



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

TESIS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
ANTISÍSMICO PROTOTIPO PARA ANTENAS DE
RADIOENLACE

PRESENTADA POR EL BACHILLER:

TULIO BRIAN UBILLÚS RODRÍGUEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

LIMA-PERÚ

2016

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud, ser el manantial de vida, darme lo necesario para seguir adelante día a día y lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que todo, por su amor. A mi padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante. A mi hermana por ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles y a todos aquellos que ayudaron directa o indirectamente a realizar esta investigación o proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco encarecidamente, a mis padres por su apoyo incondicional, a mis maestros de la Universidad, a mis exigentes y buenos asesores el Ing. Mg. Núñez Mori, el Ing. Yvan Álvarez, el Ing. Martín Soto Córdova, el Ing. Alejandro Ormea Díaz, el Ing. Sergio Martínez y también a los trabajos de investigación de los profesores no mencionados.

A mis profesores y compañeros por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales, y para este trabajo, por transmitirme los conocimientos obtenidos y llevado pasó a paso en el aprendizaje de esta maravillosa profesión.

RESUMEN

La presente tesis denota el diseño y construcción de un sistema de calibración y auto-estabilización para antenas de microondas en radioenlaces para obtener buenos resultados en la conservación de su línea de vista ante los movimientos sísmicos que existen actualmente en las zonas de mayor movimiento telúrico. La finalidad del trabajo consiste en plantear una primera etapa para construcción de un sistema de sujeción rotacional para las antenas de microondas; demostradas a través de un prototipo a escala. Este producto consta de servomotores y sensores de rotación, movimiento y brújula (giroscopio con acelerómetro y brújula), así como un Arduino UNO y un Arduino Nano; el Arduino UNO controla los servomotores (que permiten la rotación) y recibe información de vectores del giroscopio como pulsos digitales de señal, a su vez, recibe información del Arduino Nano, quien controla y recibe la información de la brújula, los cuales toman puntos de coordenadas que permitirán ser destinados luego para la automatización y optimización de la conservación de línea de vista de la antena directiva en cuestión. Involucrándose en la implementación de las antenas de radioenlaces de telefonía móvil en un futuro o en una segunda etapa. Puesto que, éstas se van “descalibrando” por las continuas vibraciones de los movimientos sísmicos y la fuerza del viento, desajustando así los ángulos de visión previamente calculados. Mejorando u optimizando la señal en medida considerable a los usuarios terminales. También el sistema incluye una aplicación para celulares inteligentes que permitirá monitorear los ángulos de azimut y elevación que arrojan los sensores durante la calibración de los mismos.

ABSTRACT

This thesis denotes the design and construction of a system calibration and self-stabilization for microwave antennas in radio links for good results in the conservation of their line of sight to the earthquakes that currently exist in the areas of major temblor. The purpose of the work is to propose a first step to building a system of rotational restraint microwave antennas; demonstrated through a scale prototype. This product consists of servo motors and sensors rotation, movement and compass (gyroscope with accelerometer and compass), and Arduino UNO and Arduino Nano; the Arduino UNO controls the servo motors (allowing rotation) and receives information from vectors gyroscope and digital pulse signal, in turn, receives information from the Arduino Nano, who controls and receives information from the compass, which take points coordinates that will be allocated later for the automation and optimization of conservation line of sight of the directional antenna in question. Engaging in the implementation of radio link antennas mobile phone in the future or in a second stage. Since these will "loosening" by the continuous vibrations of earthquakes and strength of seeing and loosening precalculated angles vision. Improving or optimizing the signal to terminal users in considerable extent. The system also includes an application for smart phones that will monitor the azimuth and elevation angles thrown by the sensors during calibration of them.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Índice general.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	x
Capítulo I: El problema.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	1
1.3. Alcance y limitaciones.....	2
1.4. Justificación de la investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	3
Capítulo II: Marco Teórico.....	5
2.1. Antecedentes (Estado del arte).....	5
2.1.1. Trabajos relacionados.....	5
2.1.2. Sucesos sísmicos en el Perú.....	12
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Radiocomunicación por microondas.....	16
A. Características de un radioenlace.....	17
B. Patrón de radiación de un reflector parabólico.....	19
C. Polarización.....	21
D. Ancho de banda.....	24
E. Error de rendimiento.....	24
F. Distancia.....	24
G. Seguridad.....	25
H. Costo.....	25
I. Zona de Fresnel.....	25
J. Atenuación y propiedades ópticas de las ondas de radio.....	29
K. Backhaul.....	53
L. Regulación de frecuencias.....	63
M. Aplicaciones.....	63
N. Ejemplo de una medición en un radioenlace CFIP FODU.....	63

2.2.2. Coordenadas polares en el plano, coordenadas cilíndricas y esféricas en el espacio.....	66
A. Coordenadas polares en el plano.....	67
B. Coordenadas cilíndricas en el espacio.....	69
C. Coordenadas esféricas en el espacio.....	70
2.3. Componentes del sistema antisísmico.....	72
2.3.1. Arduino UNO R3.....	72
2.3.2. Sensor MPU- 6050.....	75
2.3.3. Arduino Nano.....	76
2.3.4. Sensor GY- 88.....	78
2.3.5. Motor Shield.....	79
2.3.6. Servo motor TowerPro MG996R.....	80
2.3.7. Servo motor CYS- S8218.....	81
2.3.8. Módulo Bluetooth HC-05.....	83
2.3.9. Módulo Bluetooth 4.0 BLE (HM-10).....	85
Capítulo III: Marco metodológico.....	88
3.1. Metodología para el análisis y diseño de la solución propuesta de solución.....	88
3.1.1. Etapa de dimensionamiento de componentes.....	99
3.1.2. Etapa de diseño de soportes y chasis.....	102
3.1.3. Etapa de diseño circuital y conexiones.....	104
3.1.4. Etapa de programación del funcionamiento del circuito.....	104
3.2. Metodología para el estudio de la factibilidad (viabilidad) de la solución.....	106
3.2.1. Costos de Inversión.....	106
A. Costos de RRHH.....	106
B. Costos de equipos.....	108
C. Costos de equipos de protección de personal y herramientas.....	110
D. Costos de componentes y materiales de producción.....	111
E. Costos de software.....	113
F. Costos de infraestructura.....	114
G. Costos otros.....	115
H. Costo total en tiempo de inversión.....	116
3.2.2. Costos de operación.....	116
3.2.3. Costos de mantenimiento.....	118
3.2.4. Análisis de costos – resumen.....	118
3.2.5. Análisis de beneficios – tangibles.....	119
A. Probabilidades de adquisición de los productos por operadoras.....	124

B. Probabilidades de ahorro de operadoras por remoción o mantenimiento de las antenas actuales.....	127
3.2.6. Análisis de beneficios – intangibles.....	128
3.2.7. Análisis de beneficios – resumen.....	130
3.2.8. Análisis de sensibilidad.....	131
A. Flujo de caja.....	131
B. Cálculo de VAN-TIR.....	131
Capítulo IV: Aspectos administrativos.....	133
4.1. Presupuesto.....	133
4.2. Cronograma de actividades.....	134
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	136
5.1. Conclusiones.....	136
5.2. Recomendaciones.....	137
Bibliografía.....	138
Glosario.....	142
Anexos.....	144
A. Programación del Arduino UNO.....	144
B. Programación del Arduino NANO.....	147
C. Programación de la APP en MIT App Inventor 2.....	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1.1: Diagrama porcentual de la tabla 1.1.....	15
Figura 1.2: Patrón de radiación de una antena con reflector parabólico a 1500Mhz, 25dB, 1.4 de ROE y 11° de anchura de haz.....	20
Figura 1.3: Diagrama de radiación de una antena con reflector parabólico en Feko.....	20
Figura 1.4: Antena para microondas terrestre.....	20
Figura 1.5: Una onda electromagnética con polarización lineal vertical.....	23
Figura 1.6: Elementos de la zona de Fresnel.....	26
Figura 1.7: Radio LOS y Optical LOS.....	28
Figura 1.8: Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas.....	30
Figura 1.9: Refracción en una frontera plana entre dos medios.....	33
Figura 1.10: Refracción de un frente de onda en un medio gradiente.....	35
Figura 1.11: Reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios.....	35
Figura 1.12: Principio de Huygens.....	38
Figura 1.13: Atenuación por gases y vapores atmosféricos.....	39
Figura 1.14: Enlace de microondas en presencia de lluvia.....	44
Figura 1.15: Pérdidas de dispersión por lluvia y niebla.....	45
Figura 1.16: Atenuación por vegetación.....	46
Figura 1.17: Parámetros de pérdidas contra frecuencia para un cable coaxial.....	47
Figura 1.18: Pérdidas contra frecuencia para un cable coaxial (con aire como dieléctrico).....	48
Figura 1.19: Pérdidas contra frecuencia para diferentes tipos de guías de onda.....	49
Figura 1.20: Esquema de una red backhaul celular-satelital.....	54
Figura 1.21: Una red de retorno en la arquitectura MNO.....	57
Figura 1.22: Tipos de sistemas FODU CFIP y sus puertos.....	59
Figura 1.23: Diagrama de aplicación de la línea de productos CFIP.....	60
Figura 1.24: Eje de coordenadas cartesianas.....	67
Figura 1.25: Eje de coordenadas polares.....	69
Figura 1.26: Eje de coordenadas cilíndricas.....	70
Figura 1.27: Eje de coordenadas esféricas.....	71
Figura 1.28: Vista frontal del Arduino UNO R3.....	73
Figura 1.29: Diagrama esquemático del Arduino UNO R3.....	74

Figura 1.30: Sensor MPU-6050.....	75
Figura 1.31: Circuito montado en un Arduino UNO con un sensor MPU-6050, para detectar las vibraciones en 3era dimensión.....	76
Figura 1.32: Arduino Nano.....	77
Figura 1.33: Sensor GY-88.....	78
Figura 1.34: Motor Shield para Arduino.....	80
Figura 1.35: Servomotor TowerPro MG996R.....	81
Figura 1.36: Servomotor CYS-S8218.....	82
Figura 1.37: Módulo Bluetooth HC-05.....	83
Figura 1.38: Conexiones de módulo Bluetooth al Arduino UNO.....	84
Figura 1.39: Módulo Bluetooth 4.0 BLE.....	86
Figura 2.1: Diagrama de bloques del proyecto.....	89
Figura 2.2: Antena VHLP1-23.....	91
Figura 2.3: Rango de supervivencia a las fuerzas del viento a una velocidad de viento.....	91
Figura 2.4: Dimensiones de la antena VHLP1-23 y la información de montaje.....	92
Figura 2.5: División de montaje de equipo de microondas – instalación.....	93
Figura 2.6: Primer ajuste de la antena.....	93
Figura 2.7: Segundo ajuste de la antena.....	93
Figura 2.8: Tercer ajuste de la antena.....	95
Figura 2.9: Futuro montaje de antenas de radioenlace.....	95
Figura 2.10: Broadband Antenna Tracking – BATS Positioning Unit BTS-50000.....	96
Figura 2.11: Componentes de un primer sistema de ajuste manual de Pan y Tilt.....	96
Figura 2.12: Componentes de un segundo sistema de ajuste manual de Pan y Tilt.....	97
Figura 2.13: Componentes de un tercer sistema de ajuste manual de Pan y Tilt con conexión de puerto USB a PC.....	97
Figura 2.14: Componentes de un cuarto sistema de ajuste manual inalámbrico de Pan y Tilt.....	97
Figura 2.15: Diagrama de dimensiones del sistema mecánico de ajuste.....	98
Figura 2.16: Dimensiones de un Arduino UNO R3.....	99
Figura 2.17: Dimensiones de un Arduino Nano.....	100
Figura 2.18: Dimensiones de un sensor MPU-6050.....	100
Figura 2.19: Dimensiones de un sensor GY-88.....	101
Figura 2.20: Dimensiones de un servomotor TowerPro MG-996R.....	101
Figura 2.21: Dimensiones de un módulo Bluetooth.....	102

Figura 2.22: Diseño de los soportes de servos realizado en AutoCAD 2012.....	102
Figura 2.23: Diseño de la maqueta del prototipo del sistema antisísmico realizado mano alzada.....	103
Figura 2.24: Fotografía del prototipo terminado.....	103
Figura 2.25: Diagrama de conexiones del sistema antisísmico realizado en ISIS Proteus 8 Professional.....	104
Figura 2.26: Diagrama de flujo del algoritmo del sistema antisísmico realizado en Microsoft Visio 2010.....	105
Figura 2.27: Gráfico estadístico de proporción de cantidad de antenas región nivel nacional.....	119
Figura 2.28: Mapa de zonificación preliminar para el Perú a partir de la frecuencia intensidad de los sismos ocurridos entre 1964 – 2000.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1.1: Tabla cronológica de algunos sucesos sísmicos en el Perú.....	13
Tabla 1.2: Bandas de frecuencia de enlaces microondas y separación entre antenas, según la UIT.....	18
Tabla 1.3: El 60% de la primera zona de Fresnel.....	27
Tabla 1.4: Coeficientes de atenuación específica para polarización horizontal (h) y polarización vertical (v).....	43
Tabla 1.5: Potencia máxima de transmisión recomendada y niveles de atenuación en guías de onda rectangulares.....	51
Tabla 1.6: Estándares para guías de onda circulares (Sistema IEC) con sus niveles teóricos de atenuación.....	51
Tabla 1.7: Estándares para guías de onda elípticas (Sistema EIA) con sus niveles teóricos atenuación.....	53
Tabla 1.8: Especificaciones técnicas de la serie CFIP.....	62
Tabla 1.9: Relación típica de RSL frente a los niveles de tensión de salida.....	65
Tabla 1.10: Datos técnicos del servomotor CYS-S8218.....	82
Tabla 1.11: Cuadro de comandos AT para el HC-05.....	85
Tabla 1.12: Clasificación de las fuerzas del viento a una velocidad de viento de	

supervivencia.....	92
Tabla 1.13: Costos de inversión de personal.....	107
Tabla 1.14: Costos de inversión de equipos.....	109
Tabla 1.15: Costos de inversión de EPPs y herramientas.....	111
Tabla 1.16: Costos de componentes y materiales de producción.....	112
Tabla 1.17: Costos de software.....	114
Tabla 1.18: Costos de infraestructura.....	114
Tabla 1.19: Costos otros.....	115
Tabla 1.20: Costo total en tiempo de inversión.....	116
Tabla 1.21: Costo total de operación.....	117
Tabla 1.22: Costo total de mantenimiento.....	118
Tabla 1.23: Costo total – resumen.....	118
Tabla 1.24: Estado de las estaciones base en el Perú.....	121
Tabla 1.25: Antenas instaladas en las estaciones base celulares según tecnología.....	122
Tabla 1.26: Cuadro de porcentajes de antenas instaladas por operadoras en 4 regiones.....	124
Tabla 1.27: Cuadro de estimaciones de instalación de BTS por operadoras en 4 regiones.....	125
Tabla 1.28: Cuadro de estimaciones de ventas de los sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas a las operadoras en el primer año.....	126
Tabla 1.29: Cuadro de gastos por instalación, remoción y mantenimiento de una antena de microondas.....	127
Tabla 1.30: Cuadro de beneficios – resumen.....	130
Tabla 1.31: Cuadro de análisis para flujo de caja.....	131
Tabla 1.32: Cuadro de flujo de caja – resumen.....	132
Tabla 1.33: Presupuesto de tesis.....	133
Tabla 1.34: Cronograma de Actividades hecho en MS Project 2013.....	135

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el campo de las telecomunicaciones existen diferentes factores que determinan el buen desempeño de las redes de acceso. En este caso se evalúa el campo de las microondas, centrándose en la parte de sujeción de las antenas, puesto que este tipo de fijaciones de las mismas a las torres tienen un progresivo desajuste por diferentes factores, siendo uno de los investigados en esta tesis el de movimientos sísmicos, ocasionando así en un largo período de tiempo, dificultades en la transferencia de información punto a punto por desajuste, involucrándose en la pérdidas de su línea de vista.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se ha podido precisar en las transmisiones de información en el campo de telefonía móvil (comunicación entre BTS, que se realiza vía microondas), que se producen en los sistemas de radio enlace debido a los fenómenos naturales el caso de los movimientos telúricos o sísmicos, los cuales ocasionan los perjuicios siguientes:

- La pérdida de calibración en la transmisión de señales electrónicas entre los receptores y transmisores.

