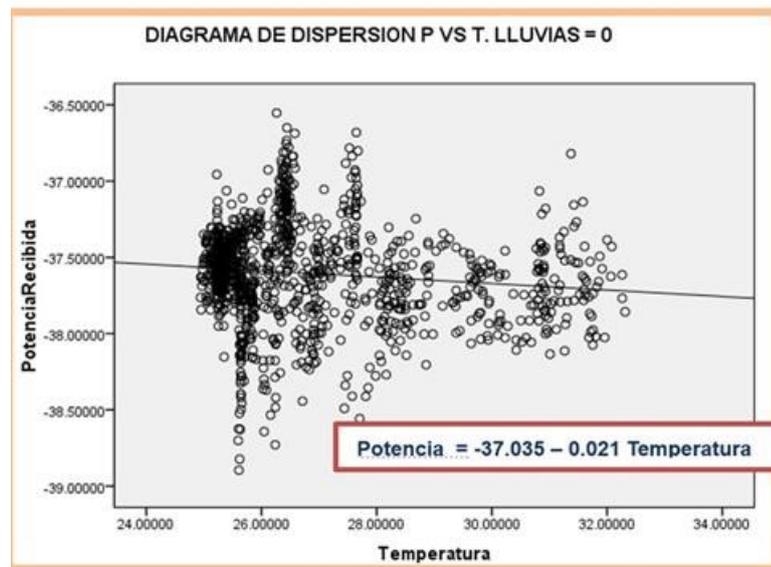


Figura 5.5. Diagrama de dispersión segmentado P vs T. Lluvias =0 [45]

La recta de la regresión de la figura 5.5, que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 31. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

$$\beta_0 = -37.035$$

$$\beta_1 = -0.021$$

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-37.035	.137		-270.987	.000
	Temperatura	-.021	.005	-.121	-4.180	.000

a. Dependent Variable: PotenciaRecibida

$$\text{Potencia} = -37.035 - 0.021 \text{ Temperatura}$$

Tabla 31. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para P vs T. Lluvias =0 [45]

La tendencia que tienen los datos observados en el diagrama de dispersión tienen una distribución normal, así como también su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.6.

Lluvias = 0.

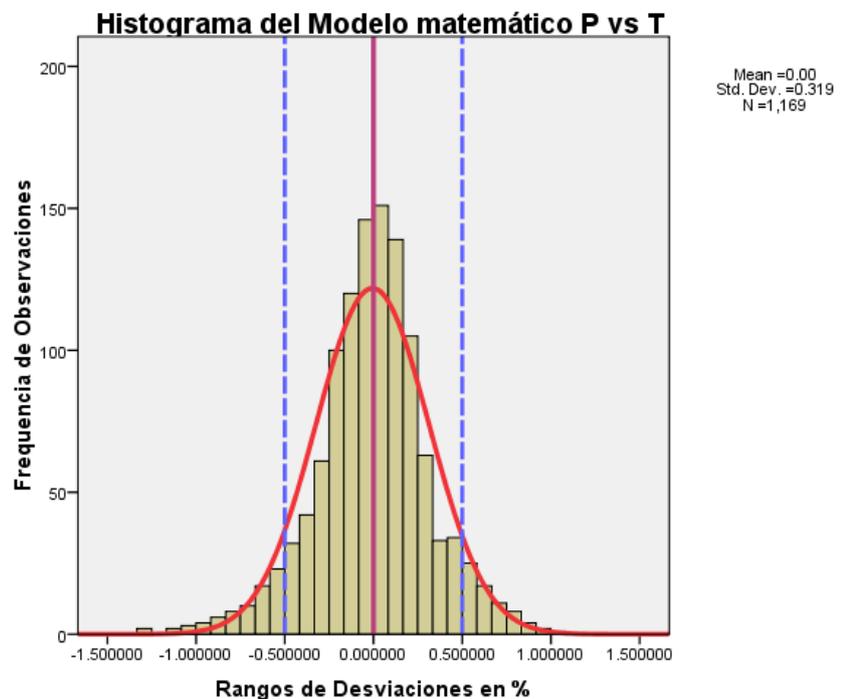
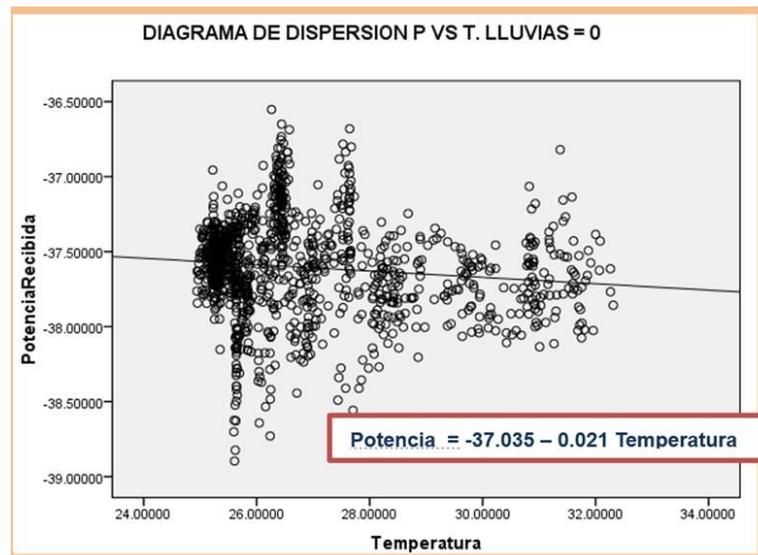


Figura 5.6. Distribución de los datos observados del modelo P vs T [45]

• **Prueba de Normalidad Kolmogorov -Smirnov a variables ambientales. Lluvias = 0.**

Prueba de hipótesis

H_0 = La distribución de la variable en estudio no difiere de la distribución Normal.

H_1 = La distribución de la variable en estudio no difiere de la distribución Normal

Nivel de significancia = 5%

Si $p < 0.05$, escogemos la hipótesis H_0

Si $p > 0.05$, escogemos la hipótesis H_1

Prueba de normalidad

	PotenciaRecibida	Temperatura	Humedad	RadiacionSolar	SensacionT	atenuacion	
N	1169	1169	1169	1169	1169	1169	
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	-37.6045006	26.8444209	55.4738024	106.6970121	29.6639	1.0491
	Std. Deviation	.32137792	1.83850339	2.44733033	2.19584638E2	6.31276	.32364
Most Extreme Differences	Absolute	.045	.182	.290	.359	.200	.049
	Positive	.040	.182	.290	.359	.200	.049
	Negative	-.045	-.151	-.264	-.314	-.174	-.045
Kolmogorov-Smirnov Z	1.527	6.226	9.925	12.196	6.841	1.660	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.019	.000	.000	.000	.000	.008	

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Tabla 32. Prueba de normalidad para las variables ambientales [45]

En resumen:

Variables analizadas	p	Condición p = sig	Hipotesis aceptada
Potencia recibida	0.019	$p < 0.05$	H_0
Temperatura	0.000	$p < 0.05$	H_0
Humedad relativa	0.000	$p < 0.05$	H_0
Radiación solar	0.000	$p < 0.05$	H_0
Sensación térmica	0.000	$p < 0.05$	H_0
Atenuación	0.008	$p < 0.05$	H_0

Tabla 33. Nivel de significancia de las variables ambientales [45]

Podemos concluir que:

En base a la prueba de hipótesis formulada y los resultados del test de Kolmogorov aplicados a los datos observados de las variables ambientales, de las variables de potencia recibida y de atenuación cuando no hay lluvias, que estas variables tienen una distribución normal.

- **Presentación de modelos T vs P.**

Los modelos matemáticos obtenidos del proceso de regresión lineal entre la relación de las variables de temperatura en el ambiente y la potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto. Se muestra en la tabla 34.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Temperatura = $-24.103 - 1.367$ Potencia	Completa
Temperatura = $29.561 - 0.041$ Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Potencia = $-37.035 - 0.021$ Temperatura	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 34. Modelos matemáticos para T vs P [45].

En resumen podemos presentar en la figura 5.7, el comportamiento gráfico de los modelos matemáticos de las dos variables con o sin presencias de lluvias.

Relación Temperatura en el ambiente con respecto a la potencia recibida.

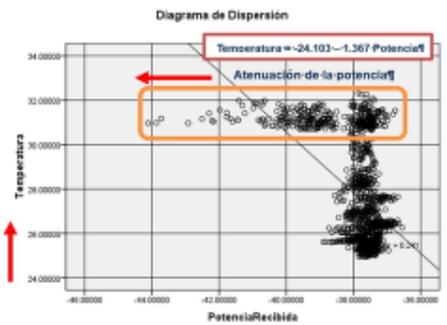
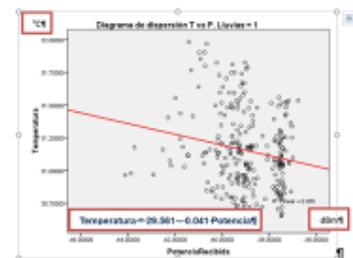


Figura 5.2. Diagrama de dispersión T vs P. [45]

Ing. José Luis Alonso A.

Trabajo de Titulación

MET4 - FEC - ESPO



Lluvias = 0

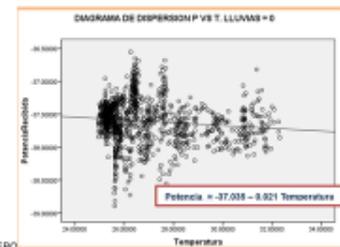


Figura 5.7. Comportamiento de los modelos matemáticos T vs P en forma resumida [45]

- **Relación entre la temperatura y la atenuación de la potencia**

Con los diagramas de dispersión de la temperatura vs potencia, podemos observar el comportamiento de la atenuación en escala de potencia recibida. Por lo cual, es necesario reflejar en este estudio la intervención de una nueva variable, a la cual nominamos como la atenuación de la potencia recibida (AP), la cual se procesa en mismo instante que la variable de potencia recibida. Tal como se muestra en la figura 5.8.

Diagrama de dispersión en 3D

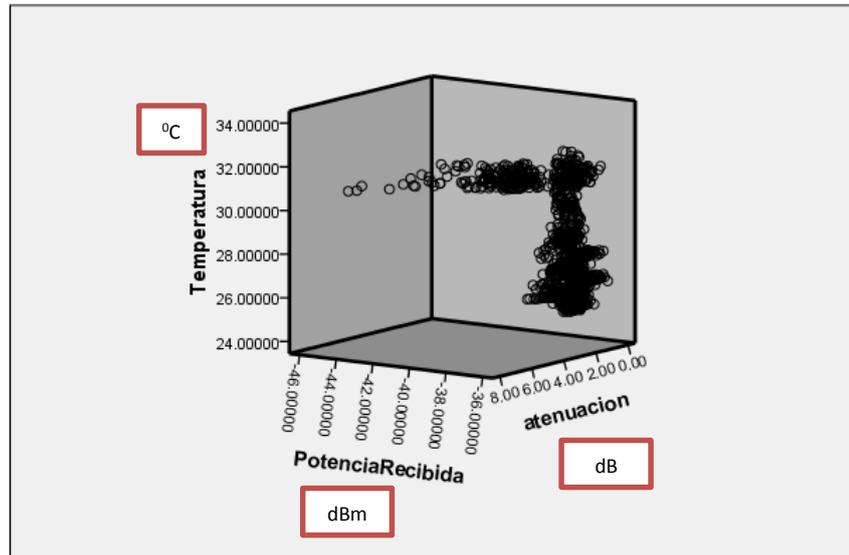


Figura 5.8. Diagrama de dispersión en 3D T - P - AP [45]

Ahora la relación existente entre la variable temperatura y atenuación de la potencia recibida es directamente proporcional, tal como indica la figura 5.9.

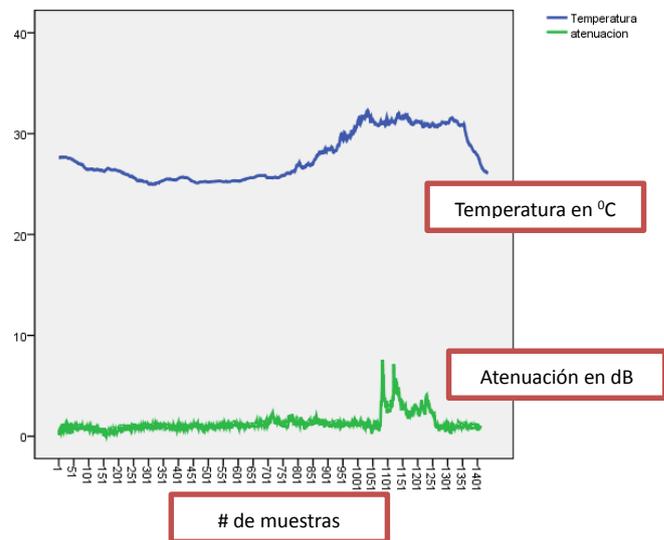


Figura 5.9. Comportamiento de las variables de temperatura y atenuación de la potencia recibida [45]

Ahora al ejecutar el algoritmo estadístico de la regresión lineal para la variable ambiental de la “temperatura en el ambiente” (T) y la variable **atenuación de potencia recibida (AP)**, obtenemos los siguientes resultados con el software SPSS., la cual se muestran en la tabla 35.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.491 ^a	.241	.241	2.07206773

a. Predictors: (Constant), atenuación

b. Dependent Variable: Temperatura

Tabla 35. Resumen del modelo de regresión T vs AP [45].

Siendo, su coeficiente de r de Pearson, $R = 0.491$, entonces $R > 0.30$, por lo cual las variables de temperatura y atenuación de la potencia recibida, están relacionadas.

En lo que tiene que ver con su coeficiente de determinación, $R^2 = 0.241$, lo cual me indica que la variable de la atenuación puedo mejorarla a 24.1%.

Ahora analizaremos la tabla 36 de ANOVA o análisis de la varianza, con el fin de probar la hipótesis:

H_0 = hipótesis nula, las medias de las variables son iguales.

H_1 = hipótesis válida, las medias son diferentes.

Para ello nos valemos del valor de la significancia (campo sig. de la tabla), el cual me indica que $p = 0.000 < 0.05$, lo que significa que rechazamos la hipótesis nula H_0 y aceptamos la hipótesis H_1 de este estudio investigativo.

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1920.551	1	1920.551	447.320	.000 ^a
	Residual	6045.198	1408	4.293		
	Total	7965.749	1409			

a. Predictors: (Constant), atenuacion
b. Dependent Variable: Temperatura

Tabla 36. Tabla ANOVA T vs AP [45]

Como el valor de $R > 0.30$, podemos obtener un modelo de regresión lineal, tal como se indica en la tabla 37. Donde:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i, \text{ ecuación de la recta de regresión lineal.}$$

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 98.882$$

$$\beta_1 = -0.041$$

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	25.876	.101		255.848	.000
	atenuacion	1.364	.064	.491	21.150	.000

a. Dependent Variable: Temperatura

$$\text{Temperatura} = 25.876 + 1.364 \text{ Atenuación de la Potencia}$$

Tabla 37. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal T vs AP [45].

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en la figura 5.10.

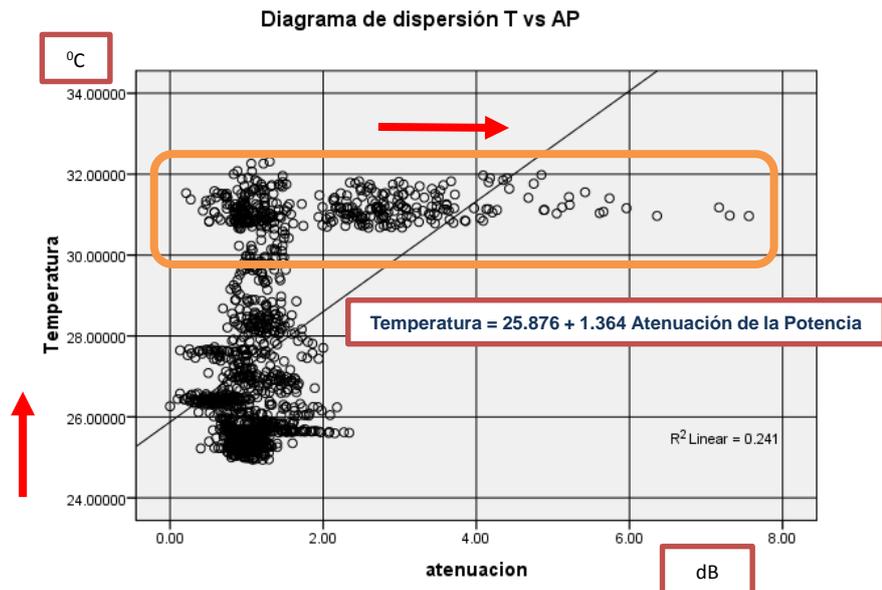


Figura 5.10. Diagrama de dispersión T vs AP [45]

Podemos observar en el diagrama de dispersión de la figura 5.9, la siguiente información: Que mientras no hay lluvias la atenuación se mantiene oscilando de **0 dB a 2 dB** a pesar que la temperatura se va incrementando hasta que aparecen las lluvias en el enlace inalámbrico punto a punto, la atenuación se va incrementando hasta llegar **a los 8 dB**. Por lo cual la recta de regresión no contempla todos los puntos según el gráfico, por lo cual se procede a efectuar una mejora al modelo.

- **Mejoras al modelo matemático T vs AP**
- **Caso Lluvias = 1.**

Nuevamente aplicamos la técnica de segmentar el modelo, en base a la bandera lluvias = 1 de la variable lluvias, se obtiene la siguiente recta de regresión, tal como se muestra en la tabla 38.

$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 31.054$$

$$\beta_1 = 0.041$$

Coefficients ^{a,b}						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	31.054	.037		838.895	.000
	atenuacion	.041	.013	.186	3.087	.002

a. Dependent Variable: Temperatura

b. Selecting only cases for which Lluvia = 1

$$\text{Temperatura} = 31.054 + 0.041 \text{ Atenuación de la Potencia}$$

Tabla 38. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para T vs AP [45]. Lluvias =1.

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados de la serie de datos segmentados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en el diagrama de dispersión de la figura 5.11 para el modelo mejorado.

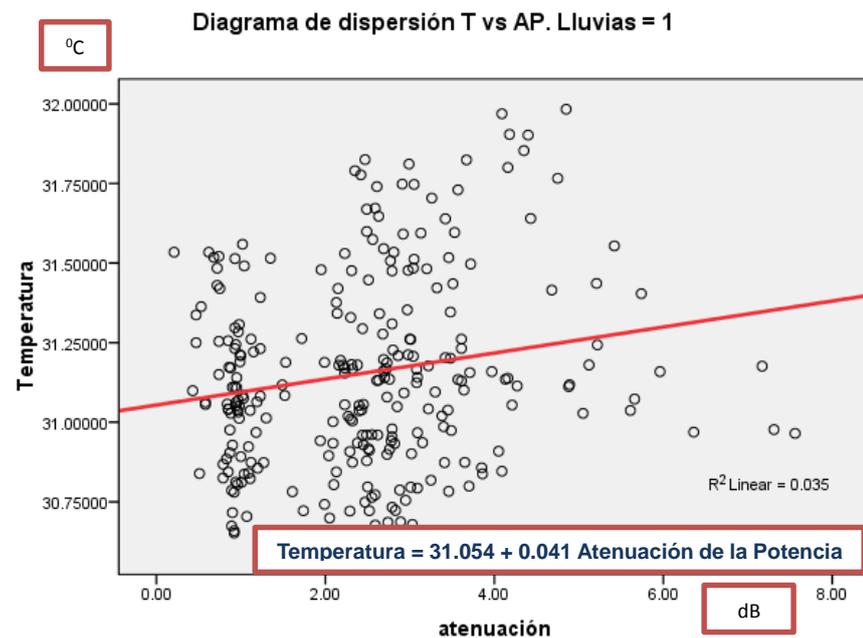


Figura 5.11. Diagrama de dispersión segmentado T vs AP. Lluvias = 1. [45]

La distribución de los datos observados alrededor de la recta de regresión lineal es normal y se la detalla en la figura 5.12.

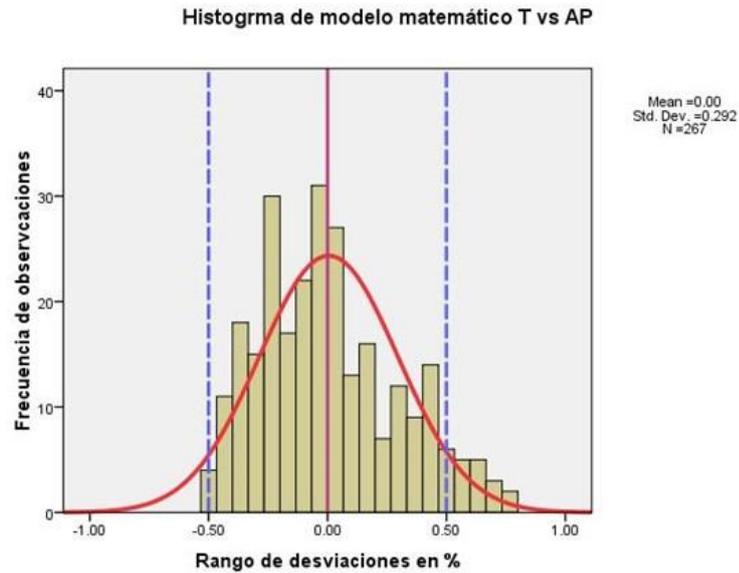


Figura 5.12. Distribución de los datos observados del modelo T vs AP

- **Caso Lluvias = 0.**

El nuevo diagrama de dispersión no contara con presencia de lluvias, por lo cual la segmentación presenta variaciones, las mismas que se muestran en la figura 5.13.