- La pérdida de la línea de vista entre las antenas; Ya que éstas necesitan un enlace punto a punto lo más exacto posible, debido a su fino ancho del diagrama direccional.

1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES

El proyecto de investigación tiene como alcance llegar a demostrar los conocimientos adquiridos en la universidad, tocando temas involucrados a las telecomunicaciones así como en la parte electrónica. Por parte del Bachiller autor se planteó ver temas de Antenas y Radio-propagación, Microcontroladores y Microprocesadores, Control, Sistemas de Microondas y Vía Satélite, Telecomunicaciones, Telefonía Fija y Móvil, y Comunicaciones Inalámbricas; los cuales se tocan según el marco teórico por el trabajo.

Se logró diseñar teóricamente y con fundamentos un prototipo de un sistema antisísmico, demostrando su funcionamiento, la confiabilidad y su eficiencia ante la problemática principal de las perturbaciones al diagrama direccional de las antenas de microondas pequeñas (30.48cm a 61cm de diámetro en el disco), simulando así su utilización para la comunicación entre estaciones base de telefonía móvil, logrando así los objetivos establecidos de la investigación.

En las limitaciones, se tiene que no se pudo llegar a realizar a una escala superior para antenas de mayor diámetro en el plato reflector (mayor de 61cm), ya que por motivos de presupuesto del prototipo no se pudieron adquirir mejores componentes electrónicos (servomotores de mayor torque con más de 40kg-cm), probar con una antena de microondas real, conseguir trabajar en una cámara anecoica (donde se pueden analizar mejor a las antenas, por su anulación de campos externos y donde su campo electromagnético interno es nulo), o conseguir prestación para probar implementarlo en las torres de telefonía móvil.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El mercado de las telecomunicaciones es cada vez más competitivo, no solo a nivel nacional también a nivel mundial ya que año tras año surgen nuevas tendencias tecnológicas, nuevas marcas, novedosos diseños además que las compañías de manufactura de equipos de telecomunicaciones están reduciendo costos ya sea en materiales, transporte, logística, mano de obra, y procesos. Los aspectos antes mencionados derivan en un ambiente de competencia total en el que se deben tener el mínimo de desperdicio (en todos los aspectos) para estar vigente en este mercado, pero que también deben considerar las amenazas externas a sus equipos.

En este proyecto de tesis se toma como principal factor, el efecto de las perturbaciones en los equipos de telefonía móvil, antenas de microondas, que son ocasionados muchas veces por fenómenos naturales como los temblores o el terremoto, ocasionando así que las antenas y los equipos se dañen o desconfiguren, ya sea en la calibración de las antenas como en el software de los equipos dentro de los gabinetes de la estación base móvil, provocando así que los usuarios de telefonía móvil se queden muchas veces sin señal y de este modo se suspenda su comunicación móvil.

1.5. OBJETIVOS

El objetivo del proyecto en el mercado de las telecomunicaciones es poder establecer un control automático de posición en las antenas de microondas para optimizar su línea de vista en los enlaces microondas entre BTS o torres de estaciones base, que es imprescindible en la propagación terrestre, ya que con ellos se podrá evitar en gran medida las perturbaciones en la transmisión aérea, debido a los sismos.

Lograr manipular la línea de vista de la antena de microondas. Automatizar y captar la mejor ganancia de la antena (ODU), logrando así optimizar la transmisión y la recepción de la misma, simulándose de esta manera (a través del prototipo) para los radioenlaces de telefonía móvil, de las cuales se está tratando.

Plantear la reducción de costos a las empresas operadoras de telefonía móvil, mediante el ahorro de la reducción de contratación a un personal adicional para la remoción y mantenimiento de las antenas de microondas en sus sistemas actuales y futuros de radioenlace.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE)

2.1.1 TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación se mencionan los trabajos de investigación (resúmenes) que presentan alguna relación con la presente investigación, así como su importancia para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Tesis 1: Modelado y Simulación de Técnicas de Conformación de Haz para Antenas Inteligentes por el Ing. César González Cervantes (Cervantes, 2004)

Las antenas inteligentes, reciben este particular nombre debido a su característica física de tener la capacidad de adaptar la forma de su patrón de radiación del espectro radioeléctrico. Estas antenas de tipo la consisten en un arreglo de antenas, que adaptan como su nombre indica, el patrón de radiación del mismo de acuerdo al ruido, interferencia y trayectorias de diferentes señales para ser ajustadas a diferentes usuarios con un equipo móvil. (Cervantes, 2004)

“La idea es, básicamente, ensanchar la señal emitida por los teléfonos móviles, en el espectro de frecuencias, mediante el uso de un código único que puede revertir el ensanchamiento en recepción. Así, cuanto más se ensancha la señal, se requiere menos potencia, pero esta se ve más afectada por las interferencias, es más débil. En estos casos, se

usa un factor de ensanchamiento muy alto. Esta situación es la que se da cuando se mantiene una conversación.” (Cervantes, 2004)

“Por su parte, las antenas usadas en esta investigación para las estaciones base son antenas adaptativas. Esto significa que estas antenas son capaces de seguir al usuario en su camino variando su orientación, ganancia y directividad. Conforman un haz estrecho que minimiza las interferencias y aumenta la capacidad del sistema. Para poder efectuar la gran cantidad de procesamiento que estas antenas realizan, están dotadas de DSP's o procesadores digitales de señal.” (Cervantes, 2004)

De la tesis anterior se extrae la importancia de la polarización de las antenas, como principal factor de propagación de las mismas, ya que éstas necesitan un haz o patrón de radiación que es el que transporta como un canal o forma de propagación electromagnética, para que las antenas puedan solo transmitir, solo recibir, o transmitir y recibir a la vez su información; Así mismo, se tiene en cuenta que dicho haz estrecho se puede modificar, variando el posicionamiento de las antenas, involucrándose en su ganancia recibida.

La investigación realizada por el Ing. Cervantes se relaciona con la presente investigación, en cuando nos permite reconocer e identificar diferentes métodos para realizar la polarización de las antenas, destacando en su caso, el uso de procesamiento de señales para la modificación del patrón de radiación que es parte de la polarización de la antena, optimizando así la transmisión y recepción de la señal vía aérea. En este caso se utilizará el procesamiento de señales vía software a nuestro controlador Arduino UNO.

Así mismo, se dedujo que de la tesis mencionada anteriormente no se ha hecho mención en las conclusiones ni en las recomendaciones, ningún aspecto relacionado en concreto con la presente investigación.

Tesis 2: Diseño y construcción de un (PLC) Control Lógico Programable basado en la tecnología del microcontrolador. (Renato Barrera Cubias, 2004)

Se inicia con un estudio de factibilidad que presenta, desarrolla y analiza la idea de producir en el país de El Salvador una cantidad de PLC (Programming Logic Control) de bajo costo, fácil de programar, de reproducir y de utilizar. Para ello se estudia la aplicación del software utilitario (MPASM y GPASM) necesario para ensamblar los códigos fuentes (drivers del PLC) y posteriormente se revisa la programación del microcontrolador en los ambientes de trabajo LINUX y WINDOWS. (Renato Barrera Cubias, 2004)

“El software de programación ha sido diseñado de una forma modular, de manera que se pueden configurar diferentes aplicaciones según sea el caso. Cada módulo, haciendo uso de un interfaz gráfica, presenta una ventana diferente en donde se puede seleccionar los parámetros de entrada y/o de salida, además de configurar el hardware con el que se interactúa, utilizando esta información se genera un archivo fuente con extensión .ASM con los parámetros seleccionados que posteriormente es compilado y transferido al PLC.” (Renato Barrera Cubias, 2004)

De la tesis anterior (tesis 2), se destaca la importancia de los controladores lógicos programables, ya sea PLC u otros como el Arduino, que nos ayudan a proveer sus entradas y salidas, como variables de manipulación del procesador, que nos permite sacar provecho de la potencialidad o utilidad, del microcontrolador; Gracias también a la programación que se realiza en este caso (lenguaje Processing), estableciendo órdenes I/O en nuestro Arduino.

En relación a la presente investigación se puede manifestar que el uso de controladores y adquiridores de datos, como el PLC o en este caso el Arduino UNO, permite maniobrar la antena gracias a también a que en las salidas del controlador se encuentran los servomotes que se incluyen en el sistema de tracking o rastreo; que se detalla más adelante en

capítulo 2 y 3. También se pudo concluir que de la tesis anterior, no guarda relación en concreto con la tesis presentada o actual.

Tesis 3 (Traducido del inglés- Abstract): Antena Multi-beam Digital para radar, comunicaciones, y seguimiento UAV basado en tecnologías inalámbricas Off-The-Shelf (Fuera de la Plataforma).
(Gezer, 2006)

Hoy en día, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) han comenzado a ser visto en nuestra vida más frecuencia que antes. Los UAVs evitan la pérdida de la vida del piloto. Llevan a cabo una variedad de militares y misiones civiles tales como vigilancia y reconocimiento, reconocimiento del objetivo, el daño de batalla evaluación, búsqueda y rescate, y el monitoreo de tráfico. Un uso importante de la UAV es el apoyo de tropas, llevando a cabo misiones de reconocimiento y vigilancia, que requiere el mantenimiento de un enlace de datos con las tropas con el fin de enviar los datos recogidos, como imágenes de vídeo o audio. (Gezer, 2006)

Durante las operaciones, es necesario mantener continuamente un enlace de datos y control con el operador. Esto requiere la antena de la estación terrestre para rastrear el UAV manera que la antena haz se señaló correctamente. El propósito de esta investigación es diseñar y construir una matriz para el seguimiento de un ángulo-UAV y, eventualmente, para llevar a cabo la transferencia de datos desde el UAV a la estación de tierra. (Gezer, 2006)

De la tesis anterior (tesis 3), se destaca el desempeño de los controladores de servomotores, que permiten la variación del posicionamiento de las antenas, posibilitando así el seguimiento del objetivo, que en el caso mencionado es un UAV (vehículo aéreo no tripulado), que se denota como un rastreo de la señal que envía el dron a la antena microondas.

En relación a la presente investigación se pone en manifiesto que los sistemas de tracking o rastreo, se aplican tanto en el ámbito militar como en el comercial o privado, que en este caso (del proyecto) se aplica a la comunicación entre estaciones base de telefonía móvil de las empresas de telefonía. El sistema de rastreo será aplicado a ambas antenas para así lograr la mejor comunicación de radioenlace, entre estas. También se puede mencionar que la tesis anterior, no guarda relación en concreto con la tesis presentada o actual.

Artículo 1 (traducido del inglés): Sistema de posicionamiento de antenas para radiofrecuencia (RF) y mediciones en antenas de microondas. (J. T. Anderson, 2010)

Recientemente, el equipo de prueba de microondas en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación (ECE) en la Universidad del Estado de Dakota del Norte (NDSU) fue aumentado de manera significativa. Un nuevo Agilent E5071C 8,5 GHz serie ENA analizador de red y una cámara anecoica eran dos piezas principales añadidos al laboratorio. Esta actualización requiere el desarrollo de un sistema de medición de antena (AMS) que podría ser usado para medir el comportamiento de campo lejano (es decir, patrones de campo) de una antena. (J. T. Anderson, 2010)

El grupo de desarrollo y montaje de una AMS estuvo formado por personas mayores de ECE. Este equipo diseñado involucra un sistema que utiliza AMS LabVIEW para interactuar con el analizador de red Agilent y una estructura que gira la antena tanto en el plano vertical y horizontal. El costo de la AMS es de aproximadamente 10% del coste de los sistemas comercialmente disponibles, con lo que el sistema es atractivo para los programas con un presupuesto limitado. (J. T. Anderson, 2010)

Un AMS mide dos propiedades principales de una antena: diagramas de radiación e impedancia de entrada. Al medir el patrón de radiación de una antena, un diseñador es capaz de determinar el rendimiento de la antena en el espacio que rodea la antena (este espacio es por lo general aire). A partir de esta información, la dirección de la antena está radiando la mayor potencia puede determinarse, así como la cantidad de energía que realmente está radiada por la antena (es decir, la ganancia) y cuánto se está perdiendo en el material utilizado para la construcción de la antena. El AMS también se puede utilizar para medir la impedancia de entrada de la antena. Si se hace correctamente, esta medida da lugar a un valor que representa la impedancia de entrada del elemento aislado antena y no incluye la influencia de la red de alimentación de la antena. Este valor es útil para el diseño adecuado de la entrega eficiente de la energía a la antena por un transmisor o la entrega eficiente de la energía por la antena a un receptor. El AMS consta de tres componentes principales: Posicionador de antena, analizador de red, y el ordenador. (J. T. Anderson, 2010)

En relación a la tesis en cuestión se manifiesta que los sistemas de posicionamiento, calibración y rastreo de señal, ayudan a mejorar el desempeño de la comunicación, tanto en radiofrecuencia como en microondas; Permitiendo así tomar en esta investigación, conceptos de radioenlace para la medición óptima de la señal y ganancia de la antena en recepción, ayudando a desarrollar el marco metodológico de la presente investigación. Así mismo, se observó que del artículo mencionado anteriormente no se hace mención en las conclusiones ni en las recomendaciones, ningún aspecto relacionado con la presente investigación.

Artículo 2 (traducido del inglés): Adaptación de los sistemas de posicionamiento de antenas para el seguimiento automatizado.

(Meier, 2015)

Muchos sistemas de antena Moon bounce existentes se pueden adaptar para el seguimiento automatizado. En este documento se presentan ideas para adaptar nuevos sistemas existentes y su planificación. El sistema, utiliza un plato de 3 metros de diámetro, opera tanto manual como automáticamente. El seguimiento automatizado se utiliza para todas las operaciones On-the-Air (En el aire). La capacidad de control manual proporciona la conveniencia para la prueba. Las pantallas independientes han demostrado redundancia. Diseñar específicamente para el seguimiento automatizado retiene el control y la capacidad de visualización. (Meier, 2015)

Los sistemas de posicionamiento de la antena de seguimiento lunar existentes son generalmente de la elevación sobre azimut (AZ-EL) tipo en el que dos movimientos giratorios ortogonales combinan para dirigir un haz de antena en el cielo. La montura polar o ecuatorial, utilizada con estaciones terrenas de satélite y telescopios, tiene la ventaja de tener sólo para girar un eje para un pase de seguimiento particular. La automatización del sistema de posicionamiento AZ-EL será discutido en este trabajo debido a su similitud y consideraciones prácticas, tales como la disponibilidad de software. (Meier, 2015)

Con el fin de realizar el seguimiento del objeto lunar u otro celestial, su posición debe ser adquirido, ya sea usando un sensor o calculado a partir de datos de efemérides o algoritmo. Los sensores proporcionan seguimiento manual positivo, pero se deben obtener y mantener la visibilidad del sensor. Si el sensor es el ojo humano o la cámara de televisión, los cielos nublados le impiden la adquisición y el seguimiento. La alternativa, el posicionamiento usando la posición calculada lunar, funciona bien sin tener en cuenta las condiciones de observación. Tal sistema debe calibrarse cuidadosamente para asegurar la precisión y mecánicamente estable para asegurar la precisión. (Meier, 2015)

Del artículo anterior, traducido del inglés, se destaca la importancia del posicionamiento de antenas para mejorar el desempeño de las antenas

en su potencia de Tx o Rx, que permitirá a los amplificadores de señal una mejor medición y análisis de campo lejano en los equipos en cuestión, en este caso de recepción satelital (lunar). La importancia del uso de sensores en las calibraciones. Permitió establecer vínculos de lógica sensorial para consideración en el desarrollo de la tesis en argumento.

Así mismo, se dedujo que del artículo mencionado anteriormente no se hace mención en el contenido de ningún aspecto en concreto relacionado con la presente investigación.

Si bien se observó que los trabajos de investigación antes mencionados, tocan temas relacionadas a la tesis actual; no guarda relación directa con el trabajo de investigación que se desarrolló, no haciéndose mención en las conclusiones ni en las recomendaciones.

2.1.2 SUCESOS SÍSMICOS EN EL PERÚ

En nuestro continente existen placas continentales que al entrar en fricción y descompensación entre sí producen movimientos telúricos. Nuestro país es uno de los países que se encuentran en el “cinturón de fuego del pacífico” (zona de subducción). Es por esto, que en el Perú han quedado registrados algunos de los más grandes terremotos, no solo por la cantidad de pérdidas humanas y materiales, sino por los grados de magnitud en los que se han presentado. Perjudicando ya desde algunos años, así mismo, al servicio de comunicación móvil, puesto que también éstos sistemas de multiplexación de abonados se ven afectados por el exceso de llamadas de los usuarios creando un tráfico muy alto, mayor al permitido por el ancho de banda prestado y adquirido por parte de los operadores móviles.

En la tabla siguiente se muestran los sucesos sísmicos, cronológicamente, más importantes que ha habido en el transcurso de los años en nuestro país, y sobre todo han repercutido también en las telecomunicaciones, considerablemente.

Tabla 1.1: Tabla cronológica de algunos sucesos sísmicos en el Perú.

Fecha	Magnitud	Nombre	Epicentro	Zonas Afectadas	Víctimas y daños materiales
24 de agosto, 2011	7.1 Mw	Pucallpa (Terremoto del Perú de 2011)	44 km. al sur de Contamana Ucayali	Centro del Perú. Percibido en Ecuador, Colombia, Brasil y Bolivia.	03 muertos, 70 heridos, de ellos 28 en la ciudad de Tarma. Se reportaron deslizamientos y derrumbes de cerros en Junín, Pasco, y Huánuco, siendo los más importantes los que afectaron el pueblo de Monobamba en Junín y la carretera Aguaytia-Pucallpa, se observaron derrumbes menores en La Merced y Pichanaki, corte prolongado de energía eléctrica y telecomunicaciones , se evidenció licuefacción de suelos en Contamana (Loreto) y agrietamiento del suelo en partes de Pucallpa. Sentido fuerte toda la zona oeste hasta llegar pequeños sismos en Lima.
30 de enero, 2012	6.3 Mw	-	47 km al suroeste de Ica	Centro y sur del Perú	224 heridos, 150 casas destruidas, 425 inhabitables y alrededor de 1,800 damnificados. Corte de fluido eléctrico y de las telecomunicaciones en la región Ica, colapso de tuberías de aguas servidas en la ciudad de Ica..

07 de junio, 2012	6.1 Mw	-	19 km al suroeste de Chuquibambilla, Arequipa	Sur del Perú	Daño en las líneas telefónicas , se observó caída de algunos muros de viviendas antiguas y deslizamientos sobre caminos y carreteras.
1 de abril, 2014	8.2 Mw	-	83 kilómetros al noroeste de Iquique, Chile	Sur del Perú, norte de Chile y Bolivia	9 heridos hospitalizados, y 18 leves; varias edificaciones antiguas de adobe colapsados en Tacna, Tarata y Moquegua. Cortes de luz y de telecomunicaciones en Arequipa, Moquegua y Tacna. Tsunami local en toda la costa peruana, causando inundaciones en balnearios cercanos al epicentro. Aparecieron grietas en las viviendas de Desaguadero (Puno). Sentido muy fuerte y prolongado en Tacna y alrededores.
3 de junio, 2014 (16:46)	5.4 ML	-	50 kilómetros al oeste de Chilca Lima	Costa central del Perú	Sentido con nivel IV en Lima, Mala, Callao y Chilca; causó pánico, congestión de líneas telefónicas y derrumbes de piedras en la Costa Verde y el Serpentin de Pasamayo.
24 de agosto, 2014	6.8 Mw	-	60 kilómetros al este de la localidad de Tambo, Ayacucho	Sur del Perú.	El sismo sacudió la tarde del domingo (18h 21m Hora local) la zona centro-sur de Perú, movimiento que logró ser percibido también en regiones del norte de Chile. Se reportan fallas en la telefonía celular y el servicio de electricidad. Hubo daños ligeros en estructuras en Puquio y Cora Cora (V-VI), además de derrumbes en carreteras.

Fuente: (IGN, 2016)

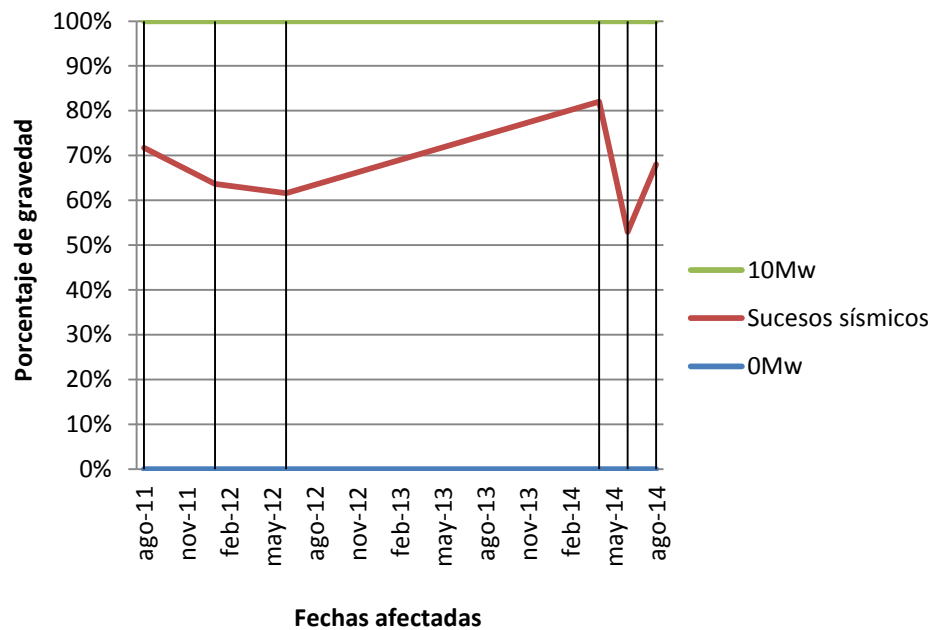


Figura 1.1: Diagrama porcentual de la tabla 1.1. (Autoría propia).

Según la tabla se aprecia que los fallos en la telefonía celular y generalmente en la telefonía se dan ya por los últimos años, y esto es debido a que las telecomunicaciones han ido aumentando con las nuevas infraestructuras, que cada vez se dispersan a lo largo del territorio nacional.

Si bien no se detalla claramente el motivo en estudio, que es el desajuste constante por los continuos movimientos sísmicos e incluso la fuerza del viento que debilita también dicho ajuste de las antenas de microondas, dadas también con una medida de torque específica. Se puede inducir esto ya que todo ajuste manual no es perfecto (por eso las marcas de torque a los ajustes en las tuercas y pernos); Esto involucra el debilitamiento de las infraestructuras que se dan por los repercusiones que traen los fenómenos de la naturaleza (sismos) y que se van progresivamente modificando o alterando.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. RADIOCOMUNICACIÓN POR MICROONDAS

Primero, para poder desarrollar la parte de la estructura de la antena, se basó en el diseño de las antenas con reflector parabólico de microondas para radioenlaces y en diferentes fuentes, como el diseño del haz de la parte de radiofrecuencia y el tipo de frecuencias que ayudarán a mejorar el diagrama direccional y la ganancia de la antena.

Las microondas son ondas muy cortas en el rango superior del espectro de radio usado sobre todo para los sistemas de comunicaciones punto a punto. Mucha de la tecnología se derivó de radar desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial. Inicialmente, estos sistemas llevaban las señales de voz multiplexados más de portadora común y redes de comunicaciones militares; pero hoy en día se puede manejar todo tipo de información, por ejemplo, voz, datos, facsímiles y de vídeo, ya sea en un formato analógico o digital. (América, 2016)

Con los años, estos sistemas han madurado hasta el punto que se han convertido en los principales componentes del público de la nación a la red telefónica conmutada. Las organizaciones privadas las utilizan para satisfacer los requerimientos de comunicaciones internas y supervisar su infraestructura primaria. A medida que crecen los sistemas de comunicaciones celulares y personales de la nación, instalaciones de microondas de punto a punto, que actúa como red de retorno y de Backbone en radioenlaces, permiten que estos sistemas inalámbricos sirvan a las zonas menos pobladas del país sobre una base económica. (América, 2016)

La tecnología actual permite a los usuarios privados emplear frecuencias de microondas para operar y equipos de control en sitios remotos, tales como interruptores y válvulas asociadas con la operación de oleoductos y gasoductos, para recopilar datos relacionados con los servicios, las señales de control de tráfico y obtener datos de peaje se mueva vehículos, así como otras funciones de supervisión. (América, 2016)

Específicamente en el uso de las telecomunicaciones, “la radiocomunicación por microondas se refiere a la transmisión de datos o energía a través de radiofrecuencias con longitudes de onda del tipo microondas. Se describe como microondas a aquellas ondas electromagnéticas cuyas frecuencias van desde los 500 MHz hasta los 300 GHz o aún más. Por consiguiente, las señales de microondas, a causa de sus altas frecuencias, tienen longitudes de onda relativamente pequeñas, de ahí el nombre de <micro> ondas. Así por ejemplo la longitud de onda de una señal de microondas de 100 GHz es de 0.3 cm., mientras que la señal de 100 MHz, como las de banda comercial de FM, tiene una longitud de 3 metros. Las longitudes de las frecuencias de microondas van de 1 a 60 cm., un poco mayores a la energía infrarroja.” (Autores, 2015)

A. CARACTERÍSTICAS DE UN RADIOENLACE

Entre sus principales características, se destaca:

- Son sistemas punto a punto
- Operan en el rango de frecuencia de los Gigahertz.
- La longitud de onda está en el rango de los milímetros (ondas milimétricas).
- Como todas las frecuencias altas, las señales son susceptibles a atenuación, entonces deben ser amplificadas o repetidas.

- Necesitan un ancho de haz estrecho.
- Propagación por línea de visión.
- Susceptible al fenómeno de atenuación multicamino.
- Necesita una zona libre en forma de una elipse (zona de Fresnel).

“Cuando la ruta de las microondas atraviesa por un terreno adecuado para su transmisión sin montañas, edificios o cualquier tipo de obstáculo. Los factores que pueden afectar la señal son de tipo ambiental tales como las atenuaciones en el aire y la curvatura de la tierra. Las frecuencias altas sufren más atenuación que las frecuencias bajas.” (Pereira, 2015)

A efectos prácticos se considera que la propagación se efectúa con visibilidad directa, es decir, con fenómenos de difracción despreciables, si no existe ningún obstáculo dentro del primer elipsoide de Fresnel, señalado más adelante en la figura 1.6.

Más adelante se ven los tipos de atenuación y las propiedades ópticas que influyen en las ondas de radio.

Tabla 1.2: Bandas de frecuencia de enlaces microondas y separación entre antenas, según la UIT.

Bandas de frecuencia (GHz)	Separación típica de antena máxima (km)
2-6	32-48
10-12	16-24
18-23	8-11
28-30	0.6-1.2

Fuente: (Pereira, 2015)

B. PATRÓN DE RADIACIÓN DE UN REFLECTOR PARABÓLICO:

El término de antena parabólica, se da debido a que es un tipo de antena que se caracteriza por llevar un reflector parabólico. Su nombre proviene de la similitud a la parábola generada al cortar un cono recto con un plano paralelo al directriz incidente en su foco donde también se encuentra un detector. (Domínguez, 2015)

“Las antenas parabólicas pueden ser usadas como antenas transmisoras o como antenas receptoras. En las antenas parabólicas transmisoras el reflector parabólico refleja la onda electromagnética generada por un dispositivo radiante que se encuentra ubicado en el foco del reflector parabólico, y los frentes de ondas que genera salen de este reflector en forma más coherente que otro tipo de antenas, mientras que en las antenas receptoras el reflector parabólico concentra la onda incidente en su foco donde también se encuentra un dispositivo detector. Normalmente estas antenas en redes de microondas operan en forma full dúplex, es decir, transmiten y reciben simultáneamente.” (Domínguez, 2015)

Entre unas especificaciones de este tipo de antenas, se menciona lo siguiente:

- Se utiliza especialmente para la transmisión y recepción vía satélite.
- Ganancia alta: 20-30 dB.
- Directividad alta (2Km).
- Ángulo de radiación bajo, apróx 6°. (Domínguez, 2015)

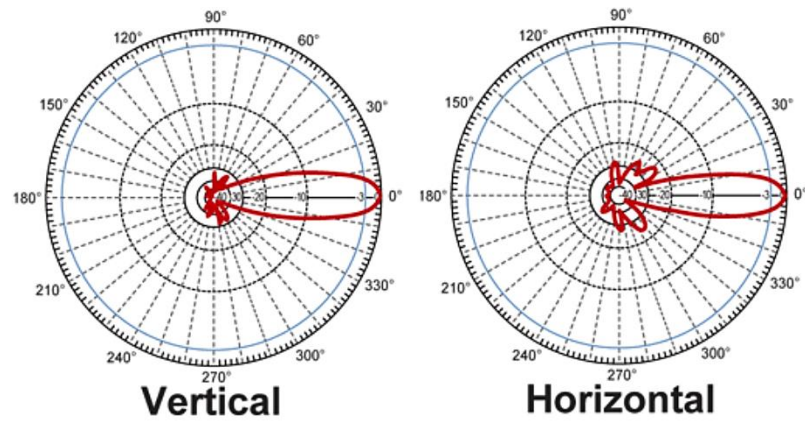


Figura 1.2: Patrón de radiación de una antena con reflector parabólico a 1500Mhz, 25dB, 1.4 de ROE y 11° de anchura de haz (V/H). (Anderson, 2015)

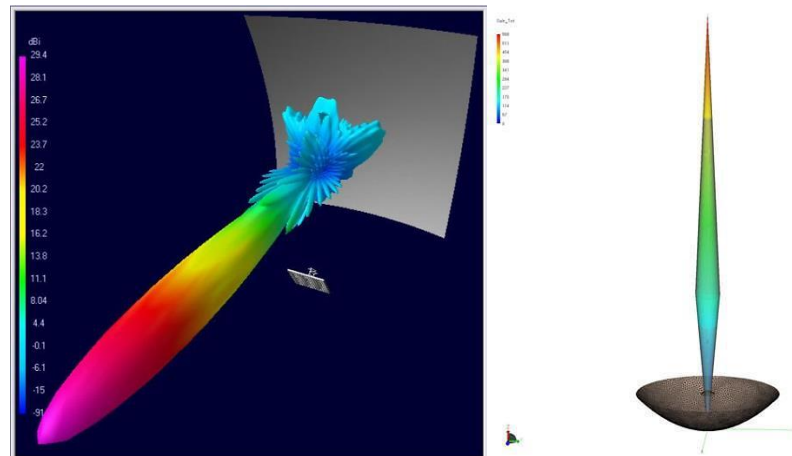


Figura 1.3: Diagrama de radiación de una antena con reflector parabólico en Feko. (MAAM891, 2011)



Figura 1.4: Antena para microondas terrestre. (Inc., CommScope Inc., 2015)