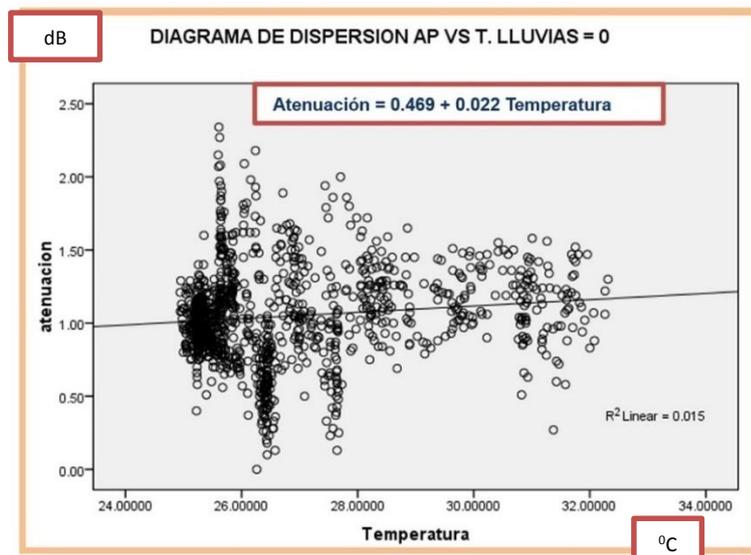


Figura 5.13. Diagrama de dispersión segmentado AP vs T. Lluvias = 0

La recta de la regresión de la figura 5.11, que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 39. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

$\beta_0 = 0.469$

$\beta_1 = 0.022$

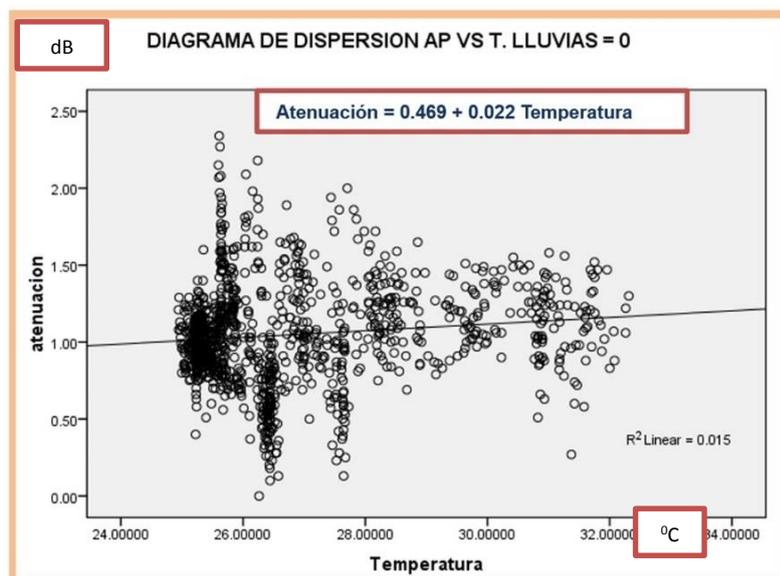
Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.469	.138		3.406	.001
	Temperatura	.022	.005	.124	4.219	.000

a. Dependent Variable: atenuación

$$\text{Atenuación} = 0.469 + 0.022 \text{ Temperatura}$$

Tabla 39. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para AP vs T. Lluvias =0 [45]

La tendencia que tienen los datos observados en el diagrama de dispersión tienen una distribución normal, así como también su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.14.



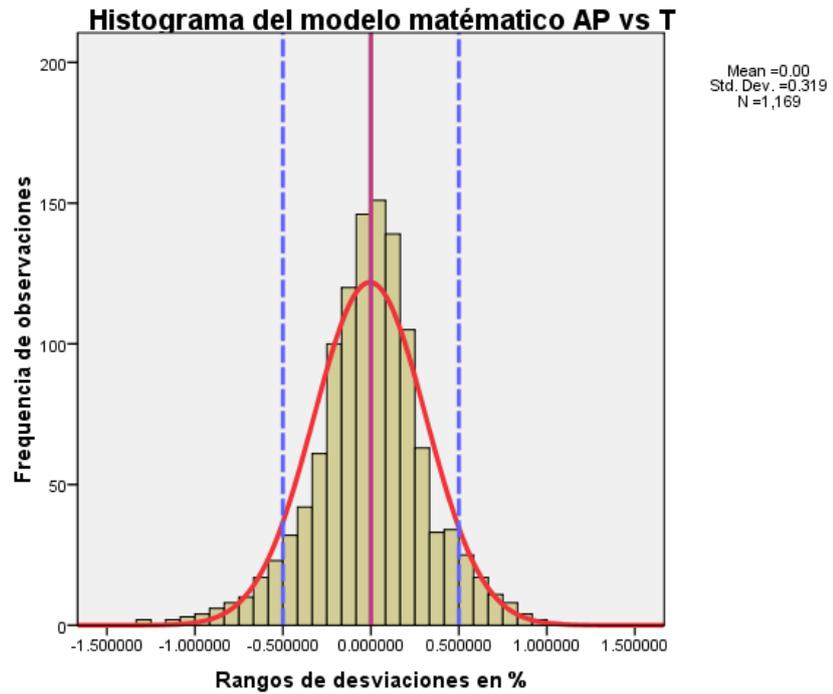


Figura 5.14. Distribución de los datos observados del modelo AP vs T [45]

- **Presentación de modelos T vs AP**

Los modelos matemáticos obtenidos del proceso de regresión lineal entre la relación de las variables de temperatura en el ambiente y la atenuación potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto. Se muestra en la tabla 40.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Temperatura = 25.876 + 1.364 Atenuación de la Potencia	Completa
Temperatura = 31.054 + 0.041 Atenuación de la Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Atenuación = 0.469 + 0.022 Temperatura	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 40. Modelos matemáticos para T vs AP [45].

En resumen podemos presentar en la figura 5.15, el comportamiento gráfico de los modelos matemáticos de las dos variables con o sin presencias de lluvias.

Relación entre la temperatura y la atenuación de la potencia

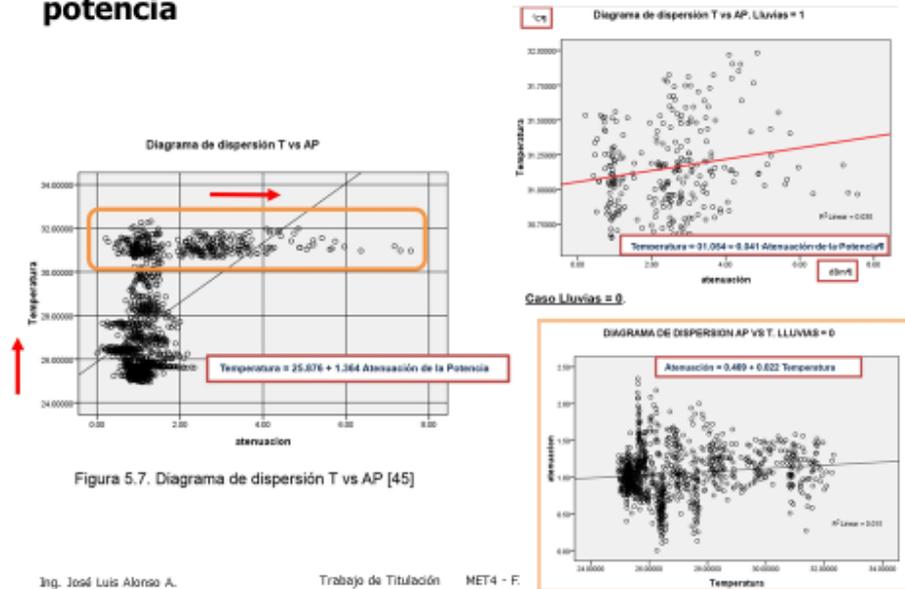


Figura 5.15. Comportamiento de los modelos matemáticos AP vs T en forma resumida [45]

5.2.2 Relación humedad relativa con respecto a la potencia recibida.

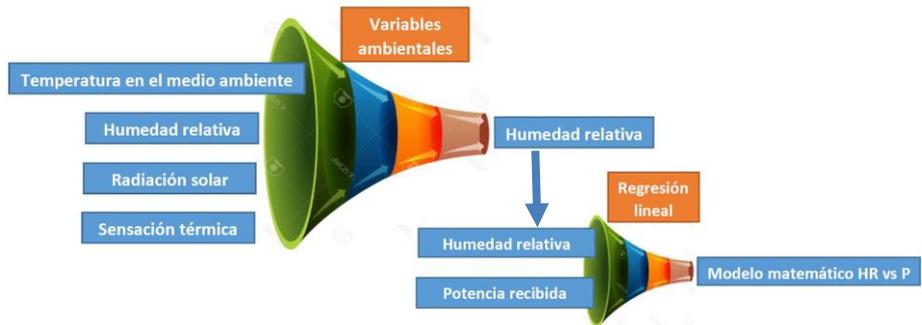


Figura 5.16. Relación HR vs P [45]

Empezamos a analizar la regresión lineal en este estudio investigativo de la variable de la “**humedad relativa**” (HR), con respecto a la variable de “**potencia recibida**” (P), mediante los siguientes pasos.

1. Procesar los datos para el modelo, con el fin de obtener su coeficiente de r de Pearson, que para este caso $R = 0.413$, el cual me indica la relación que existe entre las variables de

humedad relativa y la potencia recibida. Tal como se indica en la tabla 41.

- Con el coeficiente de Pearson calculado, obtenemos el coeficiente de determinación R^2 , el cual me indica cuánto gana o se puede mejorar la potencia recibida en forma porcentual, siendo para este caso $R^2 = 0.171$ entonces la mejora sería del 17.1%, tal como se indica en la tabla 41.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.413 ^a	.171	.170	.07727656

a. Predictors: (Constant), PotenciaRecibida

Tabla 41. Resumen del modelo de regresión HR vs P [45].

- Analizamos ahora la tabla 42 del ANOVA o análisis de la varianza, la cual consiste en realizar una prueba de hipótesis a nuestra muestra de datos.

H_0 = hipótesis nula, las medias de las variables son iguales.

H_1 = hipótesis válida, las medias son diferentes.

Para ello nos valemos del valor de la significancia (campo sig. de la tabla), el cual me indica que $p = 0.000 < 0.05$, lo que significa que rechazamos la hipótesis nula H_0 y aceptamos la hipótesis H_1 de este estudio investigativo.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.762	1	1.762	295.096	.000 ^a
	Residual	8.563	1434	.006		
	Total	10.326	1435			

a. Predictors: (Constant), PotenciaRecibida

b. Dependent Variable: HumedadHR

Tabla 42. Tabla ANOVA HR vs P [45].

- Como el valor de $R > 0.30$, podemos procesar los valores de los coeficientes del modelo de regresión lineal. tal como se indica en la tabla 44. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 98.882$$

$$\beta_1 = -0.041$$

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	98.882	.091		1086.251	.000
	PotenciaRecibida	-.041	.002	-.413	-17.178	.000

a. Dependent Variable: HumedadHR

$$\text{Humedad relativa} = 98.882 - 0.041 \text{ Potencia}$$

Tabla 43. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal para HR vs P [45].

5. De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en la figura 5.17.

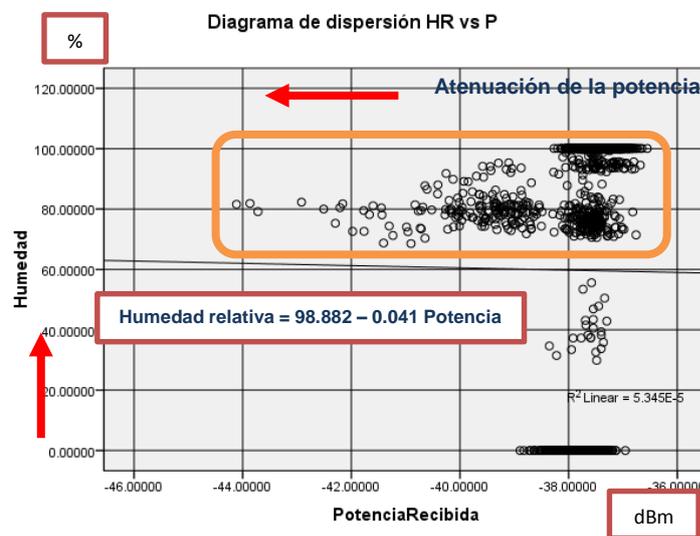


Figura 5.17. Diagrama de dispersión HR vs P [45]

Ahora analizaremos el diagrama de dispersión de la figura 5.15, en donde se puede observar que mientras no exista presencia de lluvias, la potencia recibida oscila entre -37 dBm y -38 dBm.

Luego la variable de la humedad relativa empieza a incrementarse en porcentaje (%) hasta que aparecen las lluvias en el enlace inalámbrico y produce en **la potencia una variación desde - 37 dBm hasta - 44 dBm**, originando así, **la atenuación**.

- **Mejoras al modelo matemático**

Para obtener un modelo matemático que refleje solo la presencia de lluvias en el enlace inalámbrico del día 18 de abril del 2016, se segmentó la serie de datos del diagrama de dispersión de la figura 5.15.

La segmentación de datos se la ejecuto mediante una regla aplicada la variable lluvias, creada como una bandera que tiene dos estados:

Lluvias = 1, presencia real de lluvias

Lluvias = 0, no hubo lluvias

Cabe mencionar que la variable lluvias es un indicador basado en los eventos de lluvias censados por los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico, no cuantifica. La variable que cuantifica los eventos de lluvias es la variable ambiental de precipitaciones.

- **Caso Lluvias = 1.**

De tal forma que el nuevo diagrama de dispersión luego de la segmentación presenta variaciones que se muestran en la figura 5.18.

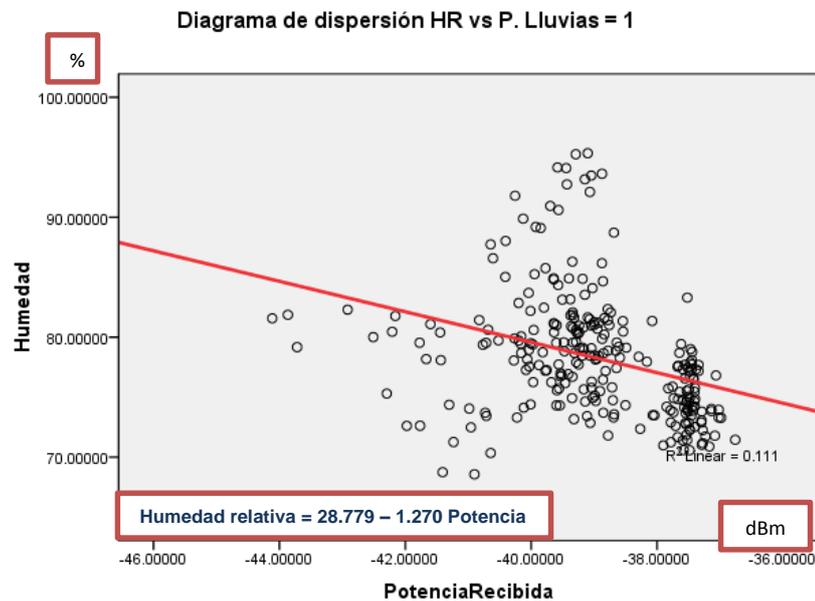


Figura 5.18. Diagrama de dispersión HR vs P. Lluvias = 1. [45]

La recta de la regresión lineal presente en el diagrama de dispersión de la figura 5.18, pasa por todos los puntos observados. El proceso estadístico que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 44. Donde:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i, \text{ ecuación de la recta de regresión lineal.}$$

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 28.779$$

$$\beta_1 = -1.270$$

$$\text{Humedad relativa} = 28.779 - 1.270 \text{ Potencia}$$

		Coefficients ^{a,b}				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	28.779	8.630		3.335	.001
	PotenciaRecibida	-1.270	.221	-.333	-5.743	.000

a. Dependent Variable: Humedad

b. Selecting only cases for which Lluvia = 1

Tabla 44. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para HR vs P. Lluvias = 1 [45].

La tendencia que tienen los datos observados alrededor de la recta de regresión lineal del diagrama de dispersión de la figura 5.18, tienen una

distribución normal, así como también su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.19.

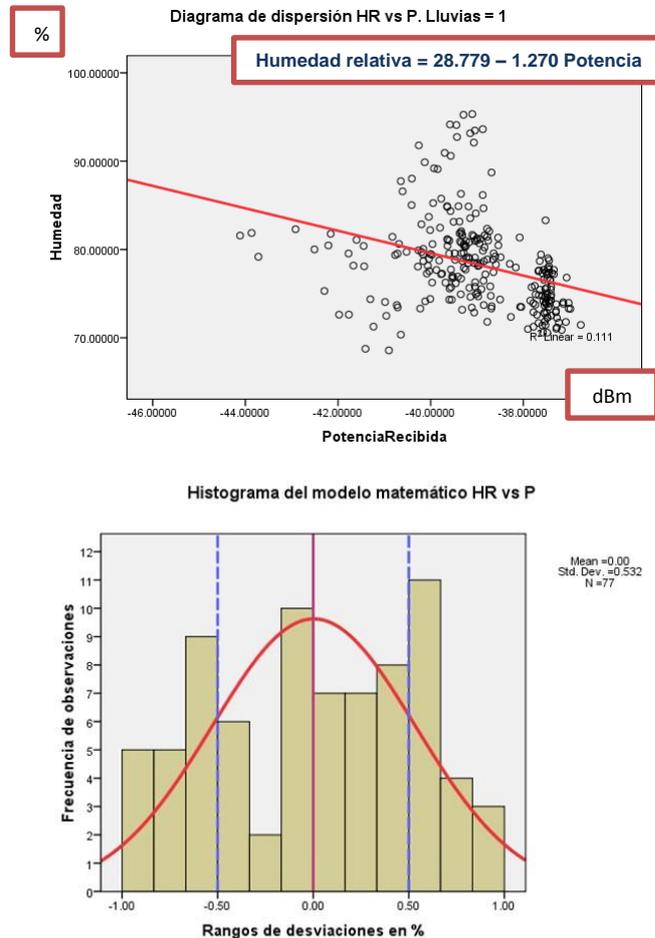


Figura 5.19. Distribución de datos observados del modelo HR vs P [45].

- **Caso Lluvias = 0.**

El nuevo diagrama de dispersión no contara con presencia de lluvias, por lo cual la segmentación presenta variaciones, las mismas que se muestran en la figura 5.20.

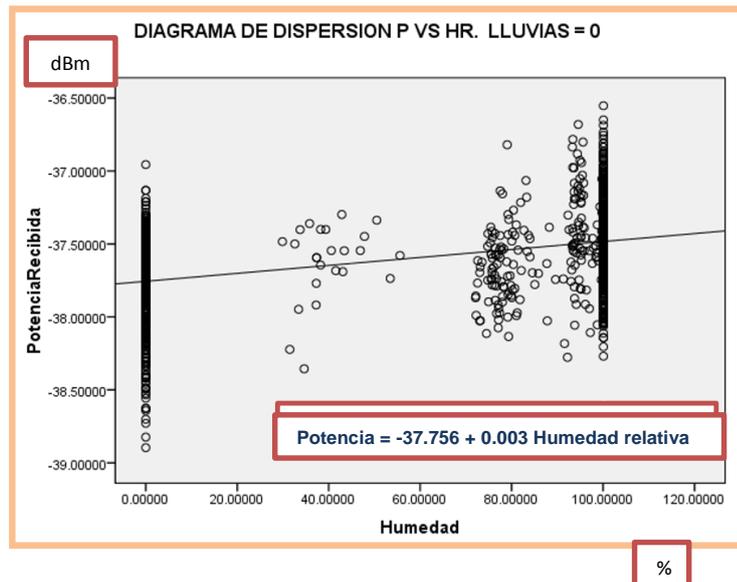


Figura 5.20. Diagrama de dispersión P vs HR. Lluvias =0 [45]

La recta de la regresión de la figura 5.20, que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 45. Donde:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i, \text{ ecuación de la recta de regresión lineal.}$$

$$\beta_0 = -37.756$$

$$\beta_1 = 0.003$$

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-37.756	.013		-2850.002	.000
	Humedad	.003	.000	.402	15.016	.000

a. Dependent Variable: PotenciaRecibida

$$\text{Potencia} = -37.756 + 0.003 \text{ Humedad relativa}$$

Tabla 45. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para P vs HR. Lluvias =0 [45]

La tendencia que tienen los datos observados en el diagrama de dispersión tienen una distribución normal, así como también su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.21.

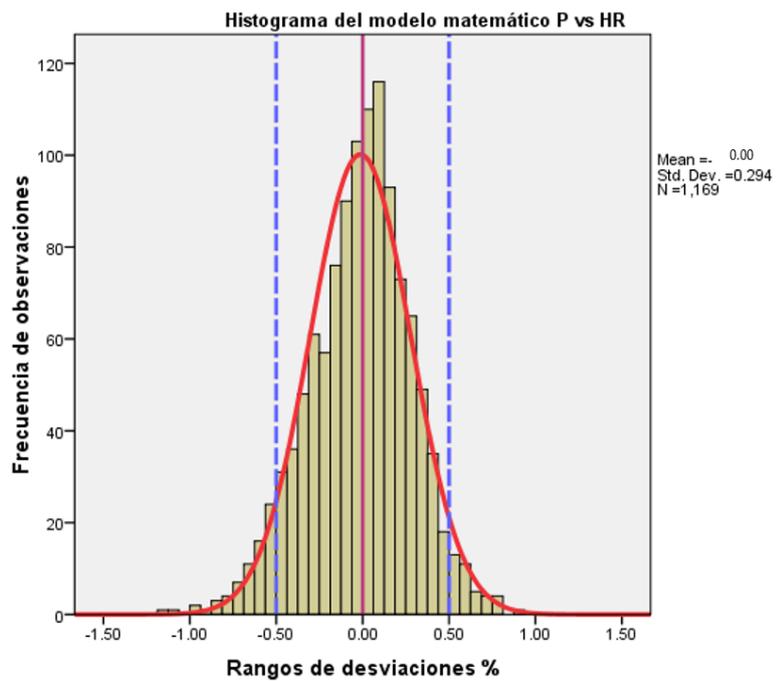
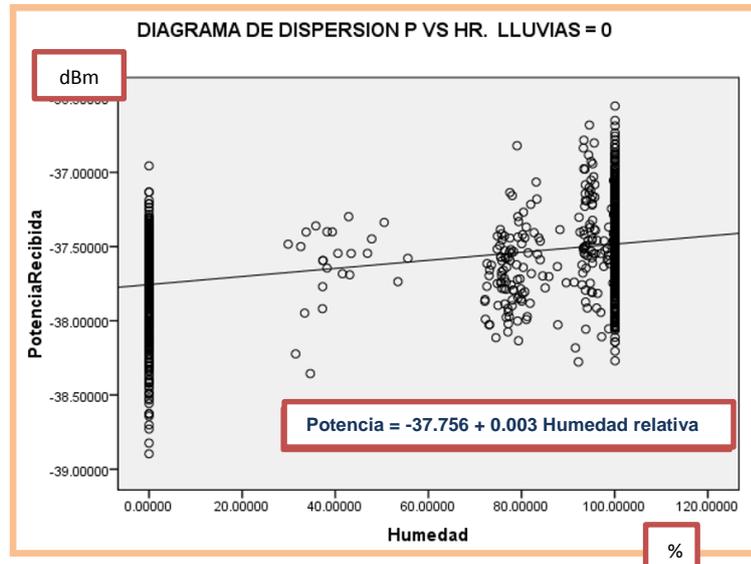


Figura 5.21. Distribución de datos del modelo P vs HR. [45]

- **Presentación de modelos HR vs P.**

Los modelos matemáticos obtenidos del proceso de regresión lineal entre la relación de las variables de humedad relativa y la potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto. Se muestra en la tabla

46, donde se presenta tres tipos de modelos matemáticos según la serie de datos que se tomo en consideración para la ejecución de los algoritmos estadísticos del software SPSS.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Humedad relativa = 98.882 – 0.041 Potencia	Completa
Humedad relativa = 28.779 – 1.270 Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Potencia = -37.756 + 0.003 Humedad relativa	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 46. Modelos matemáticos para HR vs P [45].

Cada modelo representa una recta del comportamiento de la humedad relativa respecto a la potencia recibida de la señal.

En resumen podemos presentar en la figura 5.22, el comportamiento gráfico de los modelos matemáticos de las dos variables con o sin presencias de lluvias.

Relación humedad relativa con respecto a la potencia recibida.