C. POLARIZACIÓN

Se sabe que si una estación transmite una señal de polarización vertical y la estación receptora local utiliza una antena de polarización horizontal, esto dará como resultado una señal que es 20 dB más débil en el receptor de la estación de recepción. Coincidencia de la polarización de es una buena idea para intensidades de señal máxima entre dos estaciones. Cuando se habla de "Skip" (Dxing), se podría pensar que se necesita para asegurarse de que está utilizando la misma polarización que la estación distante para que la fuerza de señal sea máxima. En realidad, podría ser imposible de igualar la polarización de la estación distante, esto se debe a que cuando la señal de "saltos" en la ionosfera (la polarización por lo general se hace girar) en una cantidad aleatoria. (Tomasi, 2003)

Cuando las señales de entrada de polarización se adaptan a su polarización de antenas, se obtiene la potencia de la señal más fuerte posible. Y cuando es 90 grados diferente (es decir, supongamos que su escucha en polarización vertical y la señal está entrando en horizontal) se obtiene la señal más débil posible. A medida que los swaps de polarización entre los que corresponden a su polarización antenas y variando de ella, se oye el "desvanecimiento" de la señal (conocido como "QSB" para los operadores de radio aficionados). A veces se desvanecerá y salir rápido, a veces se va a desaparecer y decir en la fuerza, esta es sólo una condición que causa la decoloración que puede ayudar a eliminar. (Tomasi, 2003)

“Entre los tipos de polarización se destacan los siguientes:

- **Polarización horizontal:** Tipo de polarización en el cual el vector de campo eléctrico se halla en un plano horizontal. (UIT, 2016)
- **Polarización oblicua:** Tipo de polarización en el cual el vector eléctrico tiene una inclinación de 45° con respecto a la horizontal. Este modo puede considerarse como la resultante de dos componentes de igual amplitud y fase, una polarizada horizontalmente y la otra verticalmente. (UIT, 2016)

Se dice que la polarización es dextrógira o levógira, según que el giro de 45° con respecto a la vertical del vector eléctrico de la onda que se propaga, visto desde el punto de transmisión, se produzca respectivamente en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario. (UIT, 2016)

- **Polarización elíptica:** Tipo de polarización en el cual el vector eléctrico gira, describiendo su extremo una elipse. Esta polarización puede considerarse como la resultante de componentes polarizadas vertical y horizontalmente, que difieren en fase y/o amplitud. (UIT, 2016)

Se dice que la polarización elíptica es dextrógira o levógira cuando el vector eléctrico, visto desde el punto de emisión, gira respectivamente en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido inverso. (UIT, 2016)

- **Polarización circular:** Tipo de polarización en el cual la extremidad del vector eléctrico describe un círculo. Esta polarización puede considerarse como un caso particular de polarización elíptica en que las componentes

polarizadas vertical y horizontalmente, de igual amplitud se combinan en cuadratura de fase. (UIT, 2016)

Se dice que la polarización circular es dextrógira o levógira cuando el vector eléctrico, visto desde el punto de transmisión, gira respectivamente en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido inverso. (UIT, 2016)

- **Polarización doble:** Tipo de polarización en el cual la antena irradia componentes de polarización vertical y horizontal, de amplitud sensiblemente igual pero sin relación de fase precisa entre ellas. En general, las fuentes polarizadas vertical y horizontalmente pueden estar desplazadas una de otra, de manera que la polarización resultante esté comprendida entre la polarización circular y la polarización oblicua, en función al azimuth. (UIT, 2016)
- **Polarización mixta:** Este término se aplica a todos los métodos de difusión con componentes polarizadas vertical y horizontalmente. Comprende la polarización oblicua, la polarización elíptica (incluida la polarización circular y la doble polarización). (UIT, 2016)

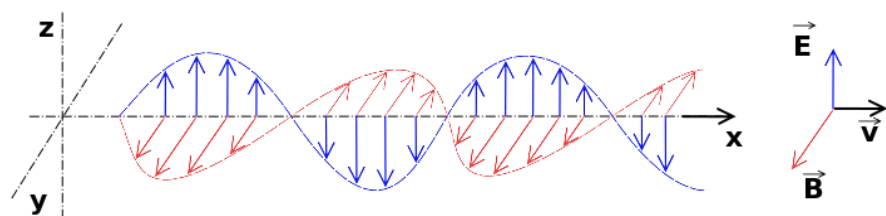


Figura 1.5: Una onda electromagnética con polarización lineal vertical. (Rosales, 2007)

D. ANCHO DE BANDA:

“Los sistemas de microondas ofrecen un ancho de banda sustancial. Los sistemas digitales de microondas, con los cuales cuentan la mayoría de sistemas contemporáneos, se ejecutan usualmente con tasas de señales de 1.544 Mbps y 2.048 Mbps, con muchas operando en tasas de 34 Mbps y 45 Mbps. Los sistemas digitales emplean técnicas de modulación sofisticadas para incrementar la eficiencia del espectro, al empaquetar múltiples bits en cada Hertz disponible.” (Pereira, 2015)

E. ERROR DE RENDIMIENTO

En la propagación por microondas, especialmente las que presentan modulación digital, ofrecen un excelente error de rendimiento asumiendo un propio diseño y despliegue del sistema. Las obstrucciones físicas deben ser evitadas a toda costa, ya que las más pequeñas obstrucciones tienen un gran impacto negativo en la fuerza de la señal de error debido al fenómeno de las zonas de Fresnel. La radio microonda es también particularmente susceptible a las interferencias del ambiente, tales como, neblina, humo y precipitaciones. La atenuación por lluvia es un factor de error en frecuencias sobre los 8 GHz y puede ser especialmente serio en frecuencias sobre los 11 GHz. (Pereira, 2015)

F. DISTANCIA

Las microondas están claramente limitadas en cuanto a distancia, especialmente en las altas frecuencias. Como las de punto a punto, los sistemas de radio LOS (Light of Side, o línea de vista, en español), necesitan en su diseño

consideraciones de la topografía, la altura de la antena, el clima y la curvatura de la tierra. (Pereira, 2015)

G. SEGURIDAD

Como es el caso de todos los sistemas de radio, las microondas son inherentemente inseguras, debido a que presentan perturbaciones por obstaculizaciones en su línea de vista, atenuaciones inherentes en la propagación y el mencionado desajuste del torque de sujeción de las antenas a las torres por los continuos sismos (fenómenos naturales) en el terreno. Una antena de radio sintonizada en la frecuencia propia y posicionada a proximidad del camino de la microonda puede capturar fácilmente la señal. (Pereira, 2015)

H. COSTO

“Los costos de adquisición, despliegue y ordenamiento de las microondas pueden ser altos. Pero estos costos son a menudo muy favorables comparados con los sistemas de cableado, los cuales requieren extensos procesos de obtención, apertura de zanjas y posicionamiento de polos, sistemas de conducción, empalme, entre otros.” (Pereira, 2015)

Los costos del proyecto en cuestión se muestran en el subcapítulo 3.2 del capítulo 3 de esta investigación.

I. ZONA DE FRESNEL

La posición de los obstáculos entre los puntos del enlace puede influir significativamente en la calidad del enlace de microondas. La señal de radio no sólo se irradia a lo largo de

la línea de visión, sino también en el área alrededor de ella, es decir, en la llamada primera zona de Fresnel. Dentro de esta zona, el 90% de la energía se transmite entre el transmisor y la antena del receptor. Este espacio tiene la forma de un elipsoide. Si se altera el enlace, tendría propiedades de transmisión más pobres y se requeriría una antena instalada a una mayor altura, donde existan menores obstaculizaciones en su línea de vista (punto a punto). Por esta razón, la posición de la antena puede ser tan importante como su altura sobre el suelo. El 60% de la primera zona de Fresnel es considerado como el más importante. (Racom, 2015)

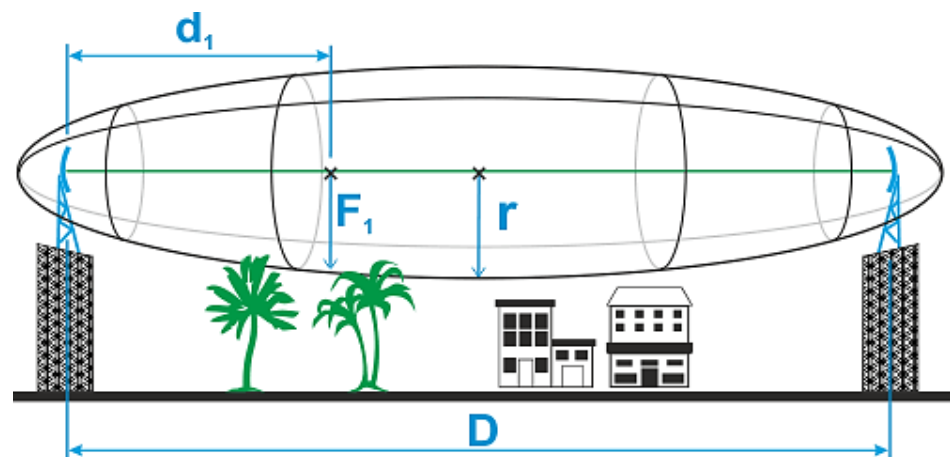


Figura 1.6: Elementos de la zona de Fresnel. (Lehpamer, 2010)

La ecuación general para calcular el primer radio de la zona de Fresnel en cualquier punto P en entre los puntos extremos del enlace es la siguiente:

$$F_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1)$$

Dónde:

- F_1 : Primer radio Zona de Fresnel en metros.
- d_1 : Distancia de P a partir de un extremo en metros.
- d_2 : La distancia de P desde el otro extremo en metros.

- λ : Longitud de onda de la señal transmitida en metros.
(Racom, 2015)

El radio de la sección transversal de cada zona de Fresnel es el más alto en el centro de enlace, la reducción a un punto en la antena en cada extremo. Para aplicaciones prácticas, siempre es útil saber el radio máximo de la primera zona de Fresnel. (Racom, 2015)

De la fórmula (1), el cálculo de la primera zona de Fresnel se puede simplificar a:

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{D}{f}} \quad (2)$$

Dónde:

- r: Máximo radio de la primera zona de Fresnel (m), reduciendo el área para 60% de los valores conseguir que figuran en la siguiente tabla que definen el espacio especialmente sensible a la presencia de obstáculos.
- D: Distancia total del enlace (km)
- F: Frecuencia (GHz). (Racom, 2015)

Tabla 1.3: El 60% de la primera zona de Fresnel.

Longitud de Enlace D	Radios de la Zona r por Frecuencia		
	11 GHz	17 GHz	24 GHz
0,5 km	1.10 m	0.89 m	0.75 m
1 km	1.56 m	1.25 m	1.06 m

2 km	2.21 m	1.77 m	1.50 m
4 km	3.13 m	2.50 m	2.12 m
6 km	3.84 m	3.07 m	2.60 m
8 km	4.43 m	3.54 m	3.00 m
10 km	4.95 m	3.96 m	3.35 m
15 km	6.06 m	4.85 m	4.10 m
20 km	7.00 m	5.60 m	4.74 m
50 km	11.07 m		

Fuente: (Lehpamer, 2010)

Se debe diferenciar entre línea de visión óptica (optical LOS) y la línea de visión de radio (radio LOS) puesto que la primera es la distancia directa que hay entre dos puntos y la segunda se ve afectada por el nivel de curvatura de la tierra, siendo este tipo de línea de visión la que aplica para las redes de microondas. (Pereira, 2015).

Los diagramas de línea de visión (O-LOS y R-LOS), podemos apreciarlos en la siguiente imagen:

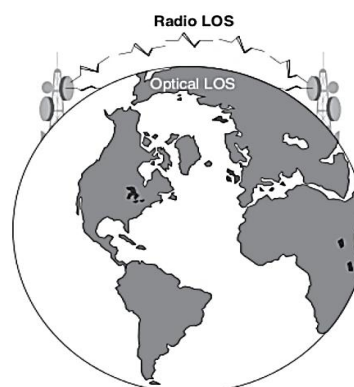


Figura 1.7: Radio LOS y Optical LOS. (Pereira, 2015)

J. ATENUACIÓN Y PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO

“La reducción de densidad de potencia con la distancia equivale a una pérdida de potencia, y se suele llamar atenuación de la onda. Como la atenuación se debe a la dispersión esférica de la onda a veces se le llama atenuación espacial de la onda. La atenuación de la onda se expresa en general en función del logaritmo común de la relación de densidades de potencia (pérdida en dB)”. (Rosales, 2007)

La definición matemática γ_a es

$$\gamma_a = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (3)$$

“La relación de densidad de potencia debida a la ley del cuadrado inverso supone que la propagación es en el espacio libre: en el vacío o casi en el vacío, y se llama atenuación de onda.” (Rosales, 2007)

En los enlaces de microondas existen diferentes factores que ocasionan éstas reducciones de potencia como son las siguientes:

- **Absorción**

“La atmósfera terrestre no es un vacío. Más bien está formada por átomos y moléculas de diversas sustancias gaseosas, líquidas y sólidas. Algunos de esos materiales pueden absorber las ondas electromagnéticas. Cuando una onda electromagnética se propaga a través de la atmósfera terrestre, se transfiere energía de la onda a los átomos y moléculas atmosféricas. La absorción de onda por la

atmósfera es análoga a una pérdida de potencia I^2R . Una vez absorbida, la energía se pierde para siempre, y causa una atenuación de las intensidades del campo eléctrico y campo magnético, y una reducción correspondiente de densidad de potencia. La absorción de las radiofrecuencias en una atmósfera normal depende de su frecuencia, y es relativamente ínfimo a menos de unos 10GHz". (Rosales, 2007)

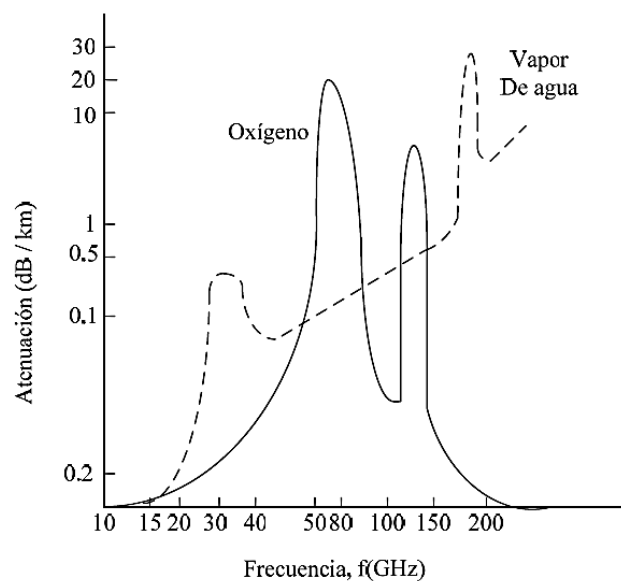


Figura 1.8: Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas. (Rosales, 2007)

La figura 1.8 muestra la absorción atmosférica, en decibeles por kilómetro, debida al oxígeno y al vapor de agua, para radiofrecuencias mayores de 10GHz. Se aprecia que ciertas frecuencias se afectan más o menos por la absorción y se producen picos y valles en las curvas. La atenuación de ondas debida a la absorción no depende de la distancia a la fuente de radiación, sino más bien a la distancia total que la onda se propaga a través de la atmósfera. En otras palabras por un medio homogéneo, cuyas propiedades son uniformes en todo él, la absorción sufrida durante el primer kilómetro de propagación es igual

que la del último kilómetro. También, las condiciones atmosféricas anormales, como por ejemplo lluvias intensas o neblina densa, absorben más energía que una atmósfera normal. (Rosales, 2007)