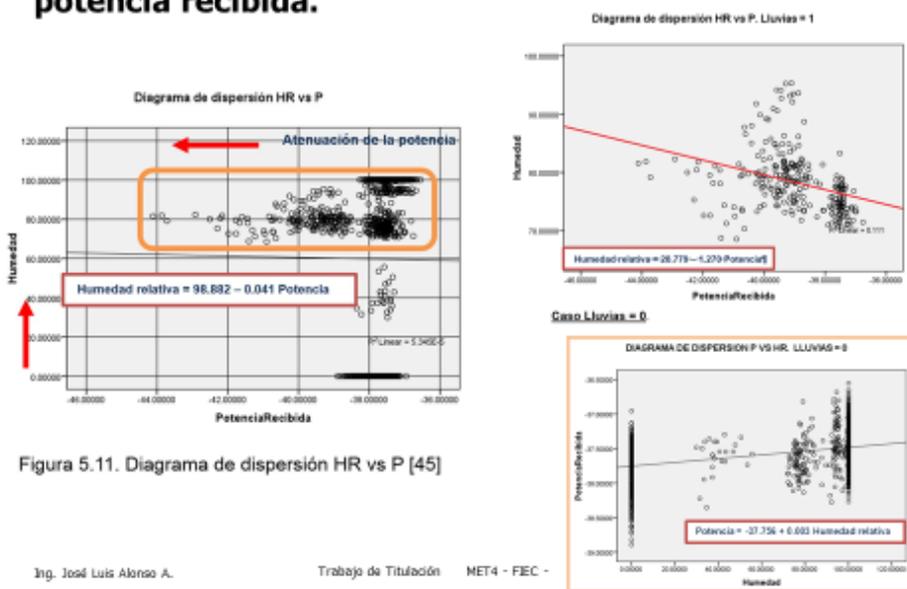


Figura 5.11. Diagrama de dispersión HR vs P [45]

Ing. José Luis Alonso A. Trabajo de Titulación MET4 - FEC -

Figura 5.22. Comportamiento de los modelos matemáticos HR vs P en forma resumida [45].

- **Relación entre la humedad relativa y la atenuación de la potencia**

Con los diagramas de dispersión de la humedad relativa vs la atenuación de la potencia, podemos observar el comportamiento de la atenuación en escala de potencia recibida. Por lo cual, es necesario reflejar en este estudio la intervención de una nueva variable, a la cual nominamos como la atenuación de la potencia recibida (AP), la cual se procesa en mismo instante que la variable de potencia recibida. Tal como se muestra en la figura 5.23.

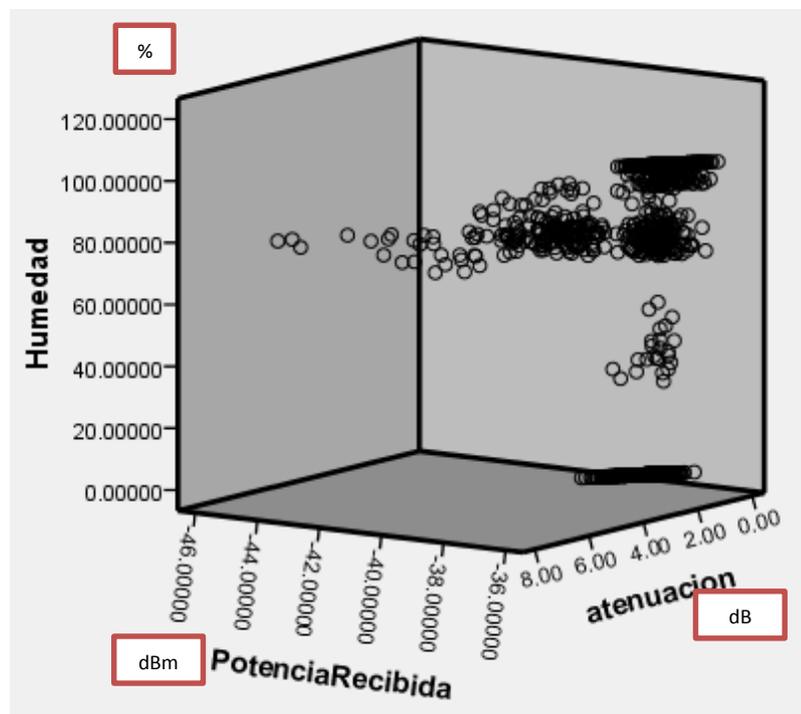


Figura 5.23. Diagrama de dispersión en 3D T - P - AP [45]

Ahora la relación existente entre la variable humedad relativa y atenuación de la potencia recibida es directamente proporcional, tal como indica la figura 5.24.

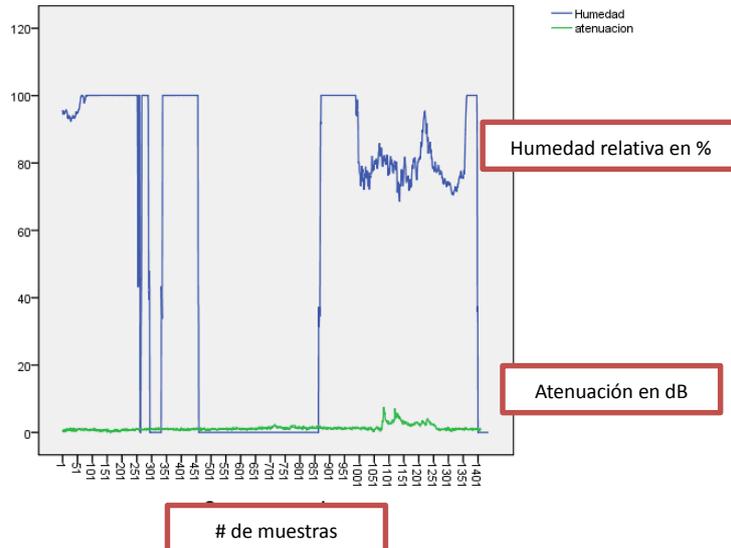


Figura 5.24. Comportamiento de las variables de la humedad relativa y atenuación de la potencia recibida [45]

Ahora al ejecutar el algoritmo estadístico de la regresión lineal para la variable ambiental de la “**humedad relativa**” (HR) y la variable **atenuación de potencia recibida (AP)**, obtenemos los siguientes resultados con el software SPSS., la cual se muestran en la tabla 47.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.413 ^a	.170	.170	.07789129

a. Predictors: (Constant), atenuación

Tabla 47. Resumen del modelo de regresión HR vs AP [45].

Siendo, su coeficiente de r de Pearson, $R = 0.413$, entonces $R > 0.30$, por lo cual las variables de la humedad relativa y atenuación de la potencia recibida, están relacionadas.

En lo que tiene que ver con su coeficiente de determinación, $R^2 = 0.170$, lo cual me indica que la variable de la atenuación puedo mejorarla a 17%.

Ahora analizaremos la tabla 48 de ANOVA o análisis de la varianza, con el fin de probar la hipótesis:

H_0 = hipótesis nula, las medias de las variables son iguales.

H_1 = hipótesis válida, las medias son diferentes.

Para ello nos valemos del valor de la significancia (campo sig. de la tabla), el cual me indica que $p = 0.000 < 0.05$, lo que significa que rechazamos la hipótesis nula H_0 y aceptamos la hipótesis H_1 de este estudio investigativo.

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.755	1	1.755	289.336	.000 ^a
	Residual	8.542	1408	.006		
	Total	10.298	1409			

a. Predictors: (Constant), atenuacion

b. Dependent Variable: HumedadHR

Tabla 48. Tabla ANOVA HR vs AP [45]

Como el valor de $R > 0.30$, podemos obtener un modelo de regresión lineal, tal como se indica en la tabla 49. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 98.882$$

$$\beta_1 = -0.041$$

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	98.882	.091		1086.251	.000
	Atenuación	-.041	.002	-.413	-17.178	.000

a. Dependent Variable: HumedadHR

$$\text{Humedad relativa} = 98.882 - 0.041 \text{ Atenuación de la potencia}$$

Tabla 49. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal HR vs AP [45].

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados. La cual constituye el modelo

matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en la figura 5.25.

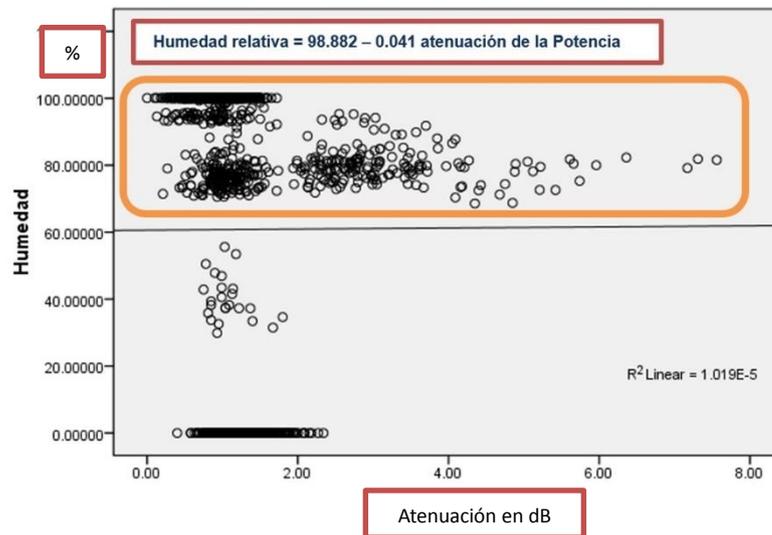


Figura 5.25. Diagrama de dispersión HR vs AP [45]

Podemos observar en el diagrama de dispersión de la figura 5.25, la siguiente información: Que mientras no hay lluvias la atenuación se mantiene oscilando entre las variaciones potencia desde **0 dBm a 2 dBm**, a pesar que la temperatura se va incrementando hasta que aparecen las lluvias en el enlace inalámbrico punto a punto, la atenuación se va incrementando hasta llegar **a los 8 dB**. Por lo cual la recta de regresión no contempla todos los puntos según el gráfico, por lo cual se procede a efectuar una mejora al modelo.

- **Mejoras al modelo matemático HR vs AP**
- **Caso Lluvias = 1.**

Nuevamente aplicamos la técnica de segmentar el modelo, en base a la bandera lluvias = 1 de la variable lluvias, se obtiene la siguiente recta de regresión, tal como se muestra en la tabla 50.

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 75.199$$

$$\beta_1 = 1.270$$

$$\text{Humedad relativa} = 75.199 + 1.270 \text{ Atenuación de la Potencia}$$

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	75.199	.619		121.502	.000
	atenuación	1.270	.221	.333	5.743	.000

a. Dependent Variable: Humedad

Tabla 50. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para HR vs AP [45]. Lluvias = 1.

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados de la serie de datos segmentados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en el diagrama de dispersión de la figura 5.26, para el modelo mejorado.

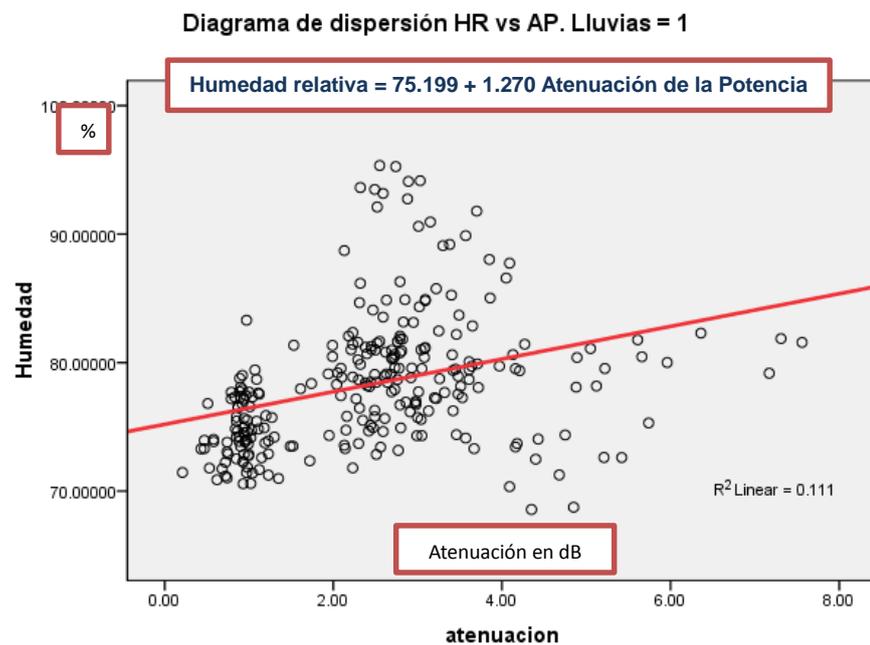


Figura 5.26. Diagrama de dispersión HR vs AP. Lluvias = 1. [45]

La tendencia que tienen los datos observados alrededor de la recta de regresión lineal del diagrama de dispersión de la figura 5.26, tienen una

distribución normal, así como también su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.27.

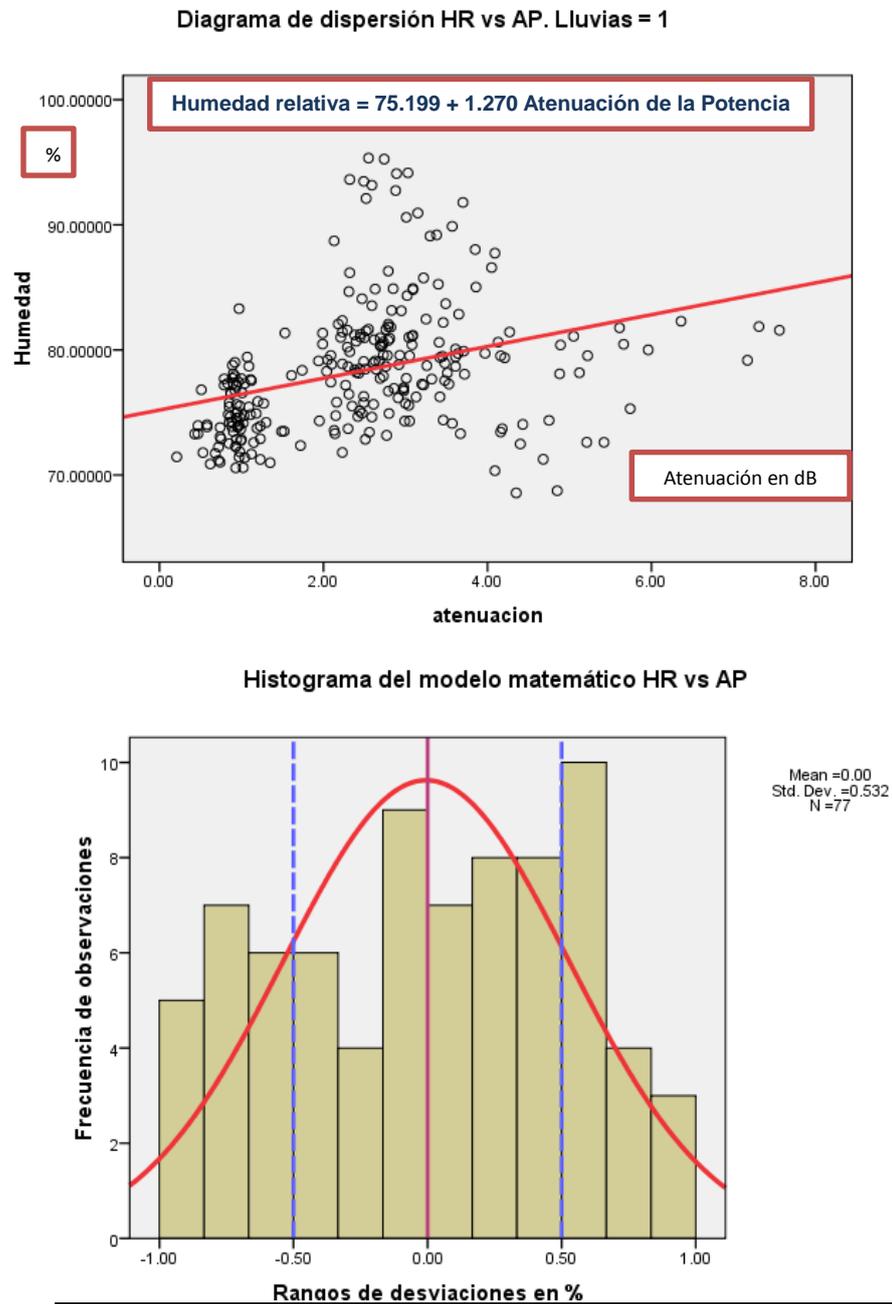


Figura 5.27. Distribución de datos del modelo HR vs AP

• **Caso Lluvias = 0.**

El nuevo diagrama de dispersión no contara con presencia de lluvias, por lo cual la segmentación presenta variaciones, las mismas que se muestran en la figura 5.28.

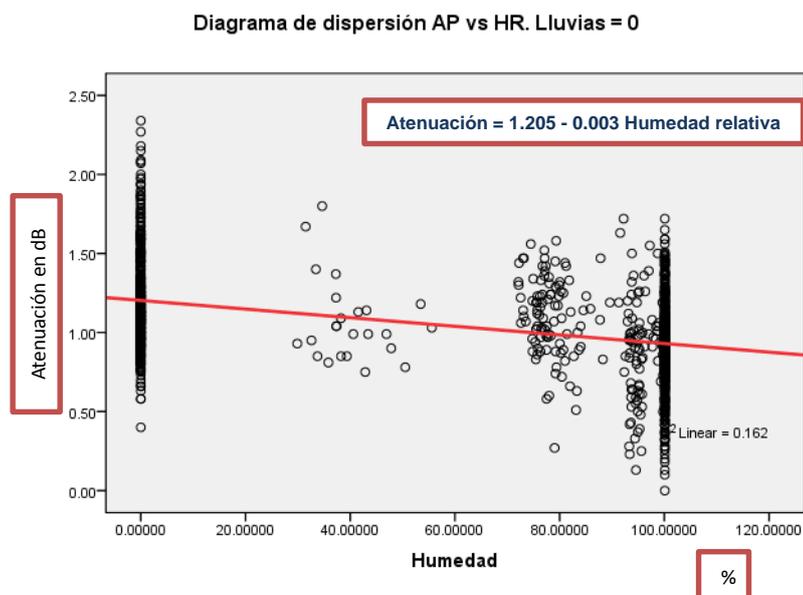


Figura 5.28. Diagrama de dispersión AP vs HR. Lluvias =0 [45]

La recta de la regresión de la figura 5.28, que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 51. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

$\beta_0 = 1.205$

$\beta_1 = -0.003$

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.205	.014		87.819	.000
	Humedad	-.003	.000	-.400	-14.764	.000

a. Dependent Variable: atenuación

Atenuación = 1.205 - 0.003 Humedad relativa

Tabla 51. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para AP vs T. Lluvias =0 [45]

La tendencia que tienen los datos observados en el diagrama de dispersión tienen una distribución normal, así como también su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.29.

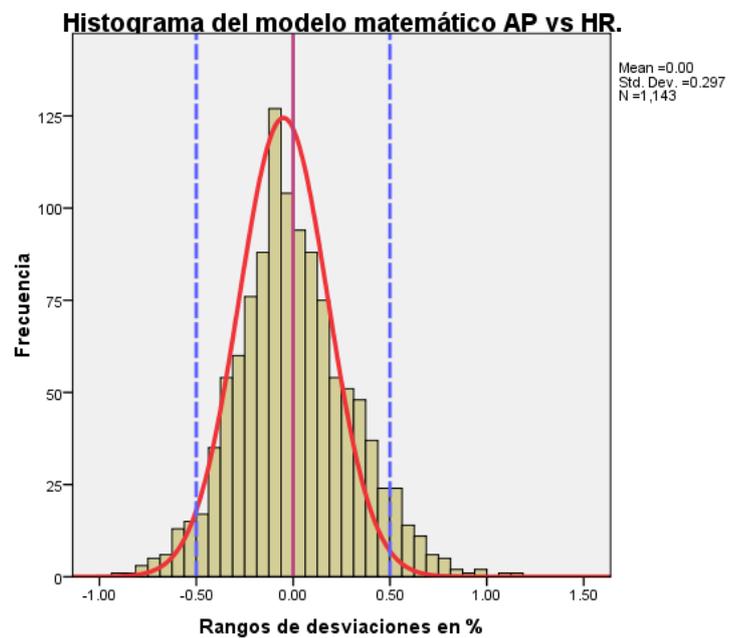
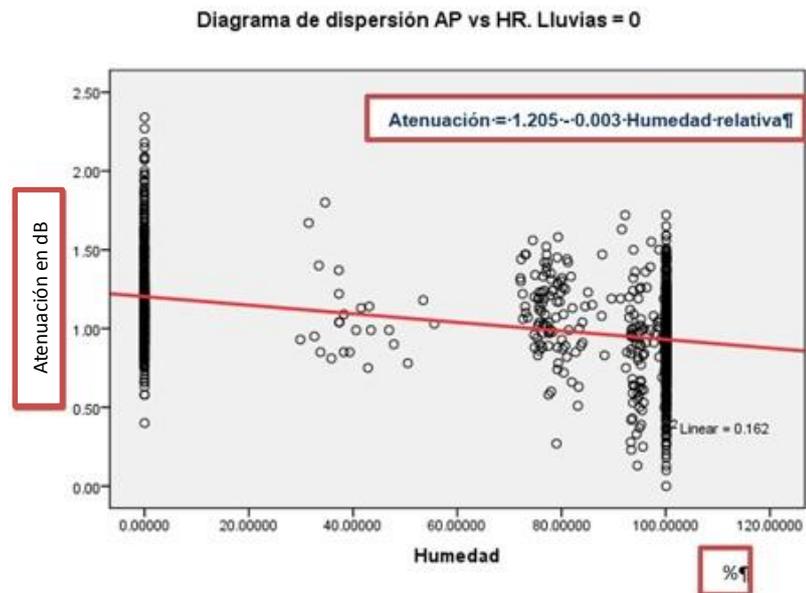


Figura 5.29. Distribución de los datos observados del modelo AP vs HR

• **Presentación de modelos HR vs AP**

Los modelos matemáticos obtenidos del proceso de regresión lineal entre la relación de las variables de temperatura en el ambiente y la atenuación potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto. Se muestra en la tabla 52.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Humedad relativa = 98.882 - 0.041 Atenuación de la potencia	Completa
Humedad relativa = 75.199 + 1.270 Atenuación de la Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Atenuación = 1.205 - 0.003 Humedad relativa	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 52. Modelos matemáticos para HR vs AP [45].

En resumen podemos presentar en la figura 5.30, el comportamiento gráfico de los modelos matemáticos de las dos variables con o sin presencias de lluvias.

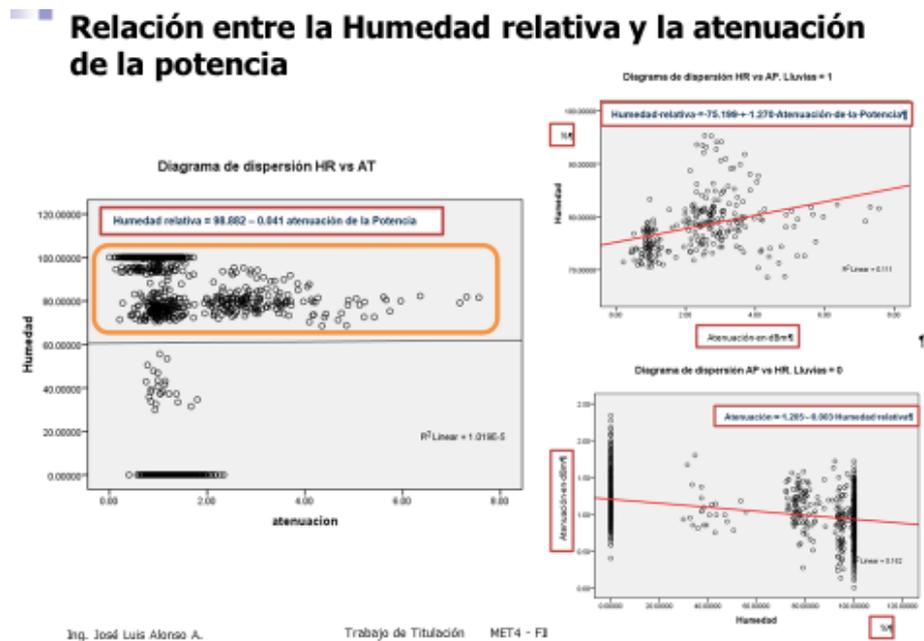


Figura 5.30. Comportamiento de los modelos matemáticos HR vs AP en forma resumida [45]

5.2.3 Relación radiación solar con respecto a la potencia recibida.



Figura 5.31. Relación RS vs P [45]

La variable de radiación solar se encuentra en el medio ambiente llegando a la superficie de la tierra a una velocidad de 300000 km/s, por lo cual como anteriormente se indicó, esta radiación se refleja, refracta y es irradiada en forma de onda electromagnética por toda la superficie. Por lo cual es parte del ciclo hidrológico. A continuación se presenta un esquemático de las variables en la figura 5.31.

Empezamos a analizar la regresión lineal en este estudio investigativo de la variable de la “radiación solar” (RS), con respecto a la variable de “potencia recibida” (P), mediante los siguientes pasos.

1. Procesar los datos para el modelo, con el fin de obtener su coeficiente de r de Pearson, que para este caso $R = 0.354$, el cual me indica la relación que existe entre las variables de temperatura en el ambiente y la potencia recibida. Tal como se indica en la tabla 53.
2. Con el coeficiente de Pearson calculado, obtenemos el coeficiente de determinación R^2 , el cual me indica cuánto gana o se puede mejorar la variable de potencia recibida en forma porcentual, siendo para este caso $R^2 = 0.125$ entonces la mejora sería del 12.5%. tal como se indica en la tabla 53.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.354 ^a	.125	.125	1.95520257E2

a. Predictors: (Constant), PotenciaRecibida

R = Coeficiente de Pearson = Entre +1 y -1
R² = Coeficiente de determinación = 0 y 1
R² = 0; variables independientes.
R² = 1; relación perfecta.

Tabla 53. Resumen del modelo de regresión RS vs P [45].

3. Analizamos ahora, la tabla 54, ANOVA o análisis de la varianza, la cual consiste en realizar una prueba de hipótesis a nuestra muestra de datos.

H₀ = hipótesis nula, las medias de las variables son iguales.

H₁ = hipótesis válida, las medias son diferentes.

Para ello nos valemos del valor de la significancia (campo sig. de la tabla), el cual me indica que $p = 0.000 < 0.05$, lo que significa que rechazamos la hipótesis nula H₀ y aceptamos la hipótesis H₁ de este estudio investigativo.

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7776559.559	1	7776559.559	203.425	.000 ^a
	Residual	5.436E7	1422	38228.171		
	Total	6.214E7	1423			

a. Predictors: (Constant), PotenciaRecibida

b. Dependent Variable: RadiacionSolar

Tabla 54. Tabla ANOVA RS vs P [45].

4. Como el valor de $R > 0.30$, podemos procesar los valores de los coeficientes del modelo de regresión lineal. tal como se indica en la tabla 55. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = -3158.050$$

$$\beta_1 = -86.785$$

		Coefficients ^a				
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3158.050	230.466		-13.703	.000
	PotenciaRecibida	-86.785	6.085	-.354	-14.263	.000

a. Dependent Variable: RadiacionSolar

$$\text{Radiación solar} = -3158.050 - 86.785 \text{ Potencia}$$

Tabla 55. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal RS vs P [45].

5. De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en la figura 5.32.

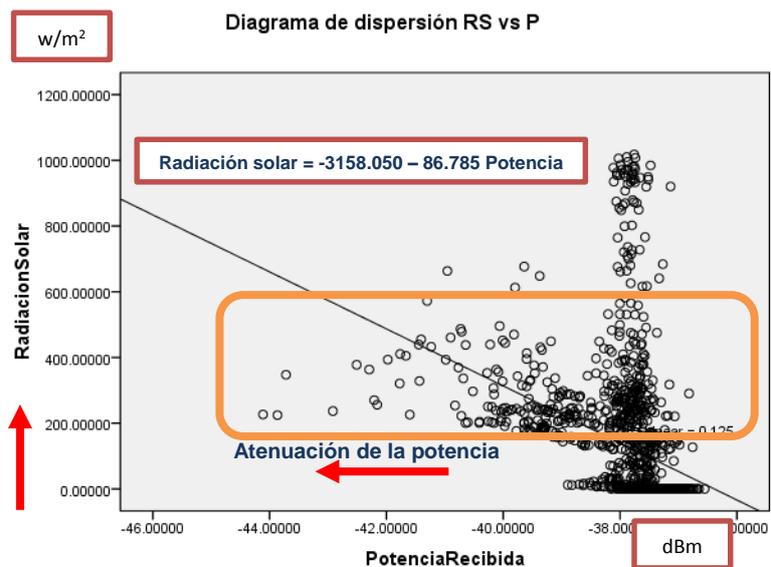


Figura 5.32. Diagrama de dispersión RS vs P [45]

Ahora analizaremos el diagrama de dispersión de la figura 5.32, en donde se puede observar que mientras no exista presencia de lluvias, la potencia recibida oscila entre -37 dBm y -38 dBm.

Luego la radiación solar empieza a incrementarse desde los 0 W/m² hasta los 1000 W/m² en conjunto con la temperatura en el ambiente hasta que aparecen las lluvias en el enlace inalámbrico y **produce**

atenuación por la variación de **la potencia desde - 37 dBm hasta - 44 dBm**. Cabe mencionar que esto sucede cuando la radiación solar pasa desde los 150 W/m² hasta los 600 W/m².

La variable de radiación solar y la variable de la temperatura en el ambiente están íntimamente relacionadas, más aún cuando existe la presencia de lluvias, tal como se muestra en el diagrama de dispersión de la figura 5.33.

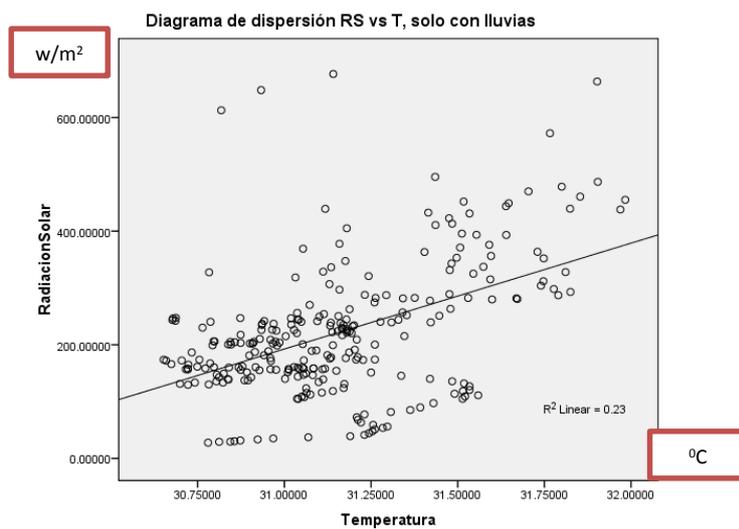
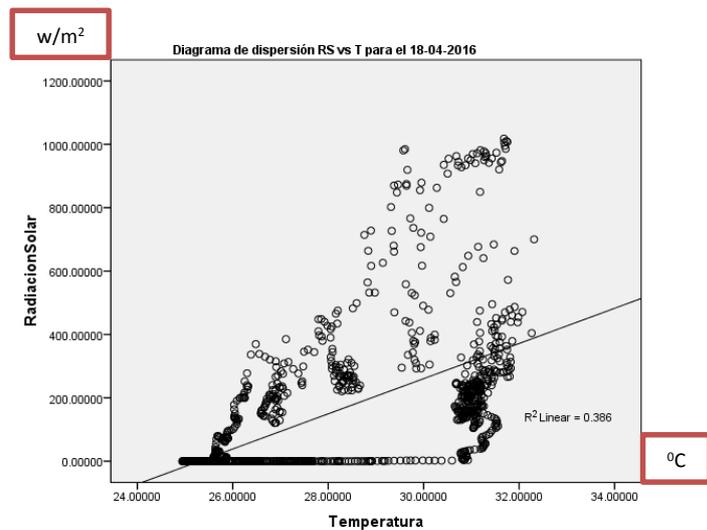


Figura 5.33. Diagrama de dispersión RS vs T total y con presencia de lluvias [45]

- **Mejoras al modelo matemático**

Para obtener un modelo matemático que refleje solo la presencia de lluvias en el enlace inalámbrico del día 18 de abril del 2016, se segmentó la serie de datos del diagrama de dispersión de la figura 5.33.

La segmentación de datos se la ejecuto mediante una regla aplicada la variable lluvias, creada como una bandera que tiene dos estados:

lluvias = 1, presencia real de lluvias

lluvias = 0, no hubo lluvias

Cabe mencionar que la variable lluvias es un indicador basado en los eventos de lluvias censados por los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico, no cuantifica. La variable que cuantifica los eventos de lluvias es la variable ambiental de precipitaciones.

- **Caso Lluvias = 1.**

De tal forma que el nuevo diagrama de dispersión RS vs P segmentado, luego de la segmentación presenta variaciones que se muestran en la figura 5.34.

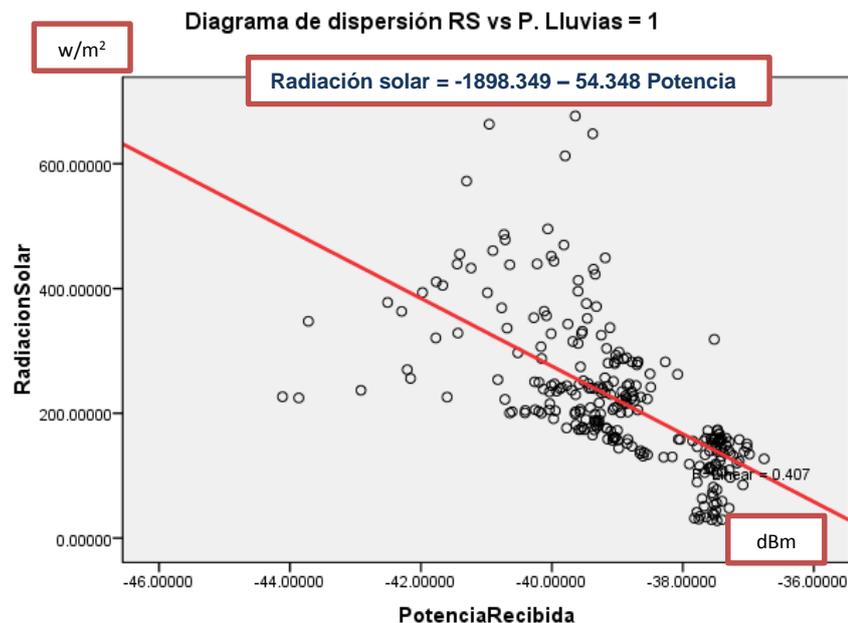


Figura 5.34. Diagrama de dispersión RS vs P. Lluvias = 1 [45]

La recta de la regresión lineal presente en el diagrama de dispersión de la figura 5.34, pasa por todos los puntos observados. El proceso estadístico que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 56. Donde:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i, \text{ ecuación de la recta de regresión lineal.}$$

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = -1898.349$$

$$\beta_1 = -54.348$$

$$\text{Radiación solar} = -1898.349 - 54.348 \text{ Potencia}$$

Coefficients ^{a,b}						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-1898.349	157.333		-12.066	.000
	PotenciaRecibida	-54.348	4.032	-.638	-13.481	.000

a. Dependent Variable: RadiacionSolar

b. Selecting only cases for which Lluvia = 1

Tabla 56. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para RS vs P. Lluvias = 1 [45].

La tendencia que tienen los datos observados alrededor de la recta de regresión lineal del diagrama de dispersión de la relación entre las variables de radiación solar y la variable de potencia recibida, que corresponde a la figura 5.34, tienen una distribución normal, así como también el pronunciamiento de su curva es normal, teniendo como media igual 0.00 y de desviación estándar igual a 0.524.

La idea es darle un mayor énfasis a los datos observados que se encuentran en el trayecto de la recta de regresión lineal, por lo cual se logra demostrar que siendo los datos con distribución normal se puede añadir a la ecuación del comportamiento lineal, su desviación estándar de la distribución encontrada, que sería:

$$\text{Radiación solar} = -1898.349 - 54.348 \text{ Potencia} + \sigma$$

La figura 5.35, muestra la ecuación de la recta de regresión lineal para el modelo RS vs P.

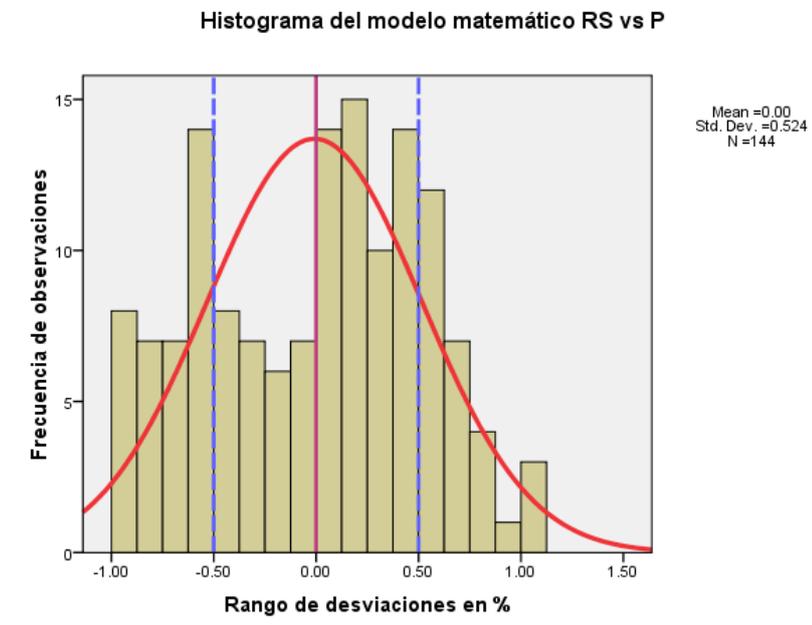
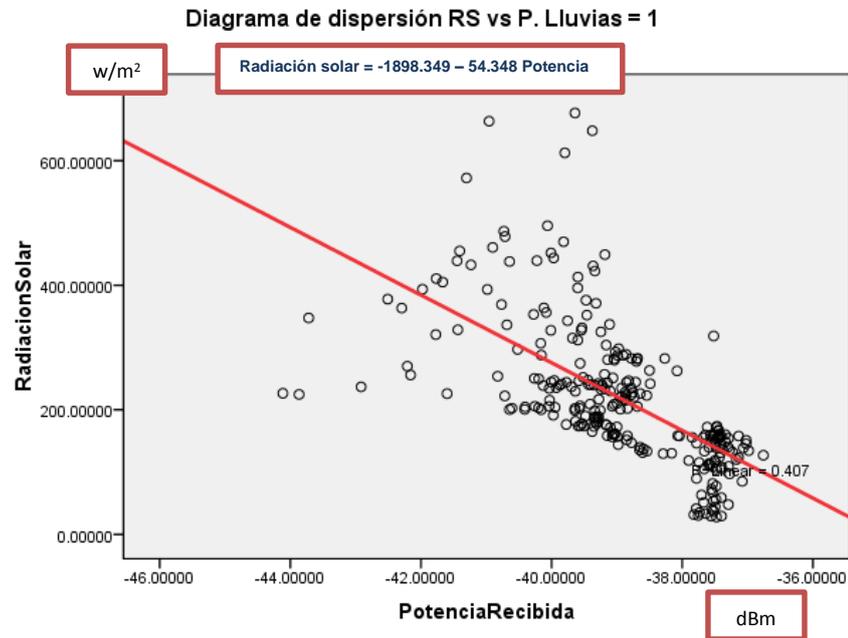


Figura 5.35. Distribución de los datos observados del modelo RS vs P [45]

• **Caso Lluvias = 0.**

El nuevo diagrama de dispersión no contara con presencia de lluvias, por lo cual la segmentación presenta variaciones, las mismas que se muestran en la figura 5.36.

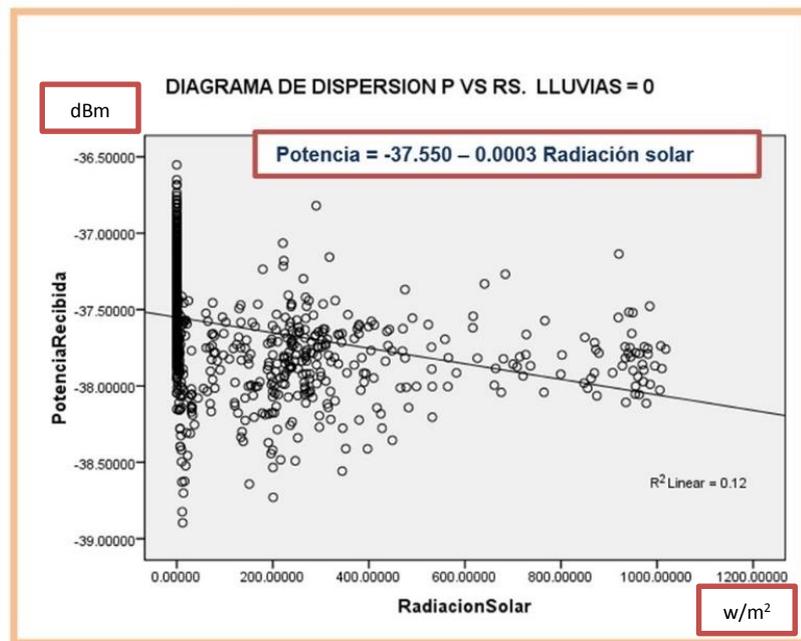


Figura 5.36. Diagrama de dispersión segmentado P vs RS. Lluvias =0 [45]

La recta de la regresión de la figura 5.36, que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 57. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

$\beta_0 = -37.550$

$\beta_1 = 0.0003$

Potencia = -37.550 + 0.0003 Radiación solar

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-37.550	.010		-3793.520	.000
	RadiacionSolar	.0003	.0001	-.346	-12.521	.000

a. Dependent Variable: Potencia Recibida

Tabla 57. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para RS vs P. Lluvias =0 [45]

La distribución de los datos de la figura 5.31 es una distribución normal, al igual que su curva. En la figura 5.32 se puede observar dicha distribución.

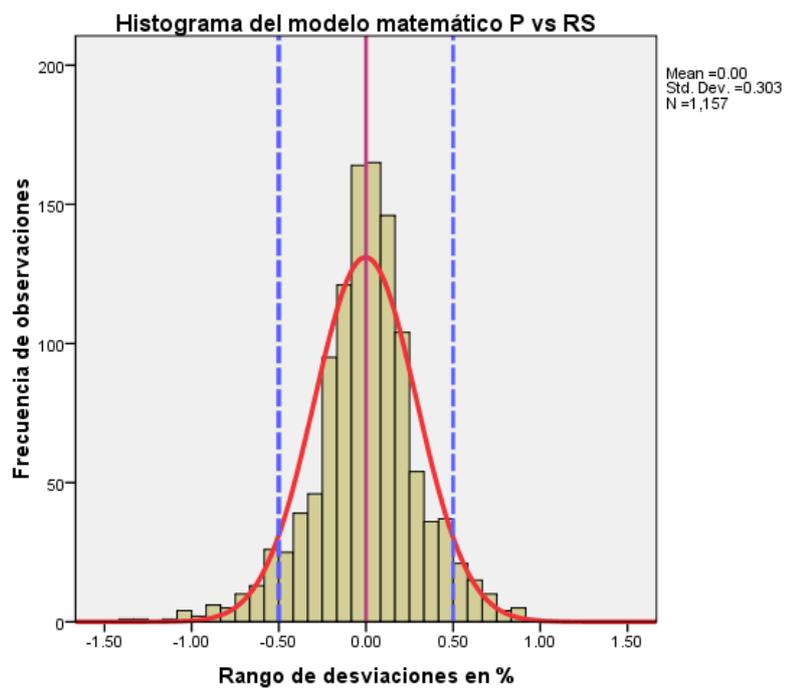
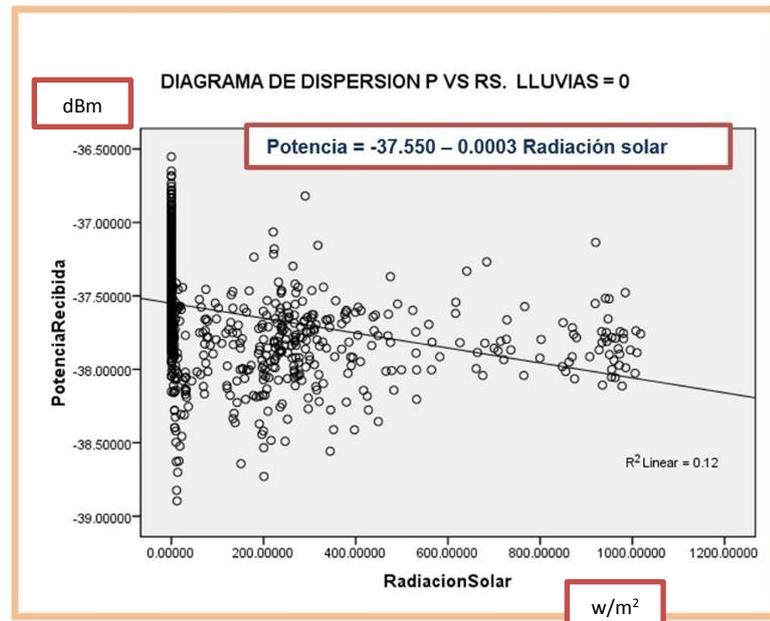


Figura 5.37. Distribución de los datos observados del modelo P vs RS [45]

- **Presentación de modelos RS vs P**

Los modelos matemáticos obtenidos del proceso de regresión lineal entre la relación de las variables de radiación solar y la potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto. Se muestra en la tabla 58.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Radiación solar = -3158.050 – 86.785 Potencia	Completa
Radiación solar = 1898.349 – 54.348 Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Potencia = -37.550 + 0.0003 Radiación solar	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 58. Modelos matemáticos para RS vs P [45].

Los modelos están plasmados en la tabla 58, pero sus gráficas se las puede observar en la figura 5.33, que a continuación se detalla.