“La absorción atmosférica se representa por η y, para una onda que se propaga de R_1 a R_2 es $\gamma (R_2 - R_1)$, siendo γ el coeficiente de absorción. Así, la atenuación de onda depende de la relación R_2 / R_1 , y la absorción de onda depende la distancia entre R_1 y R_2 . En el caso más real, es decir, en un medio no homogéneo, el coeficiente de absorción varía mucho de acuerdo con el lugar y por lo mismo origina difíciles problemas para los ingenieros de sistemas de radio”. (Rosales, 2007)

“En la atmósfera terrestre, la propagación de frentes de onda y rayos difiere del comportamiento en el vacío, debido a efectos ópticos, como refracción, reflexión, difracción e interferencia. En una terminología muy coloquial, se puede imaginar la refracción como la flexión, la reflexión como rebote, la difracción como dispersión y la interferencia como choques. Se dice que la refracción, la reflexión, la difracción y la interferencia son propiedades ópticas porque se observaron primero en la ciencia óptica, que estudia el comportamiento de las ondas luminosas. Como las ondas luminosas son ondas electromagnéticas de alta frecuencia, parece razonable que las propiedades ópticas también se apliquen a la propagación de las ondas de radio”. (Rosales, 2007)

“Aunque se pueden analizar por completo los principios ópticos aplicando las ecuaciones de Maxwell, lo cual es complicado por necesidad. Para la mayoría de las

aplicaciones se pueden sustituir las ecuaciones de Maxwell por el trazo geométrico de rayos". (Rosales, 2007)

- **Refracción**

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por consiguiente hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro de distinta densidad. La figura 1.9 muestra la refracción de un frente de onda en una frontera plana entre dos medios con distintas densidades. Para este ejemplo, el medio 1 es menos denso que el medio 2, por lo que $v_1 > v_2$. Se puede ver que el rayo A entra al medio más denso antes que el rayo B. Así, el rayo B se propaga con más rapidez que el rayo A, y viaja la distancia B-B' durante el mismo tiempo que el rayo A recorre la distancia A-A'. Por consiguiente, el frente de onda A'B' se inclina o se dobla hacia abajo. Como un rayo se define como perpendicular al frente de onda en todos los puntos de éste, los rayos de la figura 1.9 cambiaron de dirección en la interfase entre los dos medios. Siempre que un rayo pasa de un medio menos denso a uno más denso, se dobla hacia la normal. La normal no es más que una línea imaginaria, trazada perpendicular a la interfase en el punto de incidencia. Al revés siempre que un rayo pasa de un medio más denso a uno menos denso se dobla alejándose de la normal. El ángulo de incidencia es el que forman la onda incidente y la normal, y el ángulo de refracción es el que forman la onda refractada y la normal. (Rosales, 2007)

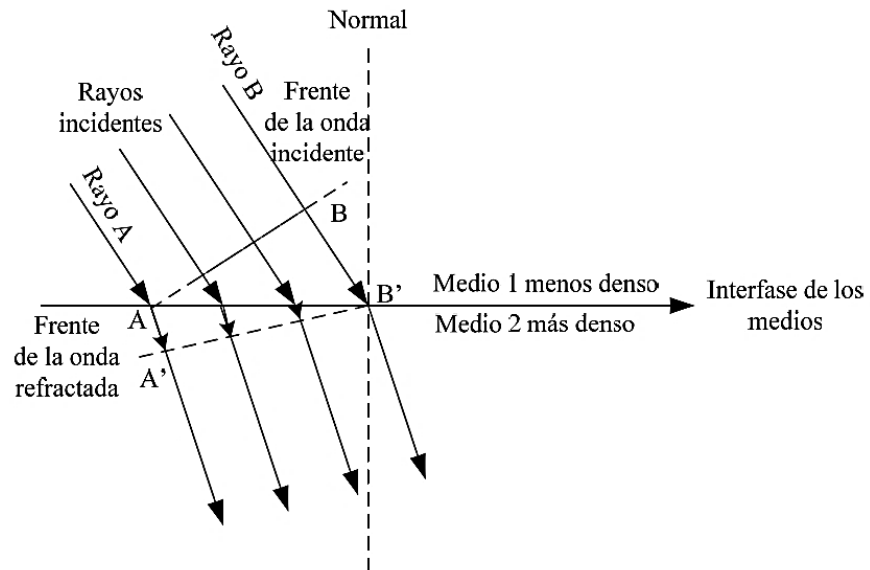


Figura 1.9: Refracción en una frontera plana entre dos Medios. (Rosales, 2007)

“El grado de flexión o refracción que hay en la interfase entre dos materiales de distintas densidades es bastante predecible y depende del índice de refracción de cada material. El índice de refracción no es más que la relación de la velocidad de propagación de la luz en el espacio vacío entre la velocidad de propagación de la luz en determinado material, es decir,

$$n = \frac{c}{v} \quad (4)$$

en la que n = índice de refracción (adimensional).

c = velocidad de la luz en el espacio libre (3×10^8 m/s).

v = velocidad de la luz en determinado material (metros por segundo)”. (Rosales, 2007)

“La forma en que reacciona una onda electromagnética cuando llega la interfase entre dos materiales transmisores que tienen distintos índices de refracción se describe con la ley de Snell”. (Rosales, 2007)

“La ley de Snell establece que:

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2 \quad (5)$$

y

$$\frac{\operatorname{sen} \theta_1}{\operatorname{sen} \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (6)$$

En donde: n_1 = índice de refracción del material 1.

n_2 = índice de refracción del material 2

θ_1 = ángulo de incidencia (grados).

θ_2 = ángulo de refracción (grados)”. (Rosales, 2007)

“y como el índice de refracción de un material es igual a la raíz cuadrada de su constante dieléctrica.

$$\frac{\operatorname{sen} \theta_1}{\operatorname{sen} \theta_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}}} \quad (7)$$

Donde: ϵ_{r1} = constante dieléctrica del medio 1.

ϵ_{r2} = const. dieléctrica del medio 2”. (Rosales, 2007)

“También se presenta la refracción cuando un frente de onda se propaga en un medio que tiene un gradiente de densidad, perpendicular a la dirección de propagación, es decir paralelo al frente de onda”. (Rosales, 2007)

La figura 1.10 representa la refracción de un frente de onda en un medio de transmisión que tiene una variación gradual en su índice de refracción. El medio es más denso

en la parte inferior, y menos denso en la parte superior. Entonces, los rayos que viajan cerca de la parte superior lo hacen con mayor rapidez que los que están cerca de la parte inferior y, en consecuencia el frente de onda se inclina hacia abajo. La desviación se hace en forma gradual a medida que avanza el frente de onda, como se ve en la figura 1.10. (Rosales, 2007)

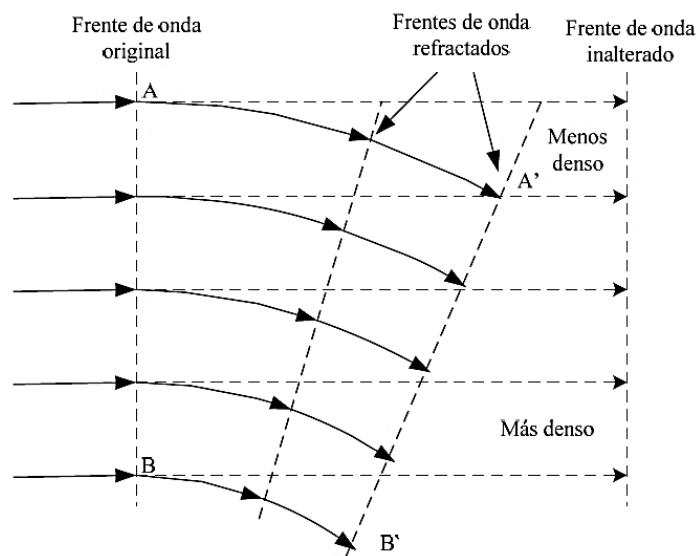


Figura 1.10: Refracción de un frente de onda en un medio gradiente. (Rosales, 2007)

- **Reflexión**

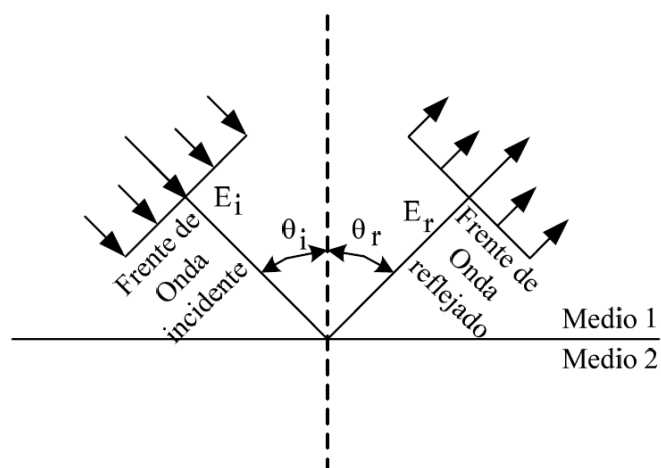


Figura 1.11: Reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios. (Rosales, 2007)

La reflexión electromagnética se presenta cuando una onda incidente choca con una frontera entre dos medios, y algo o toda la potencia incidente no entra al segundo material. Las ondas que no penetran al segundo medio se reflejan. La figura 1.11 muestra la reflexión de una onda electromagnética en un plano limítrofe entre dos medios. Como todas las ondas reflejadas permanecen en el medio 1, las velocidades de las ondas incidente y reflejada son iguales. En consecuencia el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia, $\theta_i = \theta_r$. Sin embargo, la intensidad del campo del voltaje reflejado es menor que la del voltaje incidente. La relación de las intensidades de voltaje reflejado a incidente se llama coeficiente de reflexión, Γ . Para un conductor perfecto, $\Gamma = 1$. Se usa Γ para indicar tanto la amplitud relativa de los campos incidente y reflejado, como el desplazamiento de fase que hay en el punto de reflexión. La ecuación de este coeficiente es:

$$\Gamma = \frac{E_r e^{j\theta_r}}{E_i e^{j\theta_i}} = \frac{E_r}{E_i} e^{j(\theta_r - \theta_i)} \quad (8)$$

En la que: Γ = coeficiente de reflexión (adimensional).

E_i = intensidad de voltaje incidente (volts).

E_r = intensidad de voltaje reflejado (volts).

θ_i = fase incidente (grados).

θ_r = fase reflejada (grados). (Rosales, 2007)

“La relación de las densidades de potencia reflejada a incidente es Γ . La parte de la potencia incidente total que no es reflejada se llama coeficiente de transmisión de potencia, T , o simplemente el coeficiente de transmisión. Para un conductor perfecto $T = 0$. La ley de la conservación

de la energía establece que, para una superficie reflectora perfecta la potencia total reflejada debe ser igual a la potencia total incidente y en consecuencia”, (Rosales, 2007)

$$T + |\Gamma|^2 = 1 \quad (9)$$

“Para los conductores imperfectos tanto $|\Gamma|^2$ como T son funciones del ángulo de incidencia, la polarización del campo eléctrico y las constantes dieléctricas de los dos materiales. Si el medio dos no es conductor perfecto, alguna de las ondas incidentes penetran en el y se absorbe. Las ondas absorbidas establecen corrientes a través del material, y la energía se convierte en calor. La fracción de la potencia que penetra al medio 2 se llama coeficiente de absorción. Cuando la superficie reflectora no es plana, sino curva, la curvatura de la onda reflejada es distinta de la de la onda incidente. Cuando el frente de la onda incidente es curvo la superficie reflectora es plana, la curvatura del frente de la onda reflejada es igual a la de el frente de la onda incidente”. (Rosales, 2007)

- **Difracción**

“La difracción es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen entorno a las esquinas. En la descripción anterior de la refracción y la reflexión se supo que las dimensiones de las superficies refractora y reflectora eran grandes con respecto a una longitud de onda de la señal. Sin embargo, cuando un frente de onda pasa cerca de un obstáculo o discontinuidad cuyas dimensiones sean de tamaño comparable a una longitud de onda, no se puede usar el análisis geométrico simple para

explicar los resultados y es necesario recurrir al principio de Huygens, que se puede deducir de las ecuaciones de Maxwell”. (Rosales, 2007)

“El principio de Huygens es un método de análisis aplicado a los problemas de propagación de ondas. Reconoce que cada punto de un frente de onda que avanza es de hecho el centro de una nueva perturbación y la fuente de un nuevo tren de ondas; y que la onda que avanza como un todo se puede mirar como la suma de todas las ondas secundarias que surgen de puntos en el medio ya atravesado. Las ondas resultantes se convierten en un frente de ondas que avanza en la misma dirección que el que la generó y cada nuevo frente de onda es susceptible a su vez de ser núcleo de un nuevo frente de ondas”. (Rosales, 2007)

El principio de Huygens se ilustra en la figura 1.12 que se muestra a continuación:

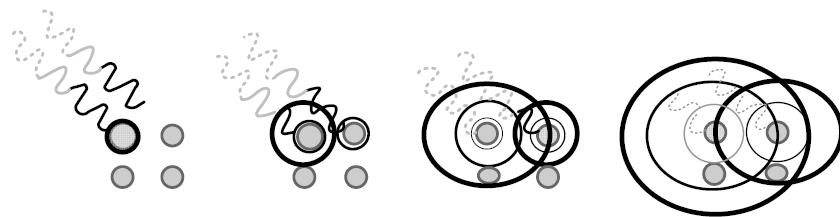


Figura 1.12: Principio de Huygens. (Rosales, 2007)

- **Atenuación por gases y vapores atmosféricos**

“Para trayectos troposféricos, las moléculas de O_2 y H_2O absorben energía electromagnética, produciendo una atenuación que puede ser muy elevada en ciertas frecuencias. Esta atenuación adicional sólo tiene

importancia en frecuencias superiores a 10 GHz. En los trayectos poco inclinados, próximos al suelo, la atenuación debida a estos efectos se calcula mediante la expresión:

$$A_a = \gamma_a \times d \quad (10)$$

Donde γ_a es la atenuación específica (dB/m) y d la distancia. El parámetro γ_a se desglosa en dos:

$$\gamma_a = \gamma_o + \gamma_w \quad (11)$$

Donde γ_o y γ_w son las atenuaciones específicas para el oxígeno y el vapor de agua, respectivamente” (Rosales, 2007). Y estas atenuaciones se han representado en la figura 1.13.