Relación radiación solar con respecto a la potencia recibida

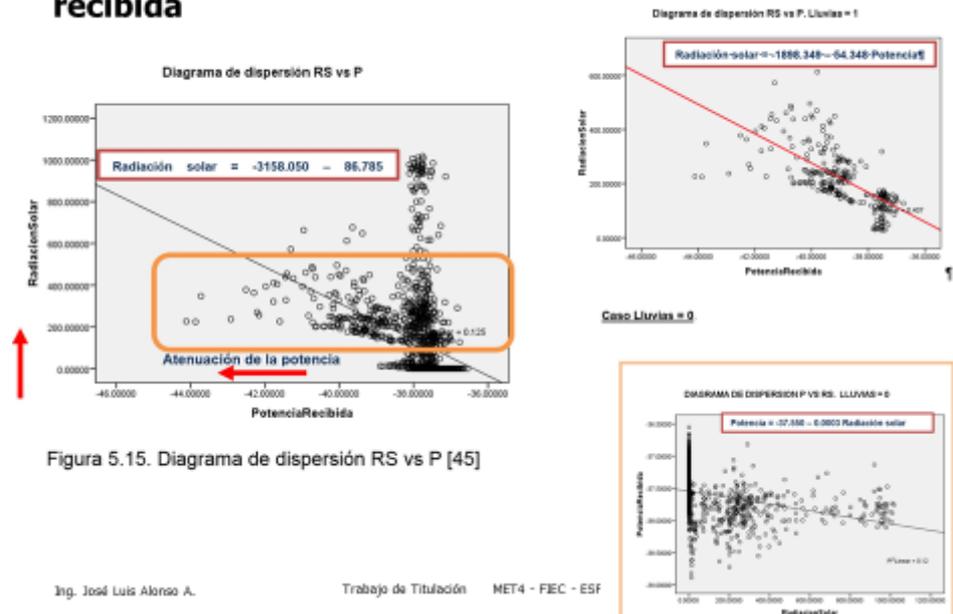


Figura 5.15. Diagrama de dispersión RS vs P [45]

Figura 5.38. Resumen de gráficas los modelos RS vs P [45]

- **Relación entre la radiación solar y la atenuación de la potencia.**

Con los diagramas de dispersión de la radiación solar vs potencia recibida, podemos observar el comportamiento de la atenuación en

escala de potencia recibida. Por lo cual, es necesario reflejar en este estudio la intervención de una nueva variable, a la cual nominamos como la atenuación de la potencia recibida (AP), la cual se procesa en mismo instante que la variable de potencia recibida. Tal como se muestra en la figura 5.39.

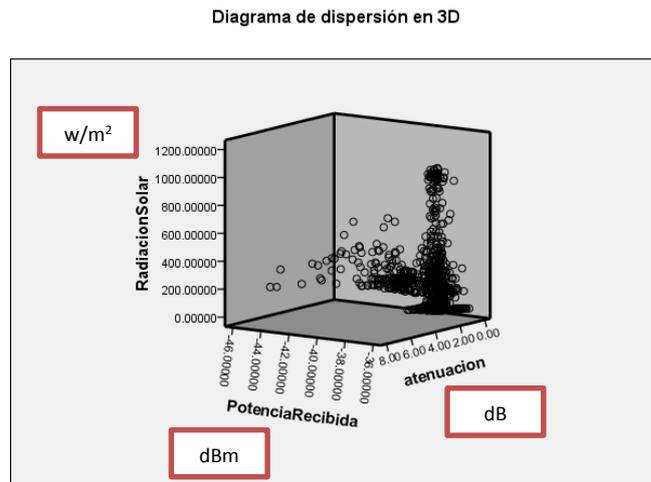


Figura 5.39. Diagrama de dispersión en 3D, RS - P - AP [45]

Ahora al ejecutar el algoritmo estadístico de la regresión lineal para la variable ambiental de la “radiación solar” (RS) y la variable **atenuación de potencia recibida (AP)**, obtenemos los siguientes resultados con el software SPSS., la cual se muestran en la tabla 59.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.353 ^a	.125	.124	1.96680085E2

a. Predictors: (Constant), atenuacion

Tabla 59. Resumen del modelo de regresión RS vs AP [45].

Siendo, su coeficiente de r de Pearson, $R = 0.353$, entonces $R > 0.30$, por lo cual las variables de temperatura y atenuación de la potencia recibida, están relacionadas.

En lo que tiene que ver con su coeficiente de determinación, $R^2 = 0.125$, lo cual me indica que la variable de la atenuación puedo mejorarla a 12.5%.

Ahora analizaremos la tabla 60, ANOVA o análisis de la varianza, con el fin de probar la hipótesis:

H_0 = hipótesis nula, las medias de las variables son iguales.

H_1 = hipótesis válida, las medias son diferentes.

Para ello nos valemos del valor de la significancia (campo sig. de la tabla), el cual me indica que $p = 0.000 < 0.05$, lo que significa que rechazamos la hipótesis nula H_0 y aceptamos la hipótesis H_1 de este estudio investigativo.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7700298.446	1	7700298.446	199.061	.000 ^a
	Residual	5.400E7	1396	38683.056		
	Total	6.170E7	1397			

a. Predictors: (Constant), atenuacion

b. Dependent Variable: RadiacionSolar

Tabla 60. Tabla ANOVA RS vs AP [45]

Como el valor de $R > 0.30$, podemos obtener un modelo de regresión lineal, tal como se indica en la tabla 61. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$\beta_0 = 16.800$

$\beta_1 = 86.418$ **Radiación solar = 16.800 + 86.418 Atenuación de la Potencia**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	16.800	9.628		1.745	.081
	atenuacion	86.418	6.125	.353	14.109	.000

a. Dependent Variable: RadiacionSolar

Tabla 61. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal RS vs AP [45].

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en la figura 5.40.

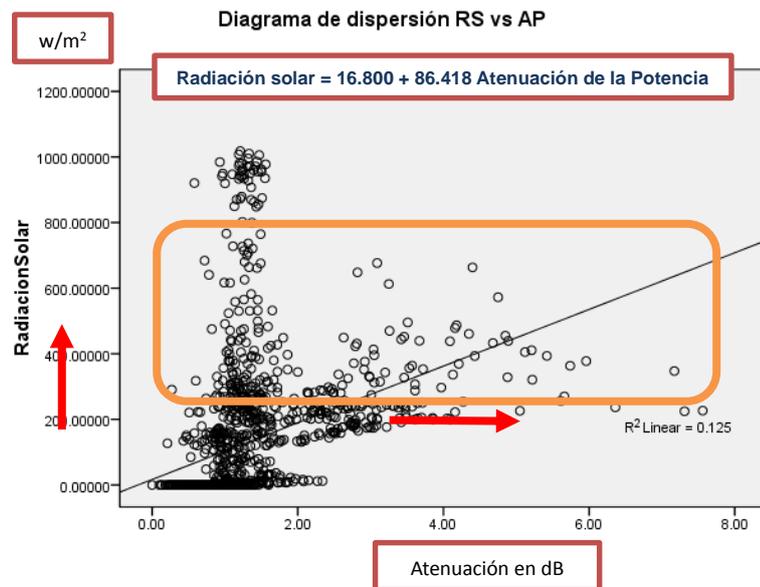


Figura 5.40. Diagrama de dispersión RS vs AP [45]

Podemos observar en el diagrama de dispersión de la figura 5.35, la siguiente información: Que mientras no hay lluvias la atenuación se mantiene oscilando la variación de potencia entre 0 dBm a 2 dBm a pesar que la radiación solar en conjunto con la temperatura se va incrementando hasta que aparecen las lluvias en el enlace inalámbrico punto a punto, por lo cual la atenuación se va incrementando hasta llegar a los 8 dB. Teniendo en cuenta que la recta de regresión no contempla todos los puntos según el gráfico, por lo cual se procede a efectuar una mejora al modelo.

- **Mejoras al modelo matemático RS vs AP.**
- **Caso Lluvias = 1.**

Nuevamente aplicamos la técnica de segmentar el modelo, en base a la bandera lluvias = 1 de la variable lluvias, se obtiene la siguiente recta de regresión, tal como se muestra en la tabla 62.

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 88.145$$

$$\beta_1 = 54.370$$

Coefficients ^{a,b}						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	88.145	11.282		7.813	.000
	atenuacion	54.370	4.032	.638	13.483	.000

a. Dependent Variable: RadiacionSolar

b. Selecting only cases for which Lluvia = 1

$$\text{Radiación solar} = 88.145 + 54.370 \text{ Atenuación de la Potencia}$$

Tabla 62. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para RS vs AP. Lluvias = 1 [45].

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados de la serie de datos segmentados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en el diagrama de dispersión de la figura 5.41 para el modelo mejorado.

Diagrama de dispersión RS vs AP. Lluvias = 1

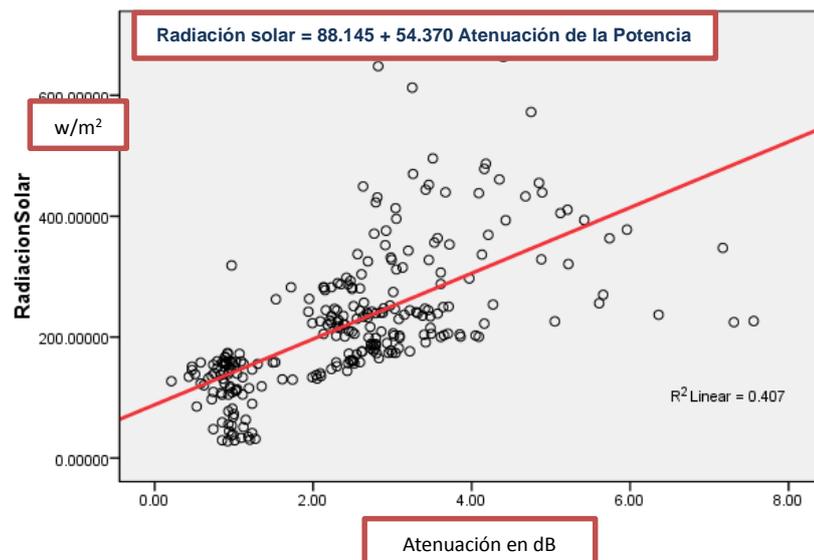


Figura 5.41. Diagrama de dispersión RS vs AP. Lluvias = 1 [45]

La tendencia que tienen los datos observados alrededor de la recta de regresión lineal del diagrama de dispersión de la figura 5.41, tienen una distribución normal, así como también su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.42.

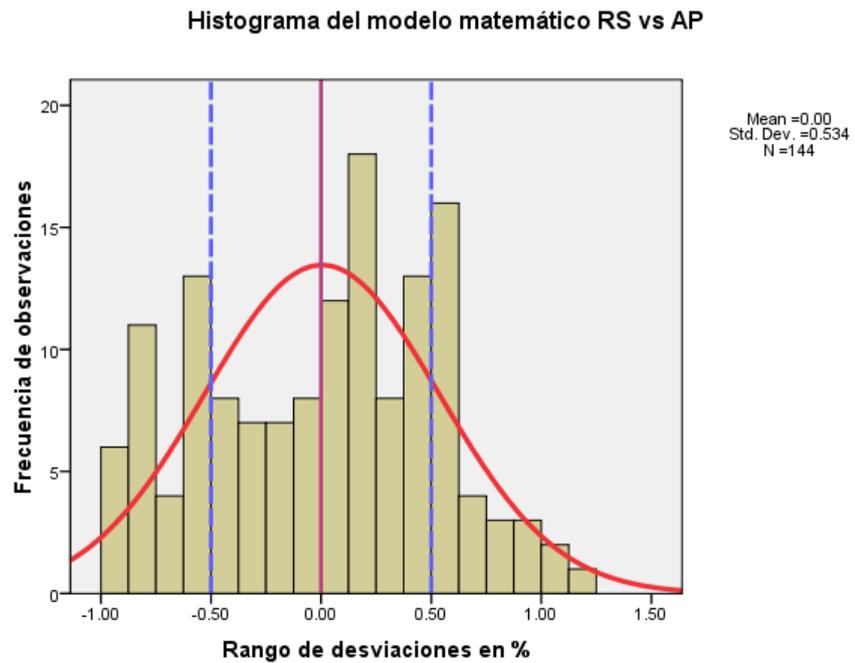


Figura 5.42. Distribución de los datos observados del modelo RS vs AP [45]

- **Caso Lluvias = 0.**

La recta de la regresión lineal, que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 63. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

$\beta_0 = 0.993$

$\beta_1 = 0.001$

Atenuación = 0.993 + 0.001 Radiación solar

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.993	.010		98.435	.000
	RadiacionSolar	.001	.000	.352	12.641	.000

a. Dependent Variable: atenuación

Tabla 63. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para RS vs P. Lluvias =0 [45]

El nuevo diagrama de dispersión no contara con presencia de lluvias, por lo cual la segmentación presenta variaciones, las mismas que se muestran en la figura 5.43.

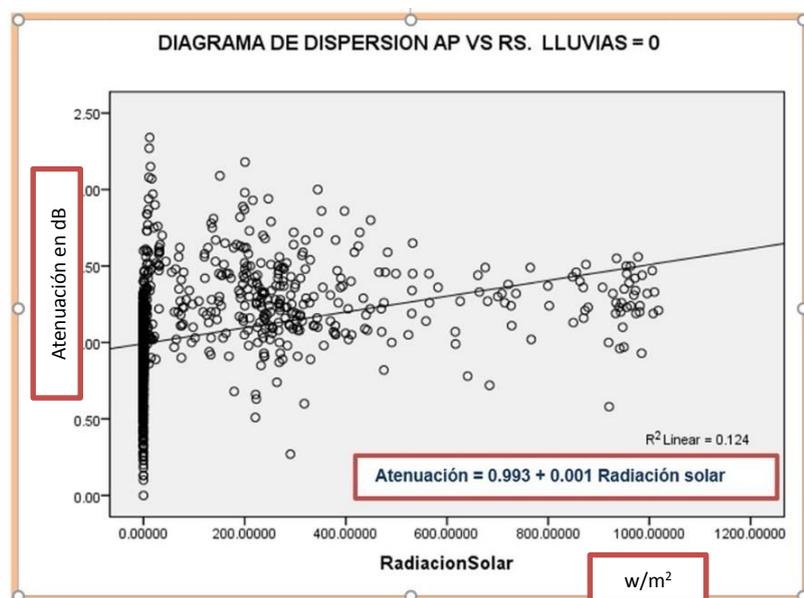


Figura 5.43. Diagrama de dispersión AP vs RS. Lluvias =0 [45]

La distribución de los datos de la figura 5.43 es una distribución normal, al igual que su curva. En la figura 5.44 se puede observar dicha distribución.

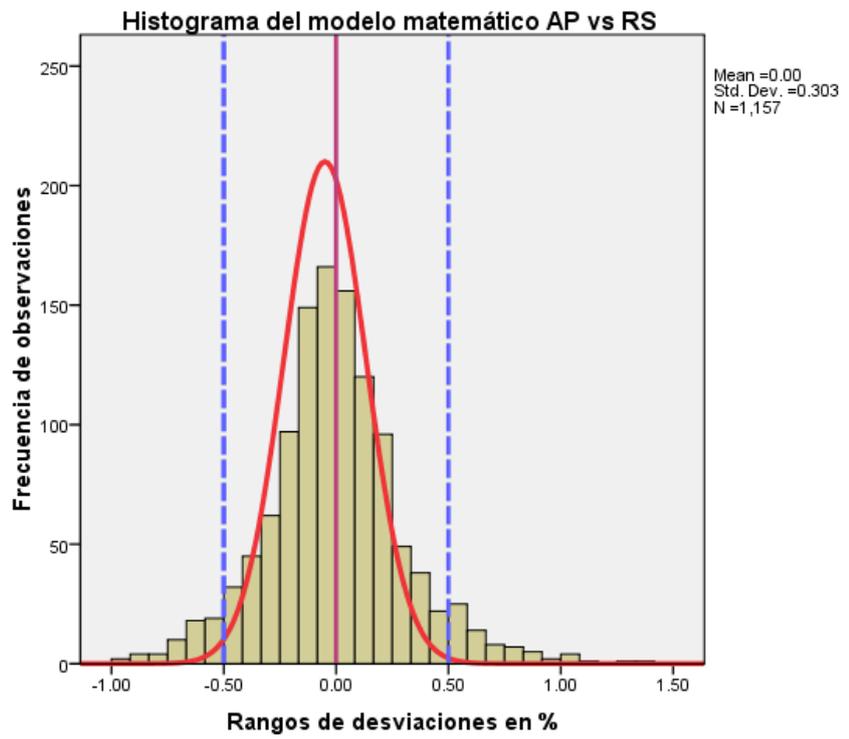
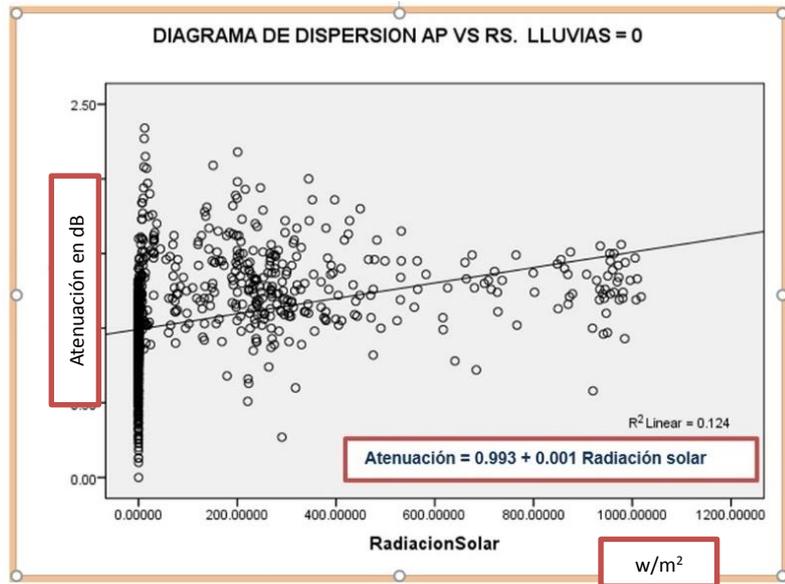


Figura 5.44. Distribución de datos observados del modelo AP vs RS

[45]

- **Presentación de modelos RS vs AP.**

Los modelos matemáticos obtenidos del proceso de regresión lineal entre la relación de las variables de la radiación solar y la atenuación potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto. Se muestra en la tabla 64.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Radiación solar = 16.80 + 86.418 Atenuación de la Potencia	Completa
Radiación solar = 88.145 + 54.370 Atenuación de la Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Atenuación = 0.993 + 0.001 Radiación solar	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 64. Modelos matemáticos para RS vs AP [45].

La representación gráfica de los modelos matemáticos obtenidos de este estudio investigativo de la tabla 64, se muestra a continuación en la figura 5.45.

Relación entre la radiación solar y la atenuación de la potencia.

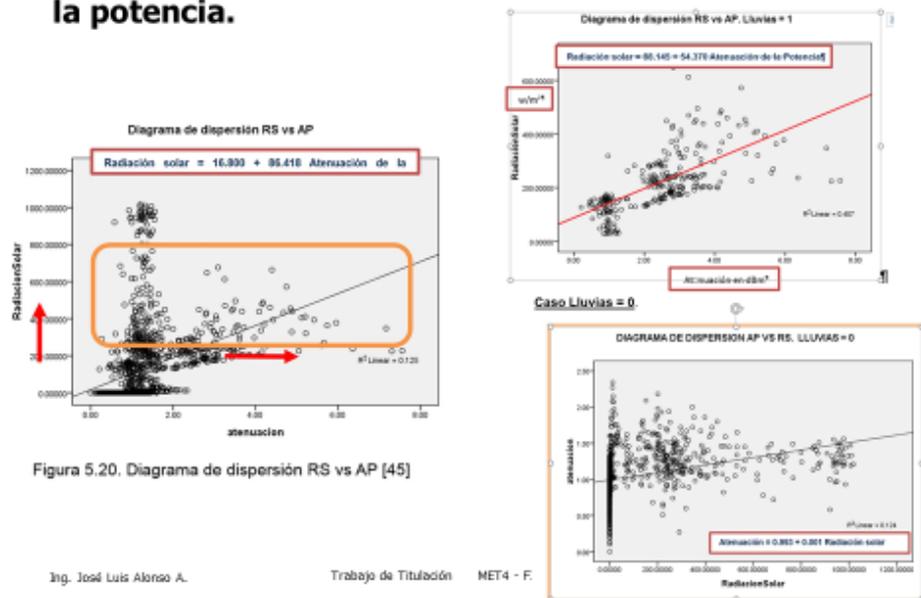


Figura 5.45. Resumen de gráficas los modelos RS vs P [45].

5.2.4 Relación de la sensación térmica con respecto a la potencia recibida.

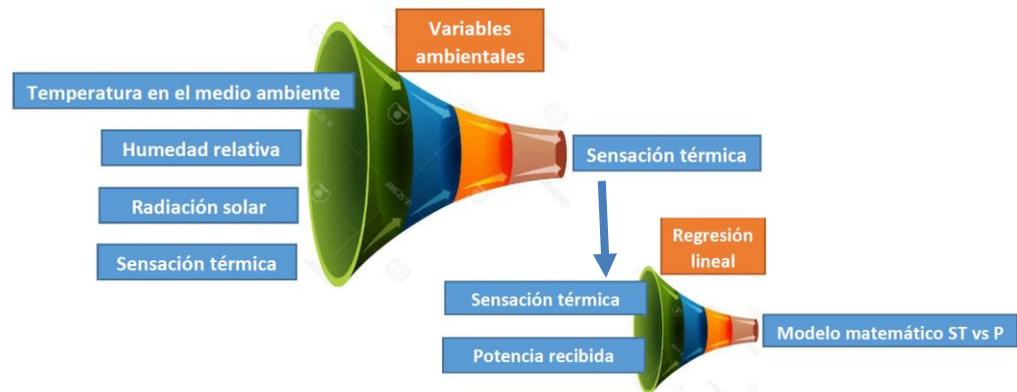


Figura 5.46. Relación ST vs P [45]

Empezamos a analizar la regresión lineal en este estudio investigativo de la variable de la “**sensación térmica**” (ST), con respecto a la variable de “**potencia recibida**” (P), mediante los siguientes pasos.

1. Procesar los datos para el modelo, con el fin de obtener su coeficiente de r de Pearson, que para este caso $R = 0.416$, el cual me indica la relación que existe entre las variables de temperatura en el ambiente y la potencia recibida. Tal como se indica en la tabla 65.
2. Con el coeficiente de Pearson calculado, obtenemos el coeficiente de determinación R^2 , el cual me indica cuánto gana o se puede mejorar la variable de potencia recibida en forma porcentual, siendo para este caso $R^2 = 0.173$ entonces la mejora sería del 17.30%. tal como se indica en la tabla 65.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.416 ^a	.173	.172	6.55113

a. Predictors: (Constant), atenuacion

R = Coeficiente de Pearson = Entre +1 y -1
 R^2 = Coeficiente de determinación = 0 y 1
 $R^2 = 0$, variables independientes.
 $R^2 = 1$, relación perfecta.

Tabla 65. Resumen del modelo de regresión ST vs P [45].