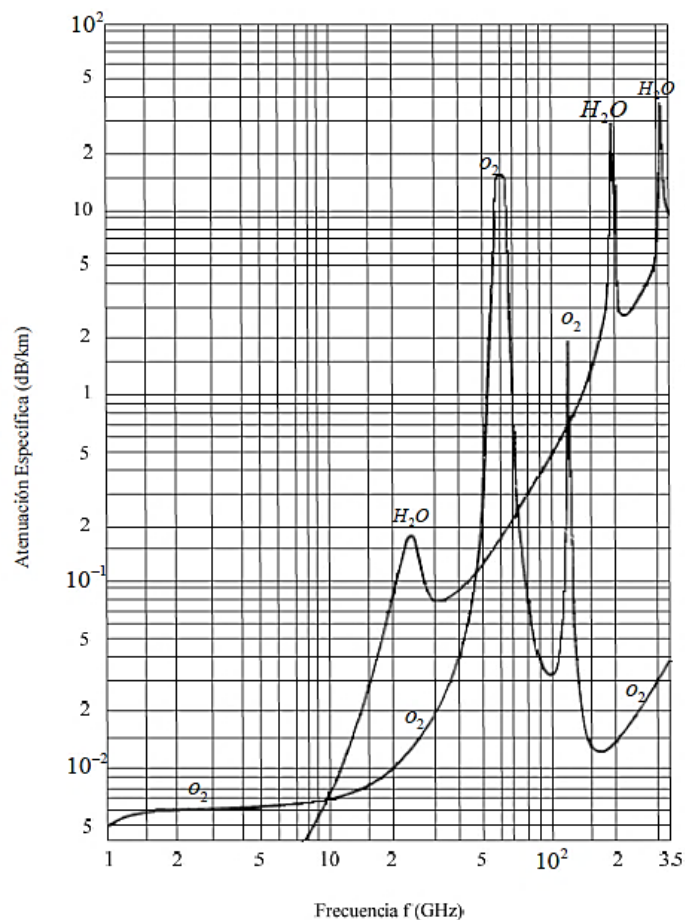


Figura 1.13: Atenuación por gases y vapores atmosféricos. (Rosales, 2007)

En la figura 1.13 se observa que tanto el O_2 como el H_2O presentan crestas de elevada atenuación que corresponden a las frecuencias de resonancia molecular. “Entre estas crestas aparecen “ventanas espectrales” dentro de las cuales se utilizan las frecuencias en los radioenlaces del servicio fijo. En ocasiones, cuando se desea una radiocomunicación local, de muy corto alcance, puede ésta efectuarse en las frecuencias de las crestas de atenuación, a fin de evitar que la señal se propague lejos y pueda causar interferencias. La Rec. 676 del CCIR proporciona las siguientes expresiones para el cálculo de γ_0 y γ_w :

$$\gamma_0(dB/km) = \left[7.19 \times 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2 + 1.5} \right] \times f^2 \times 10^{-3} \quad (12)$$

para $f < 57$ GHz

$$\gamma_w(dB/km) = \left[0.05 + 0.0021\rho + \frac{3.5}{(f - 22.2)^2 + 8.5} + \frac{10.6}{(f - 183.3)^2 + 9} + \frac{8.9}{(f - 325.4)^2 + 26.3} \right] \times f^2 \times \rho \times 10^{-1} \quad (13)$$

para $f < 350$ GHz.

Donde f es la frecuencia, en GHz y ρ la densidad del vapor de agua en gr/m^3 . (Rosales, 2007)

- **Atenuación por lluvia**

“La congestión del rango de frecuencias 1-10 GHz ha forzado la utilización de frecuencias arriba de los 10 GHz, para operación de sistemas de microondas. El problema es que para frecuencias de operación por encima de los 10 GHz las atenuaciones por lluvia y absorción atmosférica son más severas que por debajo de los 10 GHz.

Generalmente cuando se opera en frecuencias menores a los 10 GHz se hace caso omiso de la atenuación provocado por lluvia y absorción atmosféricas.” (Rosales, 2007)

“Comúnmente la pérdida de potencia o atenuación provocada por la lluvia en la práctica se expresa en función de la intensidad de lluvia. Tal intensidad de lluvia depende de la cantidad de agua en estado líquido que se acumula en un indicador colocado en cierta región durante un periodo y de la velocidad de caída de las gotas de lluvia. El procedimiento a seguir es el siguiente según lo recomendado por la UIT:

Se obtiene la intensidad de lluvia $R_{0.01}$ excedida durante el $p\%$ del tiempo, en este caso el 0.01%.

Esta información puede obtenerse a partir de las fuentes locales, o bien, puede obtenerse a partir de los mapas proporcionados por la UIT.

Se calcula la atenuación específica, γ [dB/km], para la frecuencia, polarización e intensidad de precipitación de interés. Esta atenuación específica se obtiene a partir de la intensidad de precipitación R [mm/h] mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma = aR_p^b \quad (14)$$

En la tabla 1.4 se indican los valores correspondientes a los coeficientes a y b , dependen de la polarización de la señal y de su frecuencia. Para la polarización lineal y circular, y para cualquier geometría del trayecto, los

coeficientes a y b pueden calcularse mediante las siguientes ecuaciones, y utilizando los valores de la tabla 1.4:

$$a = \frac{a_h + a_v + (a_h - a_v) \cos^2 \theta \cos 2\tau}{2} \quad (15)$$

$$b = \frac{a_h b_h + a_v b_v + (a_h b_h - a_v b_h) \cos^2 \theta \cos 2\tau}{2a} \quad (16)$$

Se calcula la longitud efectiva del trayecto, d_{eff} del enlace multiplicando la longitud real del trayecto, d por un factor de distancia r . Una estimación de este valor viene dada por:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \quad (17)$$

En donde, $d_0 = 35e^{-0.015R_{0.01}}$ y 0.01 es el porcentaje de tiempo excedido de la intensidad de lluvia.

En realidad puede ser cualquier porcentaje pero es necesario realizar la siguiente conversión:

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{P}{0.01} \right) \quad (18)$$

la atenuación excedida por 0.01% del tiempo es:

$$A_{0.01} = \gamma d_{eff} = \gamma d r_{0.01} \quad [\text{dB}] \quad (19)$$

Para una polarización circular $\tau = 45^\circ$, para polarización horizontal $\tau = 0^\circ$ y $\tau = 90^\circ$ para polarización vertical.” (Rosales, 2007)

Tabla 1.4: Coeficientes de atenuación específica para polarización horizontal (h) y polarización vertical (v).

Frecuencia GHz	a_h	a_v	b_h	b_v
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744

Fuente: (Rosales, 2007)

“Finalmente la estimación de la atenuación del trayecto excedida durante el $p\%$ del tiempo viene dada por:

$$A_p = \gamma d_{eff} = \gamma dr_p \quad [\text{dB}] \quad (20)$$

La geometría de la atenuación por lluvia descrita anteriormente es la siguiente:

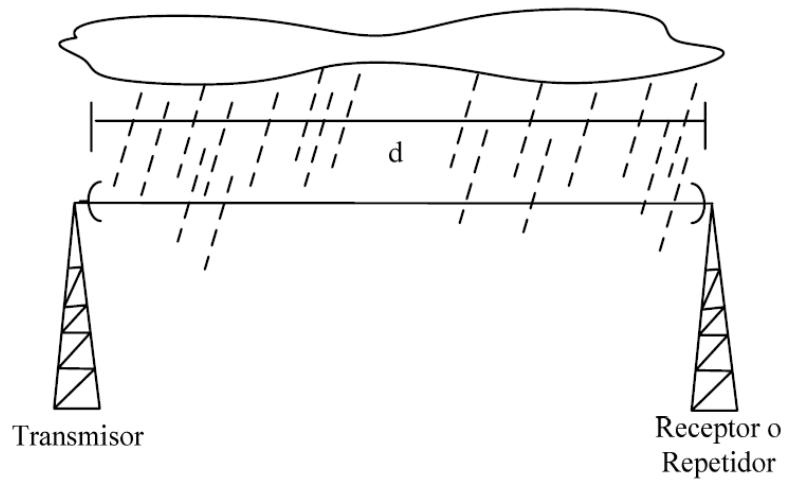


Figura 1.14: Enlace de microondas en presencia de lluvia. (Rosales, 2007)

Las pequeñas gotas de agua dispersan parte de la energía de un rayo por lo que existe atenuación a lo largo del camino. Según un estudio realizado de este problema, los resultados para varias densidades de lluvia o niebla se muestran en la figura 1.15. (Rosales, 2007)

La atenuación debida a una niebla muy densa para una distancia de 64Km a longitudes de onda mayores que 4cm (para frecuencias de 7,500 MHz) es de 4.2dB. Para $\lambda > 5$ cm, la absorción y dispersión no son muy importantes. Para frecuencias por debajo de los 10GHz, la atenuación causada por la lluvia no juega un papel importante. El espacio es determinado por las características terrenas y por la altura de las torres que usualmente están en el rango de 30 a 50Km. Arriba de los 10GHz, la repetición del espacio esta enteramente determinada por la atenuación causada por la lluvia.” (Rosales, 2007)

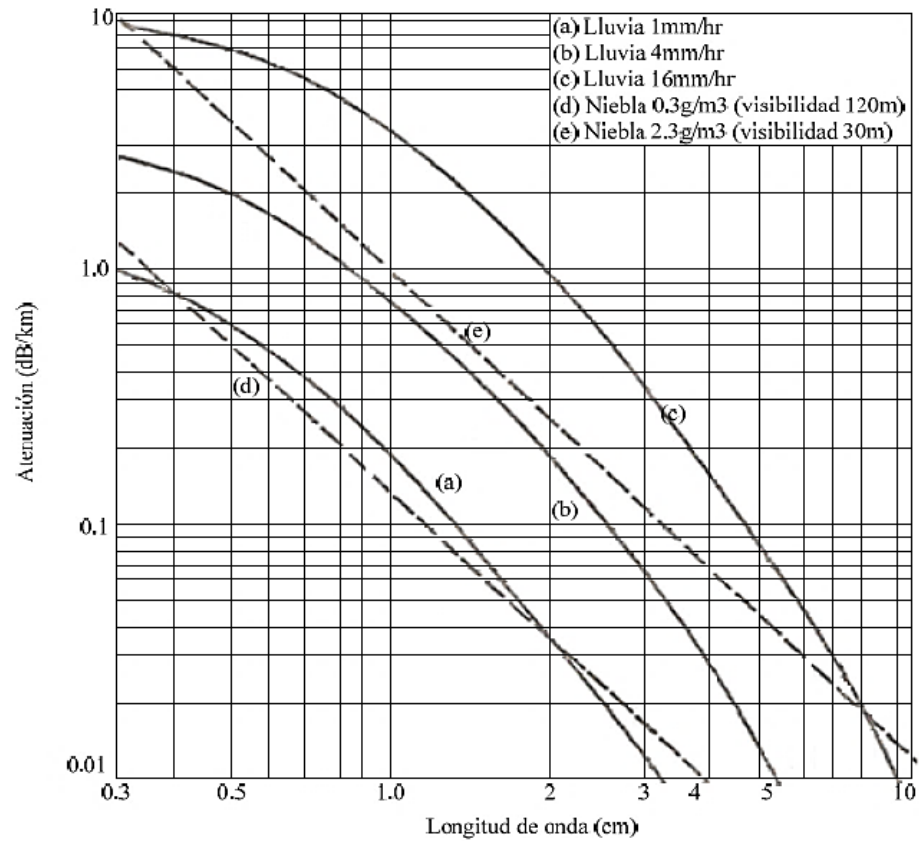


Figura 1.15: Pérdidas de dispersión por lluvia y niebla.
(Rosales, 2007)

- **Atenuación por vegetación**

“Cuando el receptor de un sistema de radiocomunicación se encuentra en el interior de un terreno boscoso, hay una pérdida adicional por penetración de las ondas a través de él. La recomendación UIT R PN 833 facilita las curvas que proporciona la atenuación por unidad de longitud, en función de la frecuencia y de la polarización. Las curvas representan un promedio aproximado para todos los tipos de bosque, en frecuencia y de polarización. Las curvas representan un promedio aproximado para todos los tipos de bosque, en frecuencias de hasta 3,000MHz. Cuando la atenuación adicional es alta (por ejemplo, superior a 30dB), debe considerarse la posibilidad de difracción, en

obstáculo agudo o el modelo de tierra esférica". (Rosales, 2007)

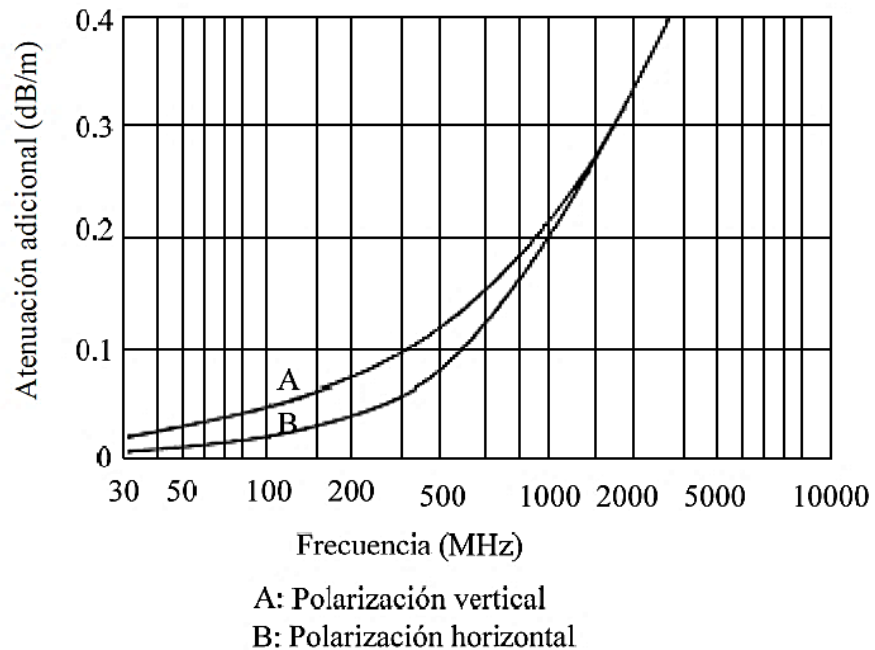


Figura 1.16: Atenuación por vegetación. (Rosales, 2007)

- **Atenuación por líneas de transmisión**

“Existen dos tipos de líneas de transmisión que son usadas en las terminales de un radioenlace: cable coaxial y guías de onda. En las siguientes tablas se muestran las diferentes guías de onda con su potencia máxima de trabajo así como la atenuación correspondiente a las frecuencias inferior y superior del rango recomendado.

El cable coaxial en general, es fácil de instalar. Sus pérdidas se incrementan exponencialmente con el aumento de la frecuencia y como resultado, su aplicación se extiende hasta aproximadamente de 2 a 3GHz. Existe un número importante de parámetros que deben ser considerados para la aplicación del cable coaxial como línea de transmisión. El más importante para un sistema es

la atenuación o pérdidas, como se muestra en la figura 1.17 y 1.18. Las pérdidas varían con la variación de la temperatura ambiente, el valor de referencias es de 24°C". (Rosales, 2007)

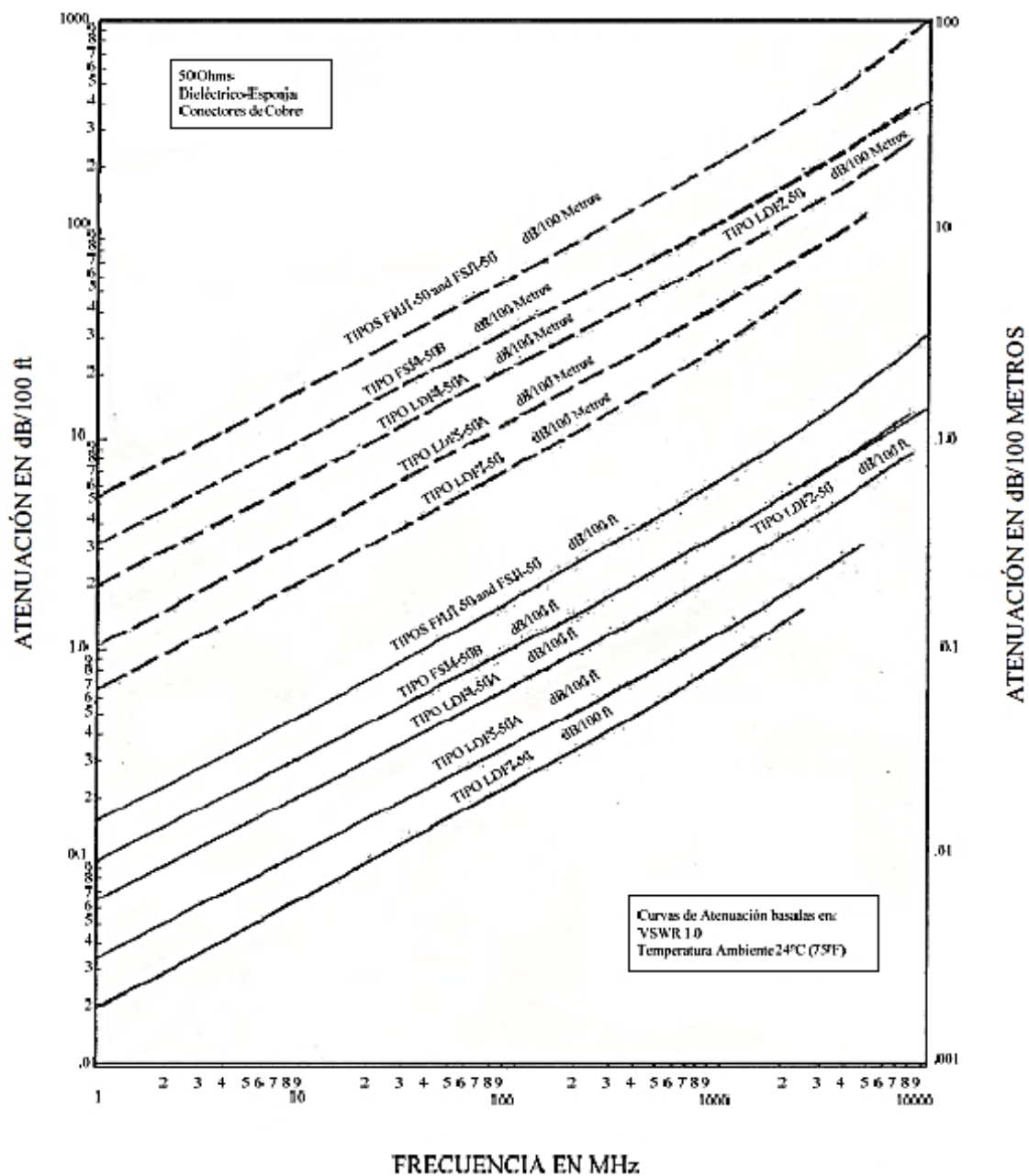


Figura 1.17: Parámetros de pérdidas contra frecuencia para un cable coaxial. (Rosales, 2007)

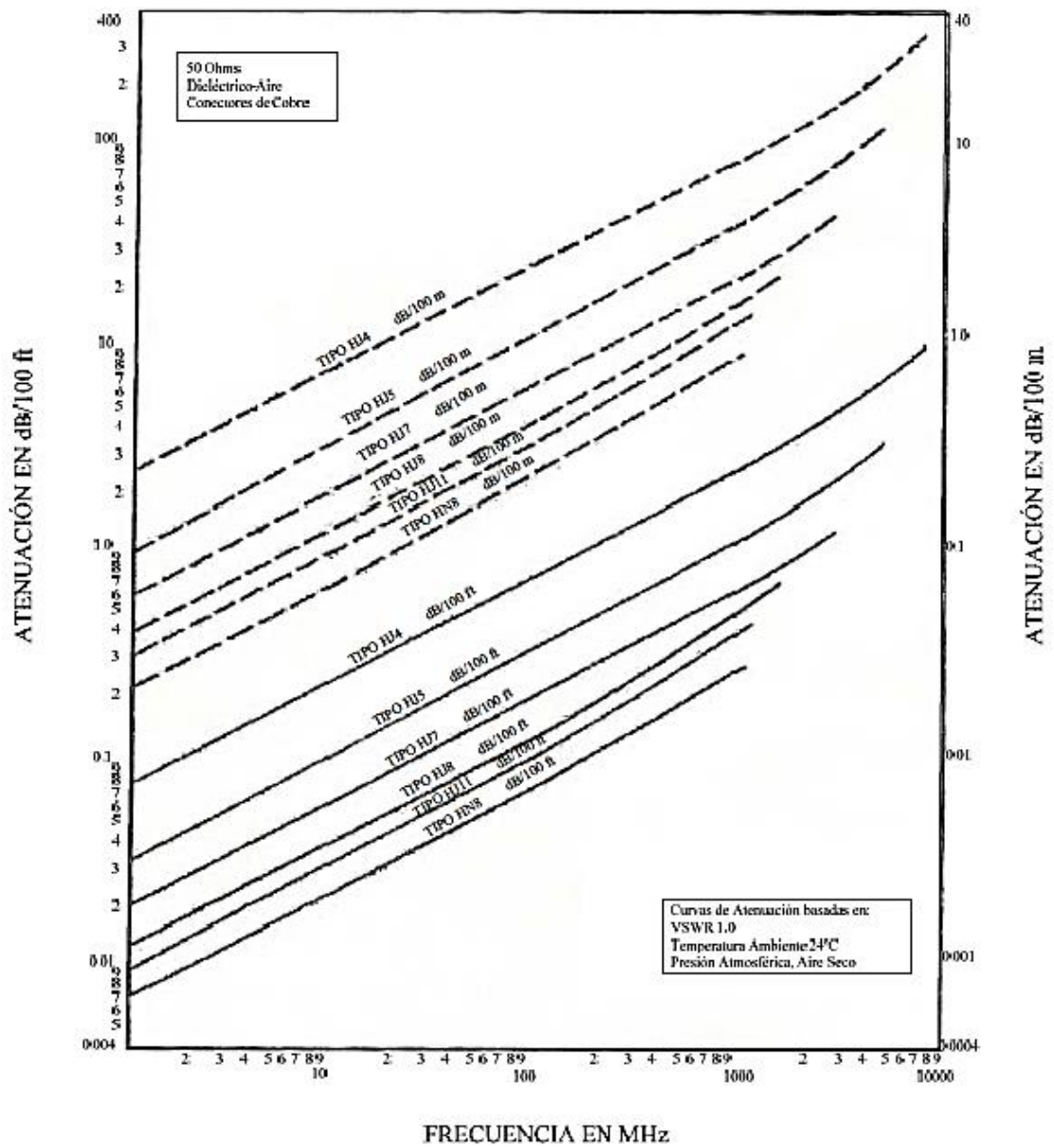


Figura 1.18: Pérdidas contra frecuencia para un cable coaxial (Con aire como dieléctrico). (Rosales, 2007)

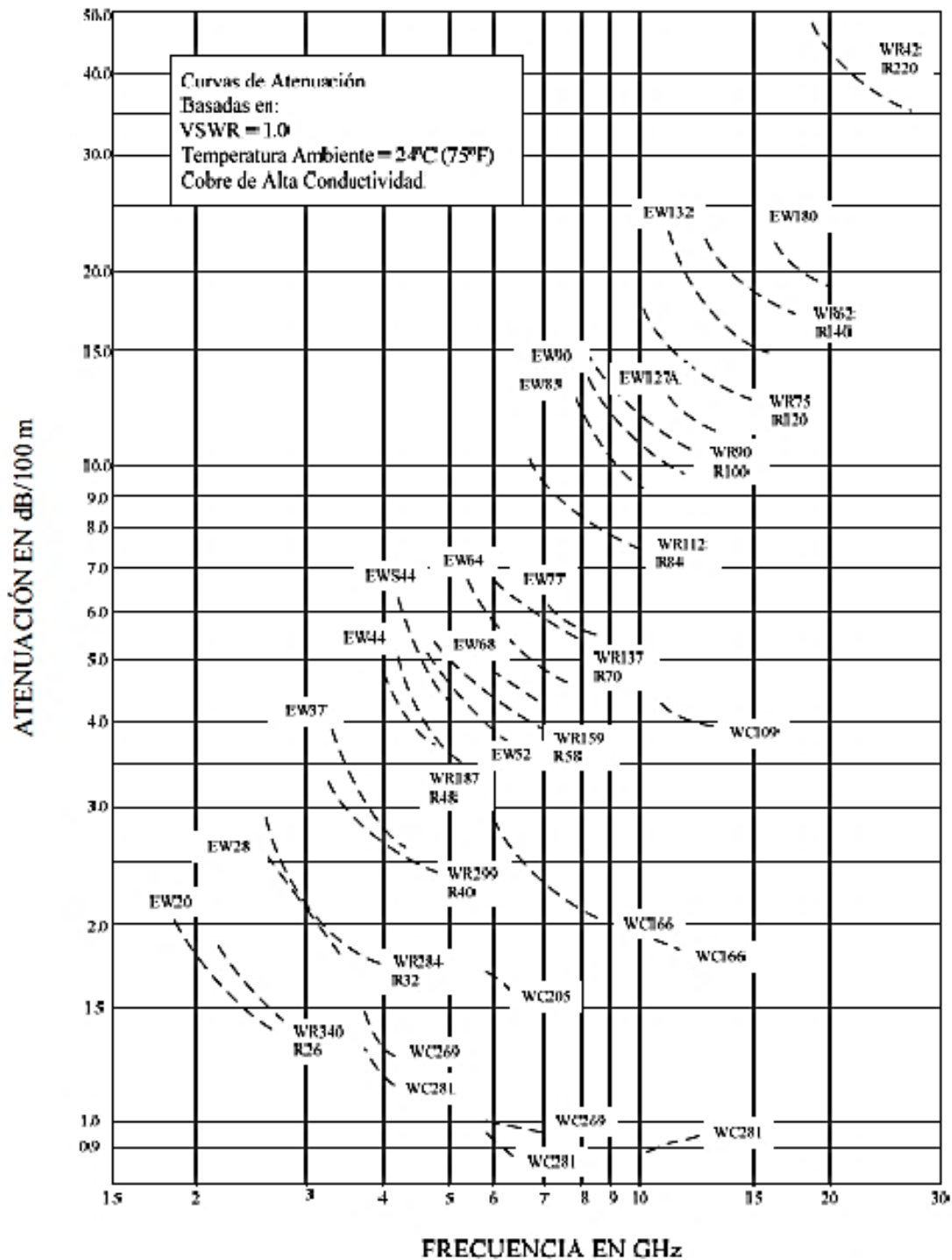


Figura 1.19: Pérdidas contra frecuencia para diferentes tipos de guías de onda. (Rosales, 2007)

“Las guías de onda son mejores que el cable coaxial respecto a las atenuaciones, particularmente a grandes frecuencias, además puede manejar grandes niveles de potencia. Para bajas frecuencias (debajo de los 3GHz) la

elección entre cable coaxial y guía de onda es económica, no solo por el costo de la línea de transmisión, sino por su instalación y el tamaño de la guía de onda a bajas frecuencias es muy grande. Existen tres tipos de guías de onda de uso común: las rectangulares, las circulares y las elípticas. La guía de onda rectangular es la más común para las instalaciones de microondas. Sin embargo, generalmente, las guías elípticas (flexibles) o las circulares son favorecidas por sus bajas pérdidas. Por su fácil instalación, la guía de onda elíptica, comúnmente llamada “flexible”, es la más usada para instalaciones que operan por debajo de los 20GHz”. (Rosales, 2007)

La figura 1.19 muestra las pérdidas contra la frecuencia para las guías de onda más usadas. Los tipos de línea están abreviados como: WR para guías rectangulares, WE para las elípticas y WC para las guías circulares. (Rosales, 2007)

Para guías de onda rectangulares en las cuales se supone paredes de aluminio (Al) o de plata (Ag) y aire como dieléctrico en el interior de la guía” (Rosales, 2007). Para las guías de onda rectangulares con paredes de cobre, la atenuación se muestra en la tabla 1.5. (Rosales, 2007)

“Al igual que el caso de las guías de onda rectangulares, también existe una variedad de estándares de guías circulares. En el sistema de designación EIA (Electronic Industry Association, o Asociación de Industria Electrónica, en español), las guías se clasifican con las siglas WC seguidas de un número. Por otro lado en el sistema IEC (International Electrotechnical Commission, o Comisión Internacional Electrotécnica, en español) las guías se clasifican con la letra C seguida de un número diferente al

de su equivalente en el sistema EIA. En la tabla 1.6 se proporcionan los datos de alguno de los estándares incluyendo los niveles teóricos de atenuación del modo dominante a una cierta frecuencia de referencia". (Rosales, 2007)

Tabla 1.5: Potencia máxima de transmisión recomendada y niveles de atenuación en guías de onda rectangulares.

Designación		Potencia máxima recomendada	Atenuación a las frecuencias inferior y superior del rango recomendado	Rango recomendado de frecuencias
EU	Reino Unido	[kW]	[dB/100m]	[GHz]
WR 284	WG 10	2400	3.1-2.1 (Al)	2.60-3.95
WR 187	WG 12	1000	5.8-4.0 (Al)	3.95-5.85
WR 137	WG 14	540	8.0-6.4 (Al)	5.85-8.20
WR 112	WG 15	350	11.5-9.0 (Al)	7.05-10.0
WR 90	WG 16	230	18.0-12.5 (Al)	8.20-12.4
WR 62	WG 18	120	20.1-17.6 (Al)	12.4-18.0
WR 42	WG 20	48	57.7-41.3 (Al)	18.0-26.5
WR 28	WG 22	25	71.8-49.2 (Ag)	26.5-40.0
WR 22	WG 23	15	101.7-68.5 (Ag)	33.0-50.0

Fuente: (Rosales, 2007)

Tabla 1.6: Estándares para guías de onda circulares (Sistema IEC) con sus niveles teóricos de atenuación.

Designación	Radio	F	Atenuación
	[mm]	[GHz]	[dB/m]
C30	35.7	2.95	0.0184
C35	30.5	3.45	0.0233
C40	26	4.06	0.0297
C48	22.2	4.74	0.0375
C56	19	5.53	0.0473
C65	16.3	6.48	0.0599
C76	13.9	7.59	0.0759
C89	11.9	8.85	0.0956

C140	7.54	13.98	0.1893
C290	3.56	29.54	0.5834

Fuente: (Rosales, 2007)

“En la tabla anterior se observa que, por ejemplo, la guía C40 es equivalente a la guía WC269, y la C65 es equivalente a la WC205”. (Rosales, 2007)

“En la instalación de sistemas de microondas, la guía circular es útil en tramos verticales largos, además de que por ella es posible transmitir dos modos dominantes simultáneamente, con polarización cruzada”. (Rosales, 2007)

“Los modos transversales son clasificados de la siguiente manera:

- Modos TE (Transversal Eléctrico), donde no existe ninguna componente del campo eléctrico en la dirección de propagación.
- Modos TM (Transversal Magnético), donde no existe ninguna componente del campo magnético en la dirección de propagación.
- Modos TEM (Transversal Electromagnético), donde no existe ninguna componente del campo eléctrico y magnético en la dirección de propagación.
- Modos Híbridos, son aquellos donde hay componentes del campo eléctrico y magnético en la dirección de propagación.” (Rosales, 2007)

“La guía elíptica más popular es del tipo flexible corrugado. Es fácil de instalar, porque no necesita transiciones para realizare curvaturas o dobleces, y su atenuación es menor que la de una guía rectangular de dimensiones transversales similares”. (Rosales, 2007)

Tabla 1.7: Estándares para guías de onda elípticas (Sistema EIA) con sus niveles teóricos de atenuación.

Designación	Frecuencias de operación [GHz]	Atenuación [dB/100m]
WE 37	3.4-4.2	3.03
WE 44	4.2-5.0	4.54
WE 56	5.4-6.5	3.98
WE 61	5.6-6.425	4
WE 71	7.1-8.6	-
WE 107	8.6-11.7	11.2
WE 122	12.2-13.2	16.4

Fuente: (Rosales, 2007)

“La guía elíptica de cobre corrugado se usa como conducto para alimentar antenas de microondas en el rango aproximado de frecuencias de 2 a 20GHz. También hay guías lisas semirrígidas, fabricadas con aluminio puro, que pueden ser dobladas y soportan condiciones ambientales muy adversas; se emplean por ejemplo, en los radares de embarcaciones militares o de vigilancia costera”. (Rosales, 2007)

K. BACKHAUL

Backhaul o traducido del inglés “Red de retorno”, es un término que deriva probablemente de la industria del

transporte en las telecomunicaciones, tiene varios usos en las tecnologías de la información.