3. Analizamos ahora, la tabla 66, ANOVA o análisis de la varianza, la cual consiste en realizar una prueba de hipótesis a nuestra muestra de datos.

H_0 = hipótesis nula, las medias de las variables son iguales.

H_1 = hipótesis válida, las medias son diferentes.

Para ello nos valemos del valor de la significancia (campo sig. de la tabla), el cual me indica que $p = 0.000 < 0.05$, lo que significa que rechazamos la hipótesis nula H_0 y aceptamos la hipótesis H_1 de este estudio investigativo.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12628.691	1	12628.691	294.256	.000 ^a
	Residual	60427.575	1408	42.917		
	Total	73056.266	1409			

a. Predictors: (Constant), atenuacion

b. Dependent Variable: SensacionT

Tabla 66 Tabla ANOVA ST vs P [45].

4. Como el valor de $R > 0.30$, podemos procesar los valores de los coeficientes del modelo de regresión lineal. tal como se indica en la tabla 67. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 27.260$$

$$\beta_1 = 3.498$$

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	27.260	.320		85.252	.000
	atenuacion	3.498	.204	.416	17.154	.000

a. Dependent Variable: SensacionT

Sensación térmica = 27.260 + 3.498 Potencia

Tabla 67. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal ST vs P [45].

5. De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en la figura 5.47.

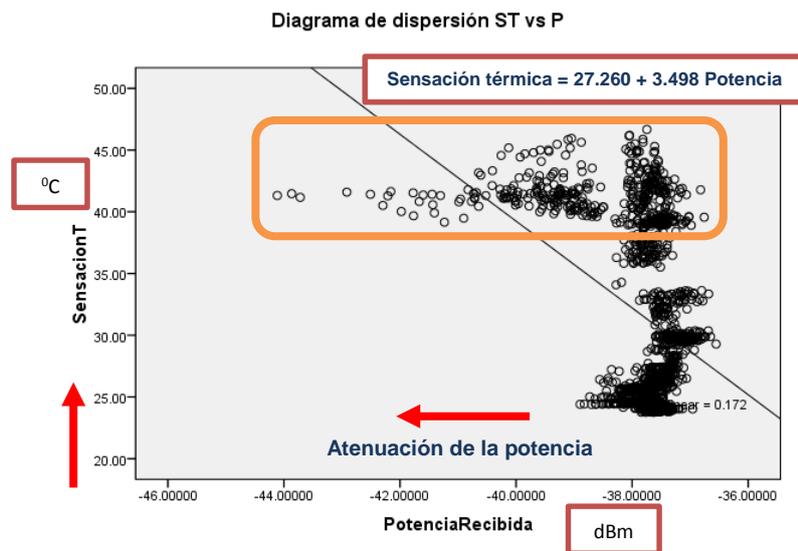


Figura 5.47. Diagrama de dispersión ST vs P [45]

Ahora analizaremos el diagrama de dispersión de la figura 5.19, en donde se puede observar que mientras no exista presencia de lluvias, la potencia recibida oscila entre -37 dBm y -38 dBm. Luego la sensación térmica empieza a incrementarse debido a que las variables de la temperatura y humedad que la componen se incrementan en conjunto hasta que aparecen las lluvias en el enlace inalámbrico y **produce una atenuación**, la misma que es identificada cuando se presentan las variaciones **de potencia desde -37 dBm hasta -44 dBm**. Cabe mencionar que esto sucede cuando la sensación térmica se encuentra entre los 40°C a 50°C.

El comportamiento de las variables de la sensación térmica por efecto del calor y de la variable de potencia recibida, se muestran en la figura 5.25.

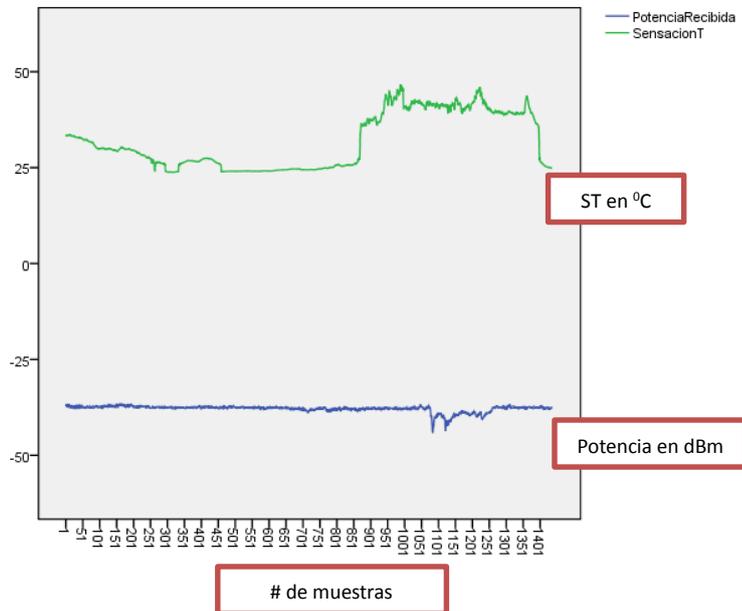


Figura 5.48. Comportamiento ST y P [45]

- **Mejoras al modelo matemático**

Para obtener un modelo matemático que refleje solo la presencia de lluvias en el enlace inalámbrico del día 18 de abril del 2016, se segmentó la serie de datos del diagrama de dispersión de la figura 5.48.

La segmentación de datos se la ejecuto mediante una regla aplicada la variable lluvias, creada como una bandera que tiene dos estados:

lluvias = 1, presencia real de lluvias

lluvias = 0, no hubo lluvias

Cabe mencionar que la variable lluvias es un indicador basado en los eventos de lluvias censados por los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico, no cuantifica. La variable que cuantifica los eventos de lluvias es la variable ambiental de precipitaciones.

- **Caso Lluvias = 1.**

De tal forma que el nuevo diagrama de dispersión ST vs P segmentado, presenta variaciones que se muestran en la figura 5.49.

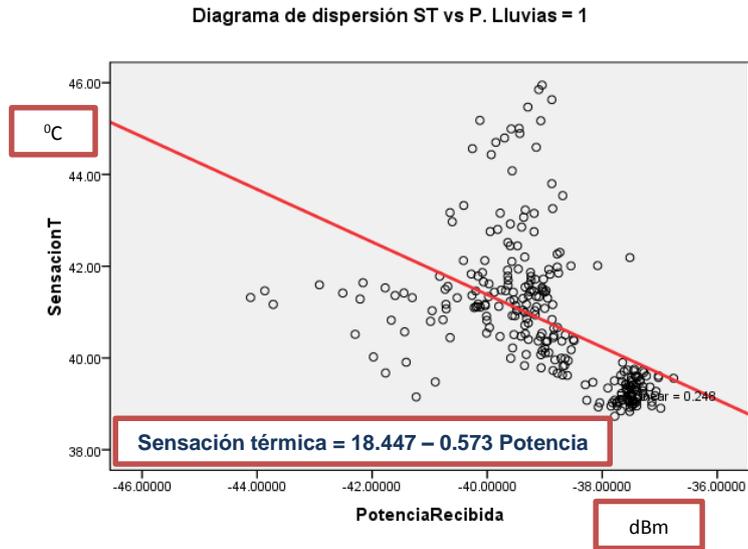


Figura 5.49. Diagrama de dispersión ST vs P. Lluvias = 1 [45]

La recta de la regresión lineal presente en el diagrama de dispersión de la figura 5.49, pasa por todos los puntos observados. El proceso estadístico que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 68. Donde:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i, \text{ ecuación de la recta de regresión lineal.}$$

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 18.447$$

$$\beta_1 = -0.573$$

Coefficients ^{a,b}						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	18.447	2.391		7.714	.000
	PotenciaRecibida	-.573	.061	-.498	-9.357	.000

a. Dependent Variable: SensacionT

b. Selecting only cases for which Lluvia = 1

$$\text{Sensación térmica} = 18.447 - 0.573 \text{ Potencia}$$

Tabla 68. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para ST vs P [45]. Lluvias = 1.

La tendencia que tienen los datos observados alrededor de la recta de regresión lineal del diagrama de dispersión de la figura 5.49, tienen una

distribución normal, así como también el comportamiento de su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.50.

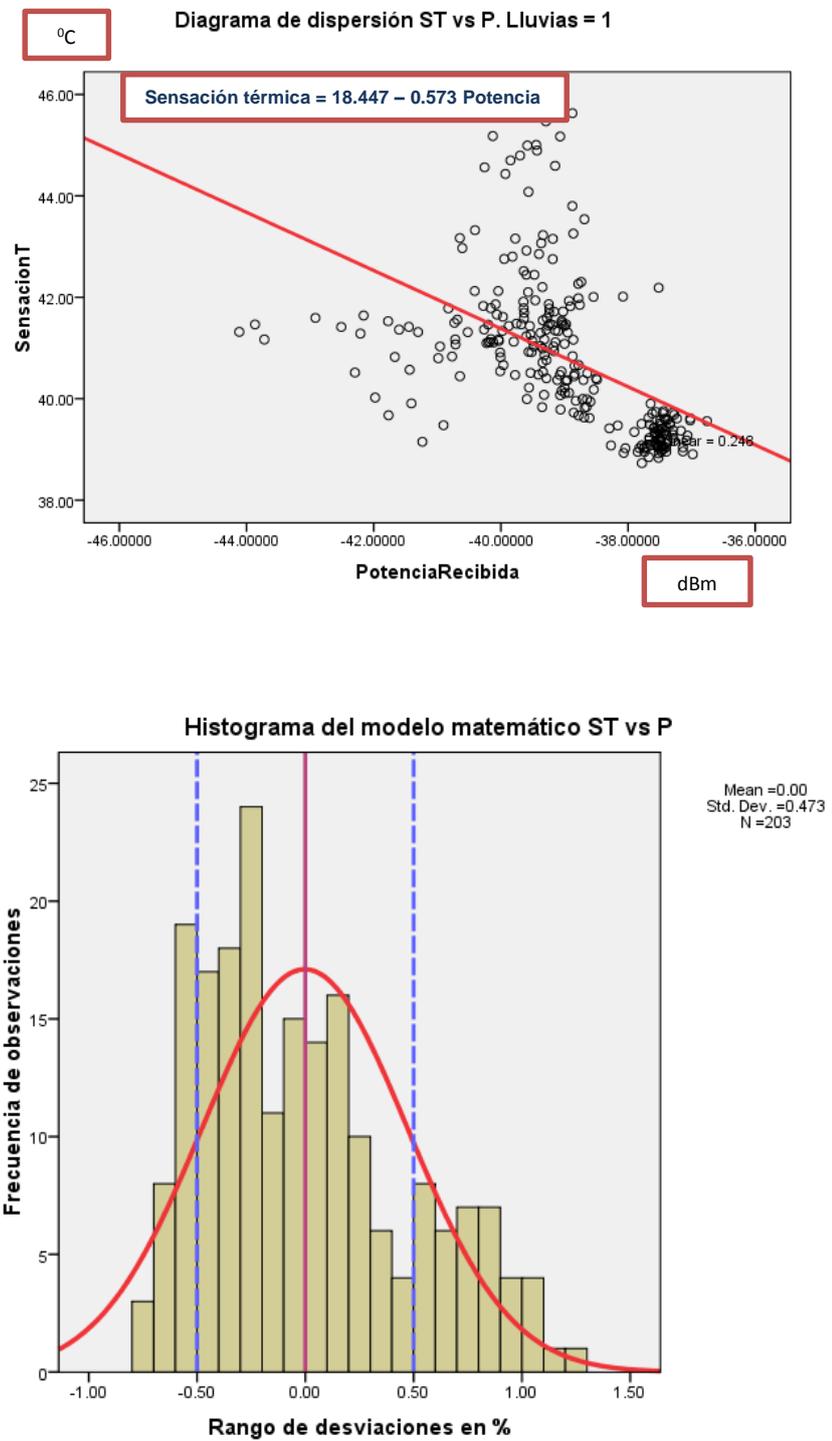


Figura 5.50. Distribución de datos observados del modelo ST vs P [45]

• **Caso Lluvias = 0.**

La recta de la regresión lineal, que define los valores de los coeficientes se detalla en la tabla 69. Donde:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i, \text{ ecuación de la recta de regresión lineal.}$$

$$\beta_0 = -37.624$$

$$\beta_1 = 0.001$$

$$\text{Potencia} = -37.624 + 0.001 \text{ Sensación térmica}$$

		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
Model		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-37.624	.045		-832.531	.000
	SensacionT	.001	.001	.013	.440	.660

a. Dependent Variable: PotenciaRecibida

Tabla 69. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para P vs ST. Lluvias =0 [45]

El nuevo diagrama de dispersión no contara con presencia de lluvias, por lo cual la segmentación presenta variaciones, las mismas que se muestran en la figura 5.51.

Caso Lluvias = 0.

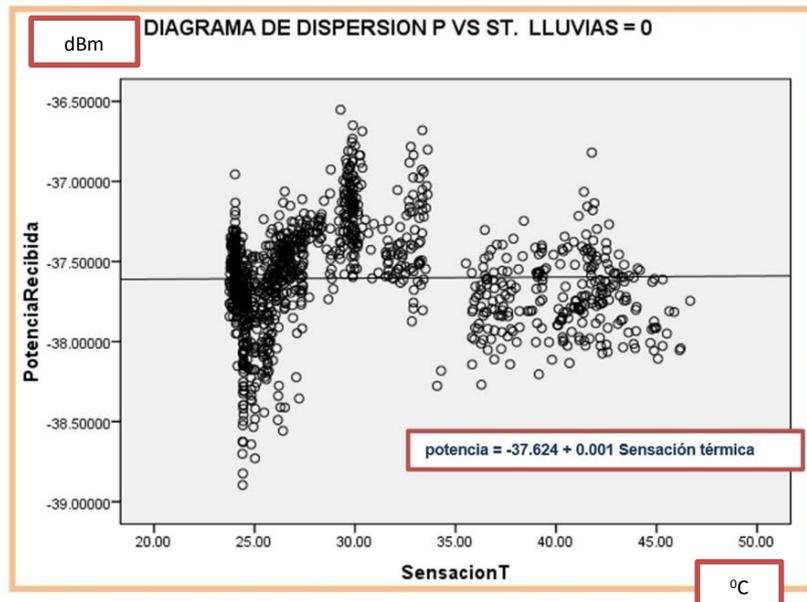


Figura 5.51. Diagrama de dispersión ST vs P. Lluvias =0 [45]

La distribución de los datos de la figura 5.51 es una distribución normal, al igual que su curva. En la figura 5.52 se puede observar dicha distribución.

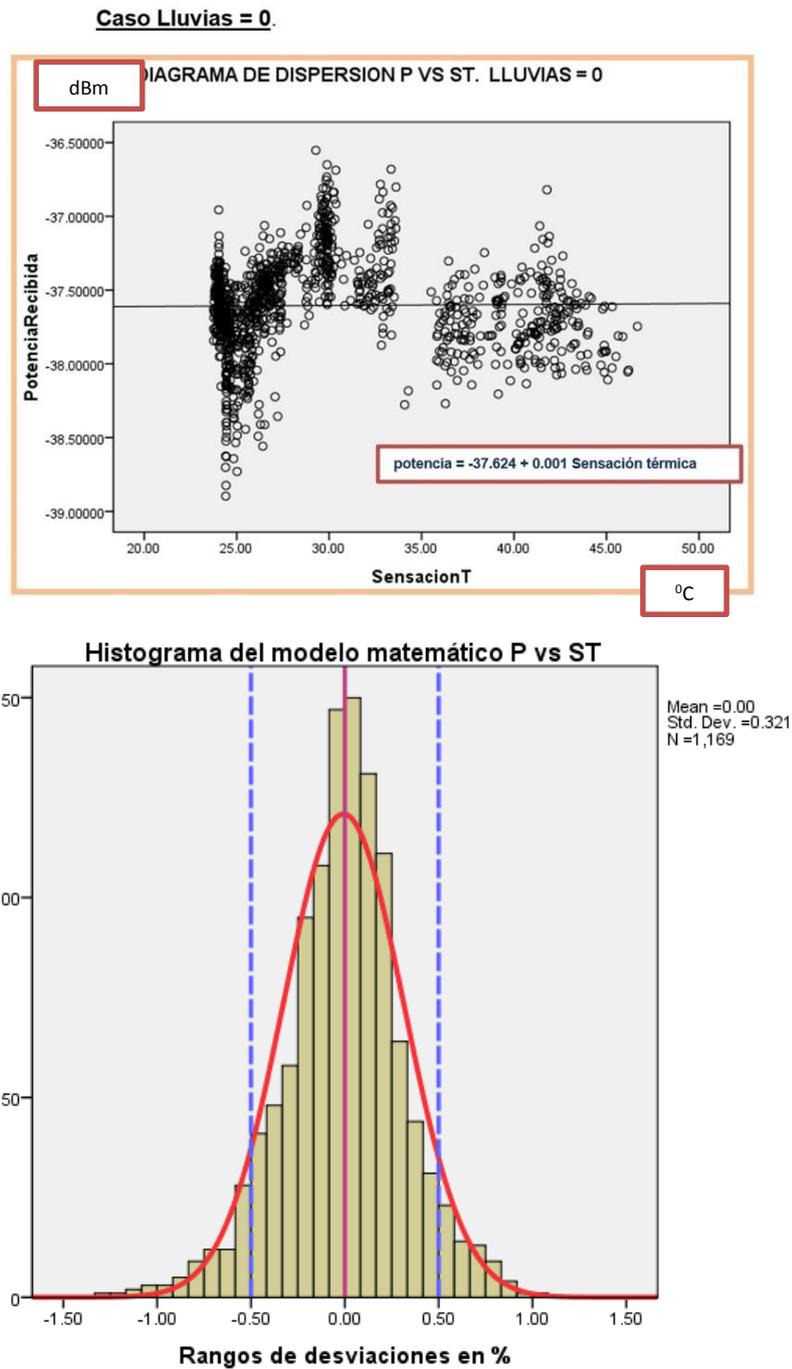


Figura 5.52. Distribución de datos observados del modelo P vs ST. [45]

• **Presentación de modelos ST vs P**

Los modelos matemáticos obtenidos del proceso de regresión lineal entre la relación de las variables de sensación térmica por efecto del calor y la potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto. Se muestra en la tabla 70.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Sensación térmica = 27.260 + 3.498 Potencia	Completa
Sensación térmica = 18.447 – 0.573 Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Potencia = -37.624 + 0.001 Sensación térmica	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 70. Modelos matemáticos para ST vs P [45].

La representación gráfica de los modelos matemáticos obtenidos de este estudio investigativo de la tabla 64, se muestra a continuación en la figura 5.53.

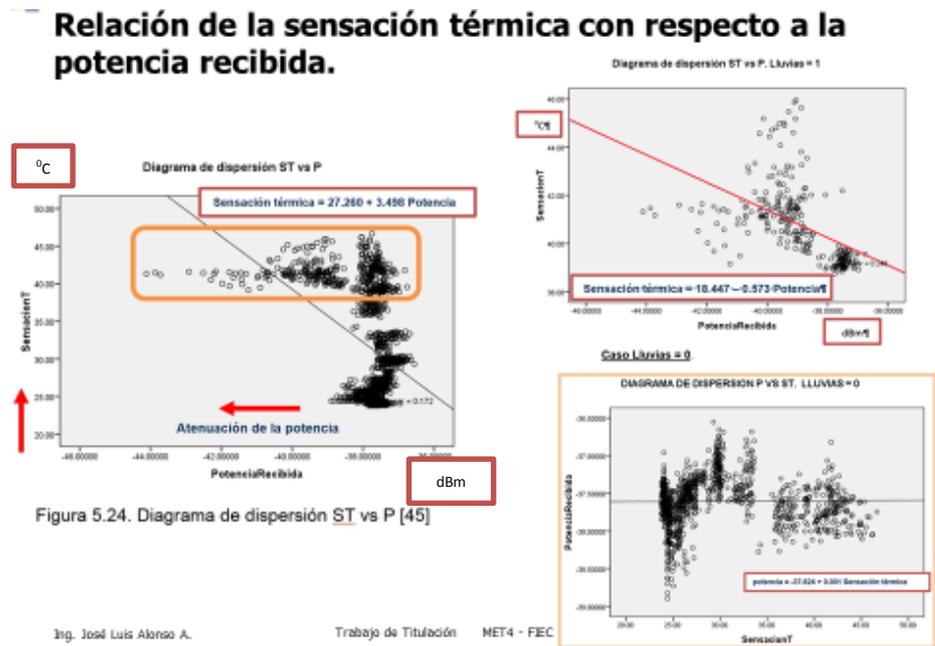


Figura 5.53. Resumen de gráficas los modelos ST vs P [45].

- **Relación entre la sensación térmica y la atenuación de la potencia.**

Con los diagramas de dispersión de la sensación vs potencia recibida, podemos observar el comportamiento de la atenuación en escala de potencia recibida. Por lo cual, es necesario reflejar en este estudio la intervención de una nueva variable, a la cual nominamos como la atenuación de la potencia recibida (AP), la cual se procesa en mismo instante que la variable de potencia recibida. Tal como se muestra en la figura 5.54.

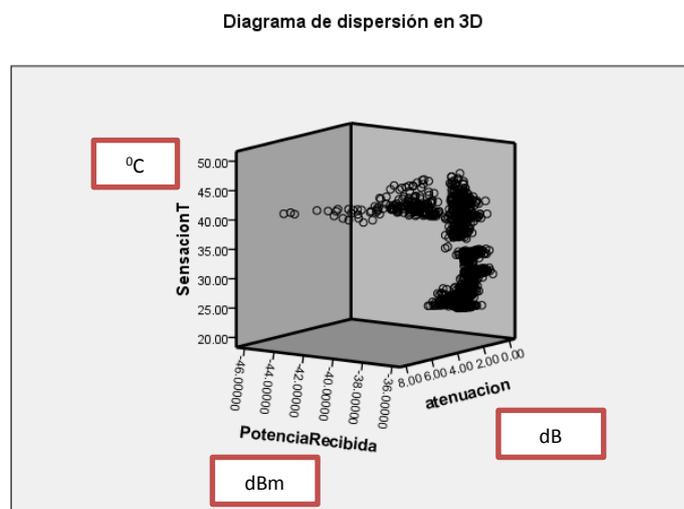


Figura 5.54. Diagrama de dispersión en 3D, ST - P - AP [45]

Ahora al ejecutar el algoritmo estadístico de la regresión lineal para la variable ambiental de la “**sensación térmica**” (ST) y la variable **atenuación de potencia recibida (AP)**, obtenemos los siguientes resultados con el software SPSS., la cual se muestran en la tabla 71.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.416 ^a	.173	.172	6.55113

a. Predictors: (Constant), atenuacion

Tabla 71. Resumen del modelo de regresión ST vs AP [45].

Siendo, su coeficiente de r de Pearson, $R = 0.416$, entonces $R > 0.30$, por lo cual las variables de temperatura y atenuación de la potencia recibida, están relacionadas.

En lo que tiene que ver con su coeficiente de determinación, $R^2 = 0.173$, lo cual me indica que la variable de la atenuación puedo mejorarla a 17.30%.

Ahora analizaremos la tabla 72, ANOVA o análisis de la varianza, con el fin de probar la hipótesis:

H_0 = hipótesis nula, las medias de las variables son iguales.

H_1 = hipótesis válida, las medias son diferentes.

Para ello nos valemos del valor de la significancia (campo sig. de la tabla), el cual me indica que $p = 0.000 < 0.05$, lo que significa que rechazamos la hipótesis nula H_0 y aceptamos la hipótesis H_1 de este estudio investigativo.

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12628.691	1	12628.691	294.256	.000
	Residual	60427.575	1408	42.917		
	Total	73056.266	1409			

a. Predictors: (Constant), atenuacion

b. Dependent Variable: SensacionT

Tabla 72. Tabla ANOVA ST vs AP [45]

Como el valor de $R > 0.30$, podemos obtener un modelo de regresión lineal, tal como se indica en la tabla 73. Donde:

$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 27.260$$

$$\beta_1 = 3.498$$

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	27.260	.320		85.252	.000
	atenuacion	3.498	.204	.416	17.154	.000

a. Dependent Variable: SensacionT

Sensación térmica = 27.260 + 3.498 Atenuación de la Potencia

Tabla 73. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal ST vs AP [45].

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en la figura 5.45.

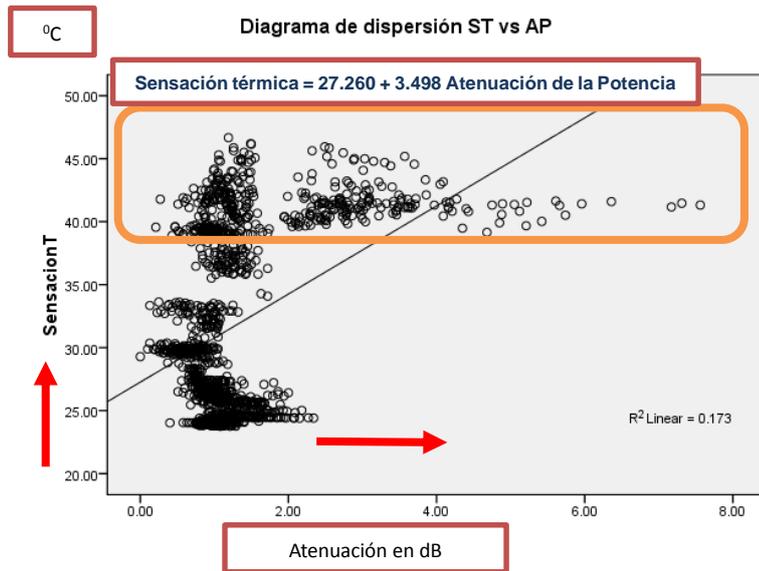


Figura 5.55. Diagrama de dispersión ST vs AP [45]

Podemos observar en el diagrama de dispersión de la figura 5.48, la siguiente información: Que mientras no hay lluvias la atenuación es mínima, ya que la variación de potencia se mantiene oscilando de 0 dBm a 2 dBm a pesar que la sensación térmica por efecto del calor se va incrementando hasta que aparecen las lluvias en el enlace inalámbrico punto a punto, por lo cual **la atenuación se va incrementando hasta llegar a los 8 dBm**. Teniendo en cuenta que la recta de regresión no

contempla todos los puntos según el gráfico, por lo cual se procede a efectuar una mejora al modelo.

- **Mejoras al modelo matemático ST vs AP**
- **Caso Lluvias = 1.**

Nuevamente aplicamos la técnica de segmentar el modelo, en base a la bandera Lluvias = 1 de la variable Lluvias, se obtiene la siguiente recta de regresión, tal como se muestra en la tabla 74.

$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 39.405$$

$$\beta_1 = 0.574$$

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	39.405	.171		229.775	.000
	atenuacion	.574	.061	.498	9.357	.000

a. Dependent Variable: SensacionT

b. Selecting only cases for which Lluvia = 1

$$\text{Sensación térmica} = 39.405 + 0.574 \text{ Atenuación de la Potencia}$$

Tabla 74. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para ST vs AP. Lluvias = 1. [45].

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados de la serie de datos segmentados. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en el diagrama de dispersión de la figura 5.56 para el modelo mejorado.

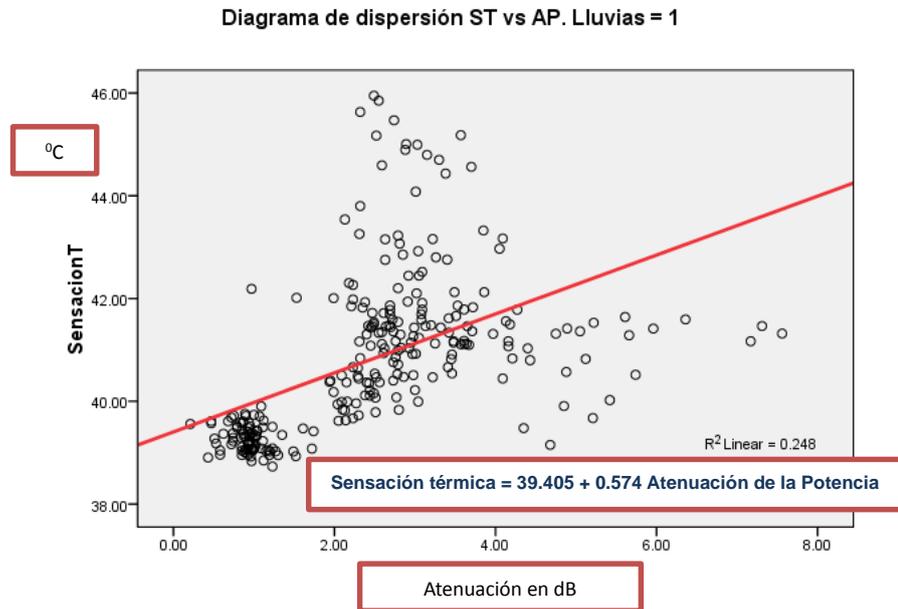


Figura 5.56. Diagrama de dispersión ST vs AP. Lluvias = 1. [45]

La tendencia que tienen los datos observados alrededor de la recta de regresión lineal del diagrama de dispersión de la figura 5.56, tienen una distribución normal, así como también su curva es normal. Tal como se muestra en la figura 5.57.

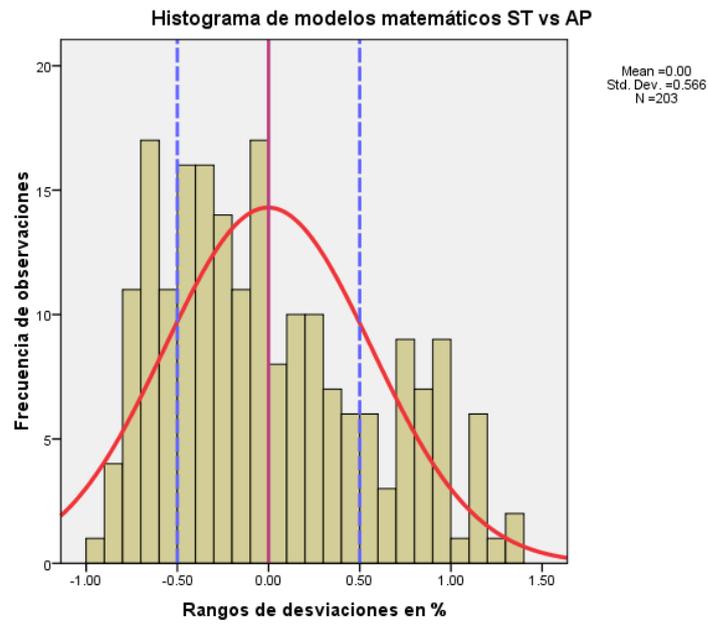


Figura 5.57. Distribución de datos observados del modelo ST vs AP [45]

- **Caso Lluvias = 0.**

Nuevamente aplicamos la técnica de segmentar el modelo, en base a la bandera lluvias = 0, de la variable lluvias, se obtiene la siguiente recta de regresión, tal como se muestra en la tabla 75.

$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$, ecuación de la recta de regresión lineal.

Siendo los valores obtenidos:

$$\beta_0 = 1.060$$

$$\beta_1 = 0.002$$

$$\text{Atenuación} = 1.060 + 0.002 \text{ Sensación térmica}$$

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.060	.046		23.067	.000
	SensacionT	.002	.002	-.007	-.236	.814

a. Dependent Variable: atenuación

Tabla 75. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal segmentado para ST vs AP. Lluvias = 0. [45].

De la ecuación de la regresión lineal obtenemos una recta que pasa por la mayoría de los puntos observados de la serie de datos segmentados, cuando Lluvias = 0. La cual constituye el modelo matemático que relacionan estas dos variables. Tal como se muestra en el diagrama de dispersión de la figura 5.58 para el modelo mejorado.

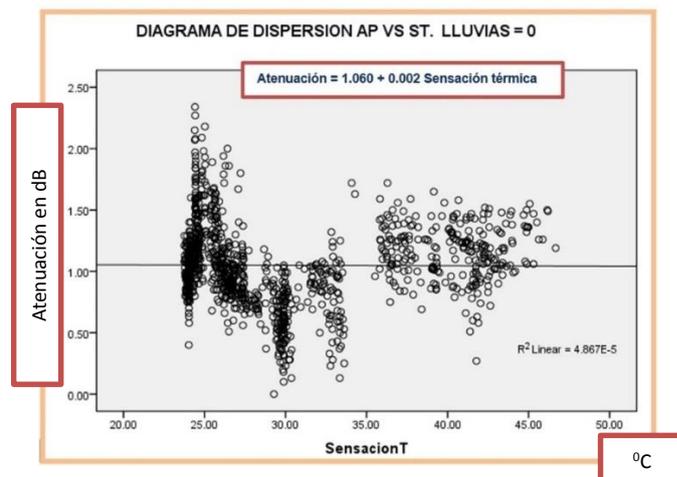


Figura 5.58. Diagrama de dispersión AP vs ST. Lluvias = 0. [45]

La distribución de los datos de la figura 5.58 es una distribución normal, al igual que su curva. En la figura 5.59 se puede observar dicha distribución.

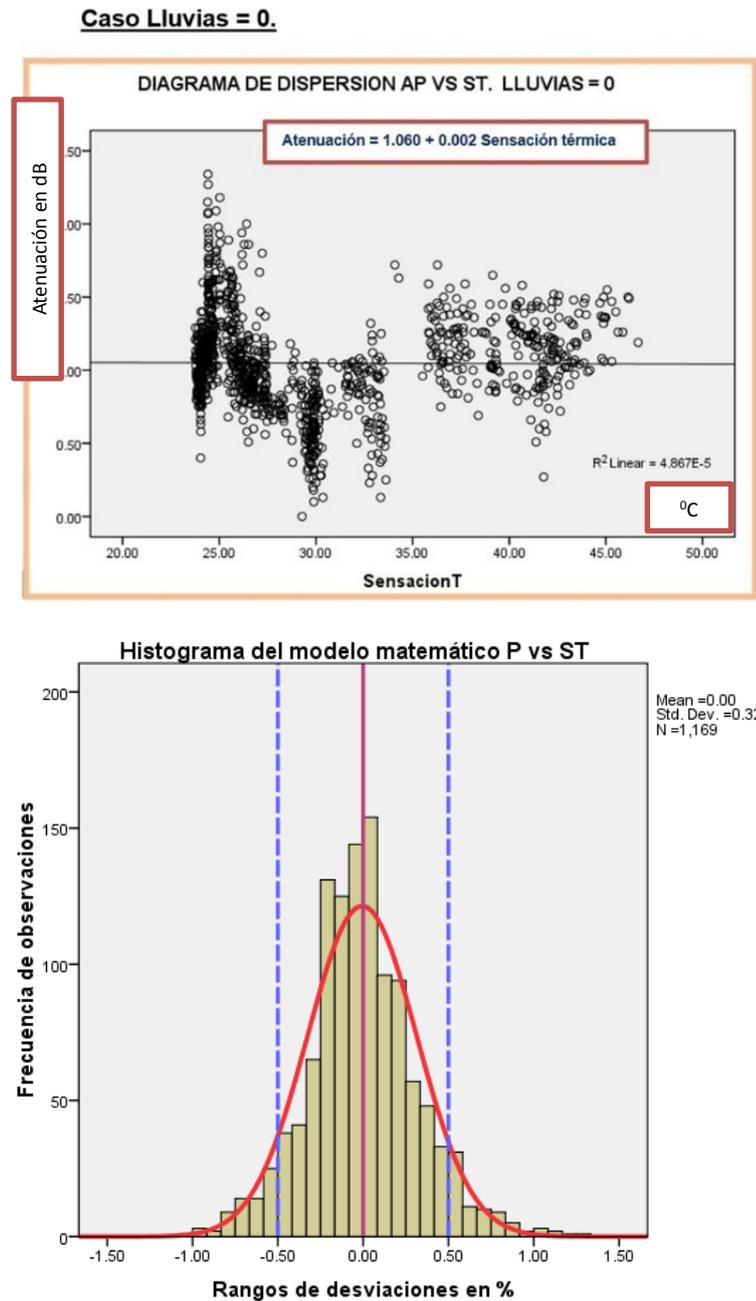


Figura 5.59. Distribución de datos observados del modelo AP vs ST.

[45]

• **Presentación de modelos ST vs AP**

Los modelos matemáticos obtenidos del proceso de regresión lineal entre la relación de las variables de la sensación térmica por efecto del calor y la atenuación potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto. Se muestra en la tabla 76.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Sensación térmica = 27.260 + 3.498 Atenuación de la Potencia	Completa
Sensación térmica = 39.405 + 0.574 Atenuación de la Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Atenuación = 1.060 + 0.002 Sensación térmica	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 76. Modelos matemáticos para ST vs AP [45].

La representación gráfica de los modelos matemáticos obtenidos de este estudio investigativo de la tabla 76, se muestra a continuación en la figura 5.60.

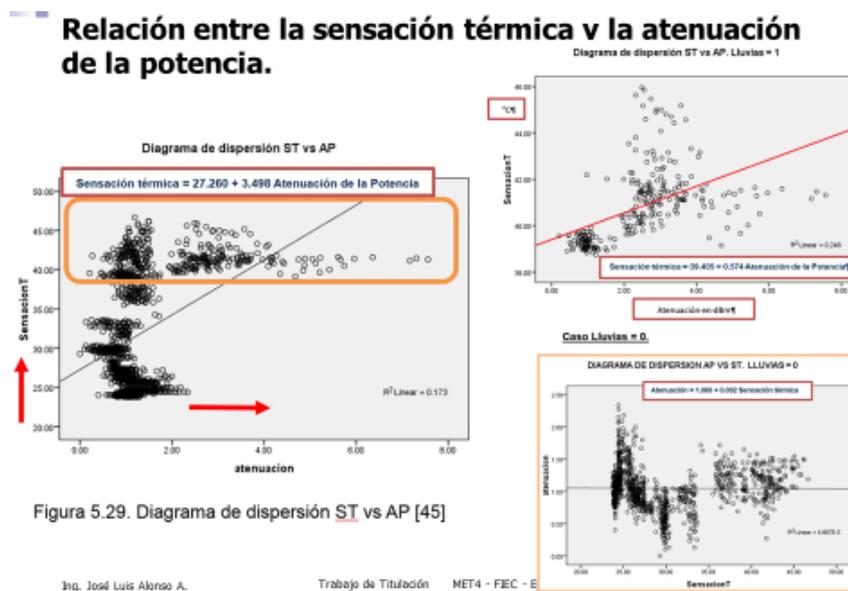


Figura 5.29. Diagrama de dispersión ST vs AP [45]

Ing. José Luis Alonso A. Trabajo de Titulación MET4 - FEC - E

Figura 5.60. Resumen de gráficas los modelos ST vs AP [45].

5.3 Validación de los modelos desarrollados con análisis de correlación.

La validación de los modelos matemáticos desarrollados en este trabajo investigativo entre las variables ambientales consideradas y la variable de la

potencia recibida de un enlace inalámbrico punto a punto, se la efectuó en base un análisis de correlación entre las variables, que luego es validada nuevamente por el proceso de regresión lineal del algoritmo estadístico del SPSS. Siendo los valores obtenidos los mostrados en la tabla 77.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos	R	R ²
Temperatura = -24.103 – 1.367 Potencia	Completa	0.491	0.241
Temperatura = 29.561 – 0.041 Potencia	Segmentado por lluvias		
Humedad relativa = 98.882 – 0.041 Potencia	Completa	0.413	0.171
Humedad relativa = 28.779 – 1.270 Potencia	Segmentado por lluvias		
Radiación solar = -3158.050 – 86.785 Potencia	Completa	0.354	0.125
Radiación solar = -1898.349 – 54.348 Potencia	Segmentado por lluvias		
Sensación térmica = 27.260 + 3.498 Potencia	Completa	0.416	0.173
Sensación térmica = 18.447 – 0.573 Potencia	Segmentado por lluvias		

Tabla 77. Modelos matemáticos. Las variables ambientales vs la potencia recibida [45].

Los valores de **R** o **coeficiente de Pearson** de todos los modelos matemáticos desarrollados son mayores a **0.30**, por lo cual las variables se relacionan entre sí, en base a las muestras de datos obtenidas del 18 de abril del 2016, desde las 0H00 hasta las 24H00.

Adicionalmente se crearon modelos matemáticos de no lluvia que relacionan a la variable de la potencia recibida con los variables ambientales, en base a los datos de la tabla 77, tal como se muestra en la tabla 78.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Potencia = -37.035 – 0.021 Temperatura	Segmentado. Lluvias = 0
Potencia = -37.756 + 0.003 Humedad relativa	Segmentado. Lluvias = 0
Potencia = -37.550 + 0.0003 Radiación solar	Segmentado. Lluvias = 0
Potencia = -37.624 + 0.001 Sensación térmica	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 78. Modelos matemáticos. Potencia recibida vs las variables ambientales [45].

Luego se hicieron nuevos estudios, en donde se relacionan las variables ambientales con la variable de la atenuación de potencia, por lo cual se obtuvieron nuevos modelos matemáticos que se muestran en la tabla 79.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Temperatura = $25.876 + 1.364$ Atenuación de la Potencia	Completa
Temperatura = $31.054 + 0.041$ Atenuación de la Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Humedad relativa = $98.882 - 0.041$ Atenuación de la Potencia	Completa
Humedad relativa = $75.199 + 1.270$ Atenuación de la Potencia	Segmentado- Lluvias = 1
Radiación solar = $16.80 + 86.418$ Atenuación de la Potencia	Completa
Radiación solar = $88.145 + 54.370$ Atenuación de la Potencia	Segmentado. Lluvias = 1
Sensación térmica = $27.260 + 3.498$ Atenuación de la Potencia	Completa
Sensación térmica = $39.405 + 0.574$ Atenuación de la Potencia	Segmentado. Lluvias = 1

Tabla 79. Modelos matemáticos. Las variables ambientales vs Atenuación de la potencia [45].

Por último, se desarrollaron modelos matemáticos que relacionan a la atenuación de la potencia con las variables ambientales, tal como se muestra en la tabla 80.

Modelo Matemático obtenidos	Serie de datos
Atenuación = $0.469 + 0.022$ Temperatura	Segmentado. Lluvias = 0
Atenuación = $1.205 - 0.003$ Humedad relativa	Segmentado. Lluvias = 0
Atenuación = $0.993 + 0.001$ Radiación solar	Segmentado. Lluvias = 0
Atenuación = $1.060 + 0.002$ Sensación térmica	Segmentado. Lluvias = 0

Tabla 80. Modelos matemáticos. Atenuación vs las variables ambientales. Lluvias = 0 [45].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base al proceso investigativo que se efectuó en este trabajo de titulación, se logró adquirir primero, el conocimiento de las variables ambientales que controlan el clima en el ambientes exteriores y segundo, se logró determinar la influencia de estas variables en el comportamiento de la variable de la potencia recibida bajo un entorno gráfico como también en el modelamiento matemático de las relaciones existentes entre ellas. Por lo cual, se comprobó que la relación existe, siempre y cuando exista la presencia de lluvias en el trayecto del enlace inalámbrico punto a punto entre ESPOLTEL en el Parcon tecnológico de la ESPOL y UNIVISA de la ciudad de Durán. Con lo cual, se cumplió con los objetivos trazados desde inicio de este experimento.

El apoyo tecnológico brindado por las empresas públicas y privadas de nuestro medio tecnológico fue fundamental para el éxito de este estudio investigativo, ya que del acceso físicos a sus instalaciones dependía la lectura de los datos de las variables ambientales. Por lo cual, se logró determinar un cronograma de visitas a los sitios determinados.

La experiencia de los proveedores de servicios de enlaces inalámbricos punto a punto (ESPOLTEL y UNIVISA), fue fundamental en la fase configuración e implementación de los equipos de telecomunicaciones en las torres de transmisión y recepción, logrando así, optimizar la línea de vista del enlace, generando mínimas pérdidas en la propagación de la señal y con ello se logró habilitar el enlace.

El monitoreo constante de la señal de la potencia recibida a través de herramientas de acceso remoto, tiene como finalidad detectar la presencia de ruido en la señal recibida a través de un margen de sensibilidad implementado en sistema de medición de potencia. Por lo cual, se logró obtener lecturas válidas de la señal de potencia recibida, las mismas que son necesarias para realizar el estudio de las relaciones existentes con las variables ambientales.

Es importante mantener a los equipos NI-USRP 2921 en óptimos niveles de temperatura, tal como lo exige su hoja técnica, con el fin de lograr un buen funcionamiento del equipo. Sin duda se debe mantener controlada la temperatura de

enfriamiento, ya que equipo es sensible a los cambios de temperatura. Así lo reflejan todos los experimentos realizados por este suceso en el laboratorio de simulación de telecomunicaciones.

Los pluviómetros instalados a lo largo del enlace, nos da una buena confiabilidad en la lectura de los datos o sucesos de lluvias, ya que la manipulación lo ejercen los colaboradores del proyecto de lluvias.

En base a estudios de análisis de datos de las variables ambientales, se logró determinar que las estaciones meteorológicas del INAMHI, que contribuyen con la mejor lectura de la información son: la del Liceo Cristiano en la ciudad de Guayaquil y la del Divino Niño en la ciudad de Durán.

La selección de variables ambientales para este estudio investigativo se basa en la contribución que dichas variables efectúan en el medio ambiente dentro de la zona metropolitana de Guayaquil y Durán, en donde se implementó el enlace inalámbrico. Es así que las variables ambientales como la temperatura en el ambiente, humedad relativa. Radiación solar y sensación térmica influyen en la atenuación de la señal de la potencia recibida en el receptor, en base a observaciones efectuadas a los comportamientos de cada variable.

Las variables ambientales seleccionadas para este estudio investigativo, sin olvidar la presencia en la atmósfera de las variables complementarias, pertenecen al **ciclo higrológico**, que constituye un proceso que cumple cada zona climática del planeta. Para este caso es la zona Tórrida, influenciada por los vientos alisios que sobrellevan a la región, su recorriendo es contra del movimiento de la Tierra y hacia dentro de la zona. Es decir, estos vientos siempre están presentes en la atmósfera, los mismos que tienen una velocidad y un recorrido específico. Luego ingresa a esta zona la luz del sol en forma perpendicular y la misma se refracta, se refleja y se queda en las nubes e irradia la superficie, dando lugar a incrementos de temperatura en el ambiente, ocasionando la evaporación de los ríos y mares. Al haber este proceso de evaporación empieza a subir el vapor a la atmósfera y con ello se incrementa la humedad en el ambiente. Estando en la atmósfera el vapor de agua se condensa debido a la presencia de los vientos alisios y a la humedad relativa que se saturó, llegando a la temperatura denominada temperatura de rocío, en la cual el vapor de

agua se condensa y se transforma en gotas de lluvia, cayendo desde las nubes a la superficie terrestre.

Para todo evento de lluvia se cumple el ciclo hidrológico, por lo cual se activan las variables de la radiación solar, la temperatura en el ambiente, humedad relativa y la sensación térmica, que son parte de este estudio investigativo. Sin olvidar la presencia en la atmósfera de las variables complementarias como la velocidad del viento, presión atmosférica y precipitaciones como tales. La presencia de lluvias que se tomó en consideración es del 18 de abril del 2016, evento que aconteció desde las 6 pm hasta las 10:25 pm, según los sucesos de lluvia censada por los pluviómetros a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto en donde se puede observar la influencia de las variables ambientales en la señal de la potencia recibida, que experimenta una caída de potencia de 8 dBm.

El estudio de la activación de las variables ambientales solo se da en presencia de lluvias como en el punto anterior. Para el caso del día 19 de abril del 2016, no hubo presencia de lluvias en ningún pluviómetro a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto, como se mencionó en el análisis de datos efectuado en este estudio. Por tal motivo la señal de la potencia recibida tuvo una caída de potencia de 2 dBm, que se pueda considerar como atenuación baja, generada por las oscilaciones propias del comportamiento de la señal. Mientras que las variables ambientales al momento de relacionarse con la potencia recibida sus datos tienen una distribución normal.

La variable ambiental de la sensación térmica es una nueva variable que toda estación meteorológica está calculando en base a la temperatura del ambiente y la humedad relativa, con la cual se obtiene la temperatura de confort o que siente el cuerpo humano, la misma que es mayor a la temperatura censada en el medio ambiente. En vista que tanto la temperatura en el ambiente y la humedad relativa en forma individual se observa un comportamiento de relación con la variable de potencia recibida.

Las relaciones existentes entre cada una de las variables ambientales con respecto a la potencia recibida son obtenidas mediante el algoritmo estadístico denominado en SPSS como el coeficiente R de Pearson, el mismo que mide las distancias entre cada variable y las correlaciona. Según el estudio realizado en este trabajo de titulación el valor de R para cada proceso en las que interviene las variables ambientales, fue R

> 0.30, por lo tanto, la correlación existe, lo cual implica que: la variable ambiental de la temperatura en el ambiente se relaciona con la variable de la potencia recibida; la segunda variable ambiental, la humedad relativa se relaciona con la variable de la potencia recibida; la tercera variable ambiental, la radiación solar se relacionan con la variable de la potencia recibida, y la última variable ambiental la sensación térmica se relaciona con la variable de la potencia recibida.

En base a experiencias vividas en este estudio investigativo, recomiendo:

Implementar en los cuatros pluviómetros que posee actualmente el proyecto de lluvias FIEC-ESPOL, nuevas estaciones meteorológicas a través de la tecnología electrónica de arduinos unidos a circuitos con óptimos sensores ambientales y de telecomunicaciones, podemos grabar en línea la información trasladándola a la nube y mediante un aplicativo web poder visualizar los datos de las variables ambientales con sus respectivos reportes de estadísticos y creaciones de modelos matemáticos que avalen su comportamiento.

Se debe de realizar una coordinación óptima con los sitios geográficos donde se obtienen los datos de los pluviómetros dándonos libre acceso y evitar los inconvenientes de cada semana que se tiene en el cerro de Mapasingue para ingresar al punto.

Obtener el apoyo tecnológico del servicio de un radar con fines educativos, que este ubicado en la ESPOL, para monitorear el enlace inalámbrico punto a punto entre las zonas metropolitanas de las ciudades de Guayaquil y Durán, especialmente cuando hay presencia de lluvias. Con ello no sería necesario la presencia de pluviómetros a lo largo del enlace.

Monitorear nuevos enlaces inalámbricos mayores de 10 GHz, con la finalidad de observar las influencias de los gases atmosféricos en presencia de lluvias y poder realizar un estudio del comportamiento de las variables, con la finalidad de compararlos con el modelo de modelo de la UIT. Así también poder realizar estudios con frecuencias dominantes de wifi, con el fin de poder determinar a que se deben las atenuaciones en esta banda y si la influencia se mantiene de las variables ambientales.

Efectuar el estudio de las lluvias, no por meses de congruencia del evento sino por todo el año, con el fin de identificar patrones que nos ayuden a explicar algunos fenómenos visuales que están presentes en el medio ambiente y que hay que tomar en cuenta al momento de evaluar alguna caída de potencia que sufre la señal de potencia recibida.

Realizar un estudio de pérdida de potencia en las señales de celular en conjunto con las operadoras de locales de celular. Con el fin de poder determinar presencia de lluvias en la señal inalámbrico cuando existe la caída de potencia en los equipos celulares y que son captadas por las torres de transmisión y recepción. Con ello, obtendremos los valores de atenuación por cada zona específica del país, logrando obtener información privilegiada en caso de emergencias ambientales, ya que sabríamos el lugar exacto de las lluvias.

Con la información actual se puede efectuar un enlace inalámbrico simulado mediante un sistema de telecomunicaciones igualmente simulado con modulaciones robustas como QPSK y 16 QAM, para transmitir los datos en su capa física de los comportamientos de cada variable ambiental y de potencia recibida y efectuar una correlación de las señales al momento en el que llega al receptor y con ello obtenemos una correlación a nivel de bits, todo desarrollado en LabVIEW. También se puede realizar modelos matemáticos de este comportamiento y de la pérdida de bits de datos por causa de presencia de ruido o cambio en el ambiente del laboratorio.

Agilizar la entrega de parte del INAMHI, de las bases de datos de los días censados de sus estaciones meteorológicas, con el fin de poder efectuar a la brevedad el análisis de los datos del experimento que se está ejecutando en el proyecto de lluvias. Sin duda, en este momento estoy analizando los datos para poder concluir con este estudio investigativo del cual he realizado mi trabajo de titulación.

La presencia de corte de energía por mantenimiento en el parque tecnológico de la ESPOL, puede inhabilitar el enlace inalámbrico y con ellos errores en las capturas de las lecturas de la potencia recibida de la señal, censando ruido. Siendo el equipo que sufra las mayores consecuencias el NI-USRP 2921, por sus límites de temperatura, para su buen funcionamiento. Por lo cual habría que encontrar alternativas de energía de respaldo en la caseta de recepción de la señal.

En vista de los conocimientos que me ha otorgado este estudio investigativo puedo mencionar que se podría proponer este temario como parte de una materia integradora o investigativa de la rama de telecomunicaciones de la facultad, por su alto contenido técnico y estadístico. Con ello se podrá cubrir en forma práctica todo el estudio de la propagación de la señal y tener un nuevo conocimiento de la parte climatológica que influyen en la pérdida de la señal.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] NI-USRP 2921. Especificaciones técnicas del dispositivo NI-USRP 2921 con bandas de 2.4 GHz y 5.8 GHz. National Instruments. Texas. Estados Unidos. Disponible en: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375867c.pdf>
- [2] Ingeniero Consultor Sigifredo Rocha. National Instruments. "A Hands-on Introduction to Software Defined Radio with NI USRP and NI LabVIEW". Disponible en: http://www.ni.com/gate/gb/GB_EKITNIUSRPLV/US
- [3] Kenneth Bannister, Gianni Giorgetti, Sandeep K.S. Gupta, Wireless Sensor Networking for "Hot" Applications: Effects of Temperature on Signal Strength, Data Collection and Localization, HotEmnets'08 – Charlottesville – Impact Lab, Arizona State University, June 2008.
- [4] Malve R. Boris. INAMHI. Foro Climático – Situación Meteorológica. Napo – Tena. Noviembre 2014. Disponible en <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>.
- [5] Diana Bri, Miguel García Pineda, Jaime Lloret, Francisco Ramos, Performance Analysis of Weather's Impact on Outdoor IEEE 802.11b/g Links Using Network Management Parameters. MONET 21(4): 603-619. 2016.
- [6] Diana Bri, Miguel Garcia, Francisco Ramos, Jaime Lloret, Improving Energy-Efficiency with a Green Cognitive Algorithm to Overcome Weather's Impact in 2.4 GHz Wireless Networks. MONET 20(5): 673-691. 2015.
- [7] Diana Bri, Marta Fernández-Diego, Miguel Garcia, Francisco Ramos, Jaime Lloret, How the Weather Impacts on the Performance of an Outdoor WLAN. IEEE Communications Letters 16(8): 1184-1187. 2012.
- [8] Diana Bri, Francisco Ramos, Jaime Lloret, Miguel Garcia: The influence of meteorological variables on the performance of outdoor wireless local area networks. ICC 2012: 5418-5422. 2012.
- [9] Diana Bri, Sandra Sendra, Hugo Coll, Jaime Lloret Mauri: How the Atmospheric Variables Affect to the WLAN Datalink Layer Parameters. AICT 2010: 13-18. 2010.

- [10] Hagit Messer, Artem Zinevich, Pinhas Alpert, Environmental Monitoring by Wireless Communication Networks. Mayo 2006. Disponible en: www.sciencemag.org
- [11] Y. Liberman, Object Tracking Extensions for Accurate Recovery of Rainfall Maps Using Microwave Sensor Network, EUSIPCO 2014.
- [12] Y. Liberman, R. Samuels, P. Alpert, and H. Messer, New algorithm for integration between wireless microwave sensor network and radar for improved rainfall measurement and mapping, Atmos. Meas. Tech., 2014
- [13] Yoav Liberman, Hagit Messer H, Accurate Reconstruction of Rain Field Maps from Commercial Microwave Networks Using Sparse Field Modeling, ICASSP 2014.
- [14] Recomendación UIT-R P.835-3. Atmósferas normalizadas de referencia para la atenuación debida a los gases. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.835-3-199910-S!!PDF-S.pdf
- [15] Recomendación UIT P.676-6. Atenuación por gases atmosféricos. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Disponible en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.676-6-200503-S/en>
- [16] Recomendación UIT-R P.531-10. Datos de propagación ionosférica y métodos de predicción requeridos para el diseño de servicios y sistemas de satélites. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.531-10-200910-S!!PDF-S.pdf
- [17] Recomendación P.838-3. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.838-3-200503-I/es>
- [18] Sensación térmica. Proyectos colectivos. B – Learning. España. Enero 2015. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=okpUzU84vy8>
- [19] La sensación térmica. Ciencias ambientales. Universidad de Cataluña. España. Octubre 2013. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=jlxCt_S5cxo
- [20] Explicaciones del meteorólogo Matías Bertolotti. Reportaje Todo Noticias. Canal de noticias de Argentina. Disponible en:

http://tn.com.ar/sociedad/que-es-la-sensacion-termica_441473

[21] Vulnerabilidad ambiental. Diario el Universo. Noticias. Guayaquil se adapta a los retos del clima – ESPOL. Ecuador. 2013. Disponible en:

http://www.espol.edu.ec/espol/docs_escribe/3785.pdf

[22] Congreso Nacional del medio Ambiente del Ecuador. Metodología de evaluación de confort térmico exterior para diferentes pisos climáticos en Ecuador. Cuenca. 2014. Disponible en:

<http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896711587.pdf>

[23] Igor Alvarado, Gerente Sector Académico National Instruments, NI-USRP utilizados para proyectos académicos. Plaza de innovación, Orlando-Florida, marzo 2013.

[24] Iván Pinar, Juan Murillo, Laboratorio de Comunicaciones digitales Radio definida por software, Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad de Sevilla, 1era edición, 2011.

[25] Radio definida por software. Departamento de ingeniería. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/894/A4.pdf?sequence=4>

[26] National Instruments, data sheet del dispositivo NI-USRP 2921. Disponible en: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-355>.

[27] Juan Tene Castillo, Utilidad del USRP, Materiales y métodos, Diseño e implementación de un Sistema de Conmutación de red para un sistema GSM basado en OpenBTS y Asterisk. Loja, 2013. Disponible en:

http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/7993/1/Tesis_TeneCastilloJuanPablo.pdf

[28] osciladores de cuarzo, Laboratorio de mediciones físicas, NIST, National Institute Standards and Technology. Disponible en:

http://tf.nist.gov/sim/2008_Seminar/osciladores%20de%20cuarzo.ppt.

[29] Robert W. Heath Jr., “Introduction to Wireless Digital Communications: A signal Processing Perspective” November 2012.

- [30] LabVIEW, Manual de programación para trabajar con USRP. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10575/Estudio%20De%20Tecnicas%20De%20Modulacion%20Mediante%20Radios%20NI%20USRP.pdf?sequence=1>
- [31] Arduino UNO, Herramienta de libre uso. Manual de programación de la plataforma arduino. Disponible en: <https://www.arduino.cc>
- [32] Ubidots, Herramienta de libre uso. Manual de programación de la nube Ubidots. Disponible en: <https://ubidots.com/>
- [33] Librerías utilizadas para configuración de LabVIEW con Arduino UNO y Ubidots. VI Package Manager, National Instruments. <http://www.ni.com/tutorial/12397/en/>
- [34] Ejemplos prácticos de programación gráfica. Arduino + LabVIEW. Disponible en: <https://geekytheory.com/arduino-y-LabVIEW>
- [35] Simulador de Arduino. Virtual breadboard académico. Disponible en: <http://www.virtualbreadboard.com/MetroMain.htm>
- [36] Hoja técnica del Sensor de temperatura LM35 para arduino UNO. Disponible en. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [37] Ejemplos prácticos de montaje del sensor de temperatura LM35 en la placa arduino UNO, disponible en: <http://www.luisllamas.es/2015/07/medir-temperatura-con-arduino-y-sensor-lm35/>
- [38] Hoja técnica del Sensor de temperatura DS18B20, disponible en: <http://panamahitek.com/aprendiendo-utilizar-el-sensor-de-temperatura-ds18b20/>
- [39] Configuración de enrutador MikroTik para enlaces inalámbricos punto a punto. Disponible en: <http://blog.capacityacademy.com/2014/04/09/que-es-mikrotik-routeros/>
- [40] Especificaciones técnicas e inalámbricas para el enrutador MikroTik, disponible en: <https://routerboard.com/RBMetal5SHPn>
- [41] Software para configuración remota del enrutador MikroTik. Download WinBox, disponible en: <http://www.mikrotik.com/download>
- [42] Enlace inalámbrico punto a punto con Mikrotik Metal 5SHPn, Esquemas de configuración del enlace. Disponible en:

<http://www.ds3comunicaciones.com/mikrotik/GrooveA2Hn.html>

[43] Especificaciones técnicas. Equipo Analizador de frecuencias FieldFox N9916A. Disponible en: <http://www.keysight.com/en/pdx-x201925-pn-N9916A/fieldfox-handheld-microwave-analyzer-14-ghz?nid=-5.00&cc=EC&lc=eng>

[44] Equipo Analizador de frecuencias. Fieldfox N9916A, Inventario de la ESPOL. http://www.transparencia.espol.edu.ec/sites/transparencia.espol.edu.ec/files/contratos_colectivos/completronica%20s.a..pdf

[45] Tablas y gráficas. Informe de labores, Proyecto de Investigación: “Modelamiento de intensidad de lluvia utilizando un sistema de radio en la banda no licenciada U-NII: un experimento piloto en Guayaquil” Enero – Abril 2016. Actualizado hasta la fecha.

[46] Especificaciones técnicas de los Pluviómetros Texas Instruments, disponible en: <http://texaselectronics.com/products/rainfall/rain-gauge-tr-525m-metric.html>

[47] Recomendación P.838. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-1-199910-S!!PDF-E.pdf

[48] Ángulos de caída de las gotas de lluvias en los pluviómetros, METED, The COMET Program, Departamento Meteorológico de España, disponible en https://www.meted.ucar.edu/hydro/precip_est/part1_measurement_es/media/video/fall_angle_dropsizesize-phase_5.mp4

[49] Especificaciones técnicas del Registrador de datos EL-USB-5, disponible en: <https://www.lascarelectronics.com/easylog-data-logger-el-usb-5/>

[50] software EasyLogUSB para cargar los datos de los sucesos de lluvias en un pc. Disponible en: <https://www.lascarelectronics.com/software/easylog-usb-software/>

[51] State of the art of the on going experiment in Ecuador: measuring rain through microwave links. Politecnico Milano; Dipartimento de Electronica, Informazione e Bioingegneria. Andreas Manzoni, Guayaquil, 02-02-2016.

[52] Hamilton, P., Marshall, J.: Weather-Radar Attenuation Estimates from Raingauge Statistics, Proceedings of the ninth Weather Radar Conference, Boston (1961)

- [53] Ramos, B., D'Amico, M., Santos, J., Nolivos, I., Manzoni, A., Ponguillo, R., Gómez, J., Chávez, T.: Measuring rain with microwave links: a pilot experiment in Ecuador, ICEAA– IEEE APWC 2015, Turin (2015)
- [54] Profesora María Elena Villapol. Factores que Afectan la Transmisión. Fundamentos de la Tecnología Inalámbrica: UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. Octubre del 2006.
- [55] Recomendación UIT-R P.525-2. Cálculo de la atenuación en el espacio libre. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-!!!PDF-S.pdf
- [56] Luis Carlos Calvo Pulgar, Cálculos para estimar la altura de las torres de transmisión y recepción en un enlace inalámbrico punto a punto. Microondas II. Disponible en: <http://luiscalvomicroondasii.blogspot.com/2012/12/calculo-de-altura-de-torres.html>
- [57] Dra. Elcia Brito, Catedra académica de Climatología y Meteorología, Departamento de Ingeniería Ambiental y Meteorología. Universidad de Guanajuato, México. 2013. Disponible en: <http://www.di.ugto.mx/gestiona/descargas/1Apuntes-climatologia%20y%20meteorologia%20-%202013.pdf>
- [58] Emmanuel BUCHOT, Influencia de la presión atmosférica en el clima del planeta, disponible en: http://www.voyagesphotosmanu.com/presion_atmosferica_viento.html
- [59] Silvia Larocca, Sensación térmica por efectos, Aula virtual. Plataforma de Teleformación de la Intranet Educativa Municipal. La Coruña. España. Disponible en: http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/temperatura/sensacTermica0.htm
- [60] Agencia Estatal de Meteorología, Gobierno de España, disponible en: <http://www.meteoxativa.es/SensacionTermicaPorFrio-Calor-AEMET.pdf>
- [61] Climatología en nuestro planeta. Unidad de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Física. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de la República, Iguá 4225 11400 Montevideo – Uruguay. 2016. Disponible en: http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico_climatologia_2016/Tema4_climatologia2016_final.pdf

[62] Tendencias de las telecomunicaciones. Las condiciones meteorológicas sí afectan a las redes Wi-Fi. REVISTA ELECTRÓNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y CULTURA. ISSN 2174-6850. http://www.tendencias21.net/Las-condiciones-meteorologicas-si-afectan-a-las-redes-Wi-Fi_a14190.html

[62] Ciclo hidrológico. Unidad de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Física. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de la República, Iguá 4225 11400 Montevideo – Uruguay. 2016. Disponible en: http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico_climatologia_2016/Tema5_climatologia2016_clase.pdf

[63] AYC - Maribel Castaño Fernández y Mariluz Castaño Fernández (IES R. Menéndez Pidal). Aula virtual. Plataforma de Teleformación de la Intranet Educativa Municipal. Atmósfera y clima. La Coruña. España. Disponible en:

http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/presion/comoinfluye.htm

[64] Dr. Ab. Ing. Freddy Villao, Ph.D. Coeficiente de correlación de Pearson. Material sobre METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN. Maestría en Telecomunicaciones MET4. FIEC. Guayaquil, Octubre 2014, Disponible en el Sidweb de la ESPOL.

[65] Neuman, W. L. Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches. United States: Pearson Education Inc. 2006.

[66] Ana María Lara Porras. Tratamiento Informático mediante SPSS. Técnicas Multivariantes. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Centro de Formación Continua. Universidad de Granada. España. 2a edición. Disponible en: <http://www.ugr.es/~curspss/archivos/introduccion/Tr-In-Esta.pdf>

[67] María Dolores Martínez Miranda. Análisis de la Regresión a través de SPSS. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Centro de Formación Continua. Universidad de Granada. España. 2a edición. Disponible en: <http://www.ugr.es/~curspss/archivos/Regresion/TeoriaRegresionSPSS.pdf>

[68] Manual del usuario del sistema básico de IBM SPSS Statistics 19. Disponible en: [http://www.cs.bme.hu/~kela/SPSSStatistics%20\(E\)/Documentation/Spanish/Manuals/IBM%20SPSS%20Statistics%202019%20Core%20System%20User's%20Guide.pdf](http://www.cs.bme.hu/~kela/SPSSStatistics%20(E)/Documentation/Spanish/Manuals/IBM%20SPSS%20Statistics%202019%20Core%20System%20User's%20Guide.pdf)

[69] Guía de Prácticas Meteorológicas, Adquisición y Proceso de datos, Análisis, Predicción y otras aplicaciones, Organización Meteorológica Mundial, OMM-Nº 168, ISBN 92-63-30168-9. Quinta edición, 1994.

ANEXOS

ABREVIATURAS

NI	National Instruments
USRP	Universal Software Radio Peripheral
SDR	Software Defined Radio
RF	Radio Frequency
VI	Virtual Instruments
PPM	Partes por millón
TCXO	Temperature Compensated Crystal Oscillator
T	Temperatura en el ambiente
HR	Humedad relativa
RS	Radiación solar
ST	Sensación térmica
AT	Atenuación de la potencia recibida
R	Coeficiente de correlación de Pearson, el cual determinar si existe relación entre dos variables investigadas.
T vs P	Relación entre la temperatura en el ambiente con la potencia recibida
HR vs P	Relación entre la humedad relativa con la potencia recibida
RS vs P	Relación entre la radiación solar con la potencia recibida
ST vs P	Relación entre la sensación térmica con la potencia recibida

GLOSARIO

Atenuación Real	La atenuación real en un enlace inalámbrico se la puede observar mediante la caída de potencia en la señal que se transmite.
Atenuación estimada	Se la calcula mediante las ecuaciones desarrollada de los modelos de la UIT
Correlación	La correlación me indica si existe algún tipo de relación entre dos variables.
Estaciones meteorológicas	Las estaciones meteorológicas nos sirven para censar las variables ambientales y el ente que recoge todos sus datos es el INAMHI.
Lenguaje G	El lenguaje G es gráfico y trabaja mediante bloques de librerías, más conocido como LabVIEW.
Open source	Herramientas de libre acceso que se encuentra en la nube de forma gratuita.
Registrador	El registrador es el dispositivo USB en donde se graban todos los sucesos de lluvias que ingresan a los pluviómetros que están instalado a lo largo del enlace inalámbrico punto a punto. También es llamado registrador de datos.
Vientos alisios	Son vientos que recorren toda la zona Tórrida y es uno de los factores significativos que determina el comportamiento del clima de la zona.