“En la comunicación vía satélite, backhaul se utiliza para significar la obtención de datos a un punto desde el cual se puede distribuir en una red. Por ejemplo, para ofrecer un programa de televisión en vivo desde Chicago a terminales de satélite DirecPC autorizados en todo el país de Estados Unidos de América, las señales de vídeo se tendrían que retornar por algún medio (por cable de fibra óptica o por otro sistema de satélites) para la instalación de Hughes DirecPC en Germantown, Maryland. A partir de ahí, sería en enlace ascendente al satélite de la galaxia IV de la cual los usuarios DirecPC podrían ver la transmisión (recibirla en un enlace descendente del satélite en sus terminales individuales). Backhauling también se utiliza para obtener material de audio y vídeo que no sea en directo a los puntos de distribución en las principales agencias de noticias de difusión para su difusión en la noche o las noticias en curso.” (Kharbanda, 2015)

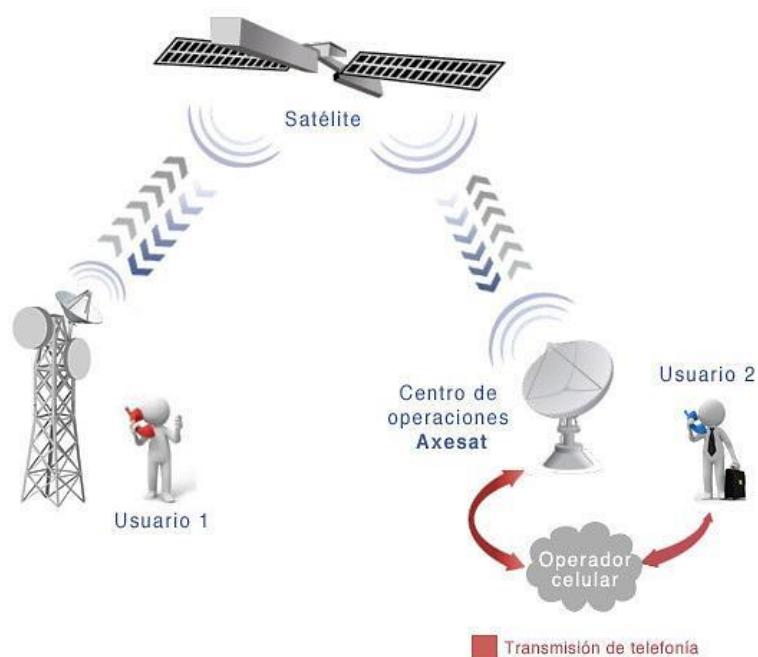


Figura 1.20: Esquema de una red backhaul celular-satelital.

(Axesat, 2016)

“Los fabricantes de equipos de conmutación de red utilizan el término backhaul para significar "la obtención de datos con la red troncal" (que es similar a su uso en la industria de la comunicación vía satélite). Por ejemplo, Ascend usa el término para describir cómo su interruptor MAX 2000 se puede utilizar para interconectar los datos de una red de retorno T-1 línea en la que los usuarios de oficinas móviles y remotas están conectados a un proveedor de servicios de Internet y la columna vertebral de Internet.” (Kharbanda, 2015)

“El Backhaul está enviando datos de la red a través de una ruta fuera de la vía (incluyendo la toma de más lejos que su destino) con el fin de obtener los datos allí tarde o porque cuesta menos. Este tipo de backhaul implica condiciones y la economía de red cambiante comprensión.” (Kharbanda, 2015)

“Backhauling a veces puede ser usado para significar el uso del canal de retorno en una línea de comunicaciones bidireccional, o también en la conexión de baja, media o alta velocidad que conecta a computadoras u otros equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información. Los backhaul conectan redes de datos, redes de telefonía celular y constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación. Un backhaul es usado para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas. Un ejemplo de backhaul lo tenemos en los radioenlaces que se utilizan para conectar las estaciones bases celulares con el nodo principal de esta red.” (Kharbanda, 2015)

“Los sistemas celulares fueron diseñados inicialmente para llevar sólo el tráfico de voz (2G/GSM). Desde el transporte de voz digitalizada era una tecnología madura y bien entendida, no había necesidad de tomar un camino divergente para el backhaul de tráfico de voz en los sistemas celulares tempranos. En el uso de TDM (Multiplexación por División de Tiempo) había evidentes ventajas entre las que eran:

- El uso del mismo equipo utilizado en la transmisión de voz de telefonía fija.
- La familiaridad de los personales técnicos con conceptos TDM y solución de problemas.
- Capacidad para utilizar las operaciones existentes, Administración, Mantenimiento y Aprovisionamiento (OAM & P) sistemas.
- La ubicuidad del servicio T1 / E1.” (M. Grayson, 2015)

“El trabajo inicial para ofrecer el servicio de datos en los sistemas celulares se centró naturalmente en la adición de la transmisión de datos a la infraestructura de voz existente. Normas como el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) y la Norma Provisional 95 (IS-95) tomaron enfoques similares en pedir prestado intervalos de tiempo TDM para los datos. Los servicios de datos de la década de 1990 eran muy lento, incluso si se compara con los módems de consumo de la época. Las normas se desarrollaron a finales de 1990 y se desplegaron en la década del 2000 (tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM [EDGE] y CDMA2000) mejores velocidades de transferencia de datos.” (M. Grayson, 2015)

“TDM fue claramente arraigada como una tecnología

fundamental para la comunicación de datos en redes celulares de entrar en los primeros despliegues de tecnología 3G (Universal Mobile Telecommunications System [UMTS] y Evolution Data Optimized [EV-DO]).” (M. Grayson, 2015)

La Figura 1.21 muestra la parte de la red de Backhaul MNO y cómo se integra en la arquitectura más amplia.

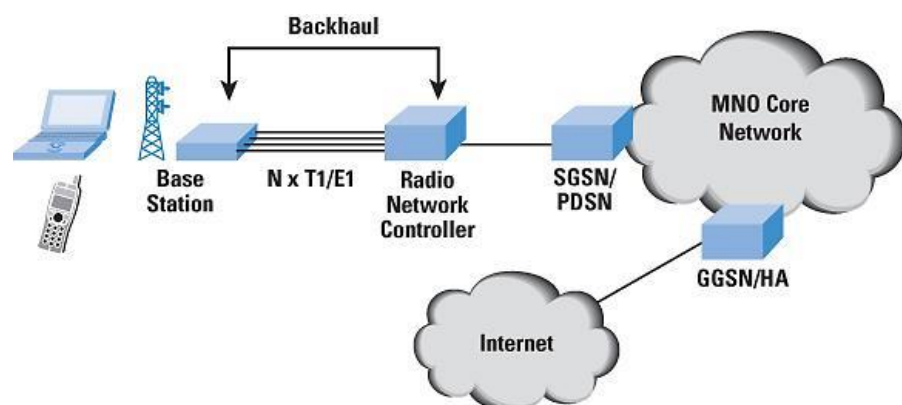


Figura 1.21: Una red de retorno en la arquitectura MNO. (M. Grayson, 2015)

Así mismo encontramos los 3 tipos de aplicaciones de redes microondas que encontramos en el Perú, como el resto del mundo, los cuales son mencionados en la figura 1.23.

- **WISP:** “Es un acrónimo para Wireless Internet Service Provider o Proveedor de Servicio de Internet Inalámbrico. Pueden ser hotspots Wi-Fi, un operador con una infraestructura Wi-Fi o WiMAX. Frecuentemente ofrecen servicios adicionales, como contenido basado en localización, Virtual Private Networking (o red virtual privada, en español) y Voz sobre IP y televisión.

Recientemente se están creando WISP utilizando modelo de despliegue femtocelda, esto es, el uso de los pares de cobre liberalizados para crear los enlaces troncales.

La solución permite crear una elevada densidad de cobertura sin necesidad de emplear técnicas complementarias, algo parecido a instalar 200 ADSL en una ciudad pero con sólo un router wifi para dar acceso a los usuarios de forma inalámbrica.

La solución es muy potente ya que permite alta densidad de cobertura con muy baja potencia de antenas, de hecho femtocelda es una de las opciones futuras para las redes de los operadores móviles.” (wispcentric, 2016)

- **MOBILE:** Es lo que realmente ya conocemos y podemos observar en distintas áreas de la capital, refiriéndose a las torres de estaciones base que utilizan los operadores telefónicos (móvil) a través del uso de repetidoras (BTS), que ayudan a distribuir y/o propagar desde una central telefónica en diferentes áreas en una zona específica, a través de radioenlaces troncales. Brindando una o varias tecnologías de sistemas de telefonía móvil, tanto 2G (GSM), 3G (UMTS) y/o 4G (LTE), a una cantidad de abonados o clientes que hacen uso de la comunicación móvil a través de un teléfono móvil (celular).
- **FIXED:** En este caso se involucran ambos sistemas anteriormente mencionados, a través de conversores análogo-digitales, que permiten distribuir información de datos, voz y una mayor capacidad de velocidad de propagación para las comunicaciones móviles.

En la figura 1.22 se muestra los diferentes tipos de puertos FODU (Full Outdoor Unit)/ ODU CFIP, que son aplicables a los tipos de redes de microondas que encontramos en el país :



Figura 1.22: Tipos de sistemas FODU CFIP y sus puertos.
(JSC, 2016)

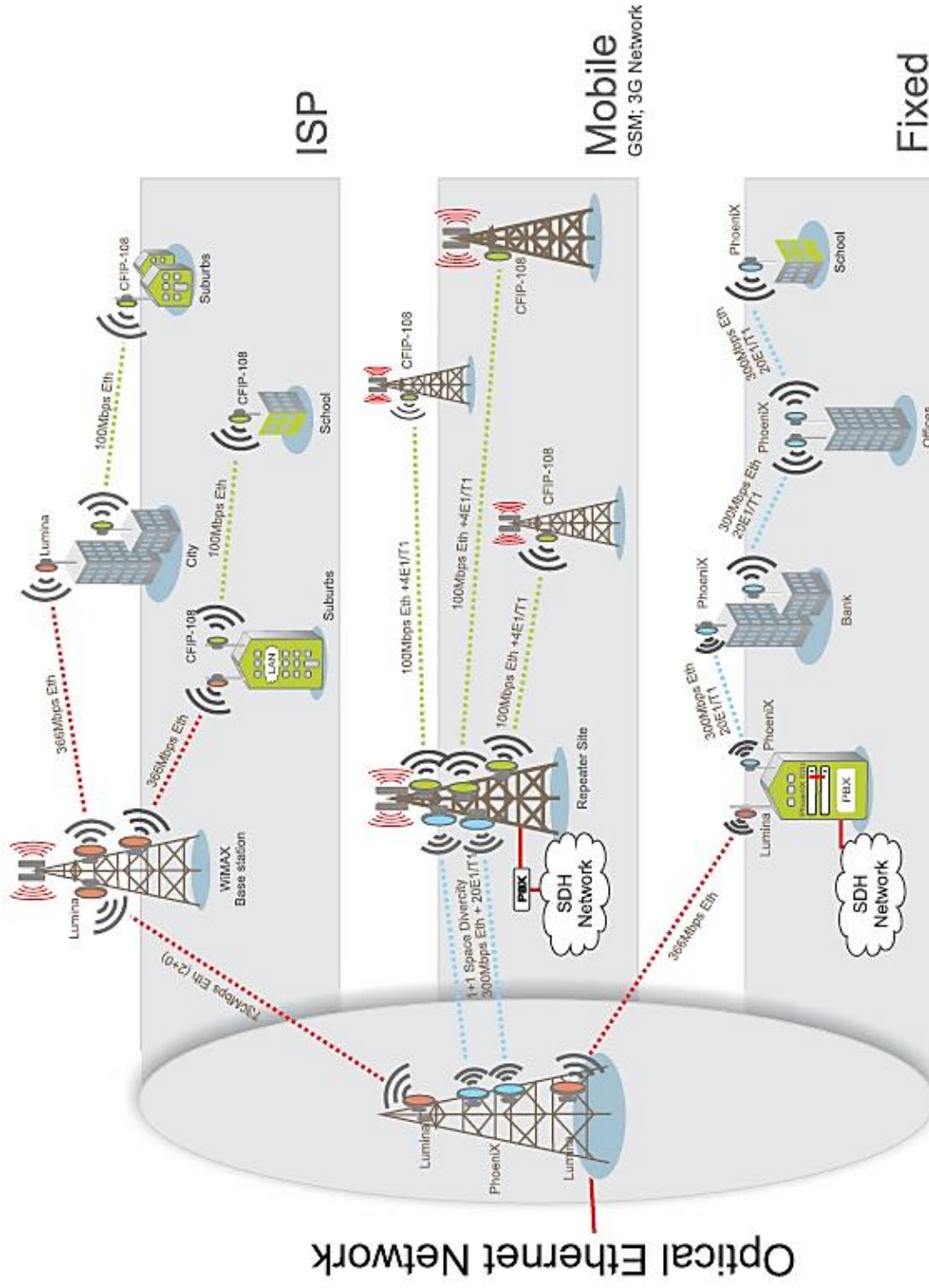


Figura 1.23: Diagrama de aplicación de la línea de productos CFIP. (JSC, 2016)

“El CFIP-108 está destinado principalmente a 2 tipos de aplicaciones: Para ampliar redes Ethernet de 3.5Mbps hasta 100 Mbps (Fast- Ethernet Full Duplex); Proporcionar hasta 4 E1 para redes de comunicaciones móviles y fijas”. Presentan las siguientes características: Puerto RJ-45 (Eth-PoE), 18 pines (E1 balanceado), BNC y Twin BNC. (JSC, 2016)

“El CFIP Lumina está diseñado para redes troncales (backbone) Ethernet con capacidades de hasta 366 Mbps con una única radio. Permite la configuración 2+0 para usuarios que necesiten mayor capacidad. Interfaz única o doble, eléctrica u óptica, según se requiera”. El CFIP Lumina (óptico) presenta las siguientes características: 1 o 2 ODC (Eth. óptico), su alimentación es a 48Vcd, BNC y Twin BNC. Y el CFIP Lumina (Eléctrico), presenta las siguientes características: 1 o 2 RJ-45 (Eth. Eléctrico), su alimentación es a 48Vdc, BNC y Twin BNC. (JSC, 2016)

“El CFIP PhoeniX Split Mount está diseñado para arquitecturas clásicas de telecomunicaciones con una radio exterior y una unidad interior. EICFIP PhoeniX permite la transición de una red TDM, basada en E1, a una red híbrida con hasta 20E1+GigE para aprovechar la capacidad de 366 Mbps de la radio”. Presenta las siguientes características: su conexión de datos y alimentación es tipo N, y BNC”. (JSC, 2016)

Tabla 1.8. Especificaciones técnicas de la serie CFIP.

Radio y Modem	Sistema totalmente exterior con radio incorporada , modem e interfaces de tráfico		Sistema de montaje por separado
Modelo	FODUCFIP 108	FODUCFIP Lumina	CFIP PhoeniX Split Mount
Bandas de frecuencia	6, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 18, 23, 24, 26, 38 GHz		
Capacidad	3.5Mbps - 108Mbps	17 - 366 Mbps	IDU: 8 - 366 Mbps Banda estándar ODU: 8 - 180 Mbps Banda Ancha ODU: 17 - 366 Mbps
Ancho de banda canal	3.5/7/14/28 MHz	14/28/40/56 MHz	IDU: 7/14/28/40/56 MHz Banda estándar ODU: 7/14/28 MHz Banda Ancha ODU: 14/28/40/56 MHz
Modulación	QPSK, 16APSK, 32APSK, 64QAM; Sólo para 14MHz bw : 128QAM	QPSK, 16APSK, 32APSK, 64QAM, 128QAM, 256QAM	
Protección	1+0 Anillo/Malla (con STP)	1+0, Anillo/Malla (con STP), 2+0 (Eth Agregado)	1+0, 1+1 (HSB, SD, FD), Anillo/Malla (con STP), 2+0, 3+0, 4+0 (Eth Agregado)
ACM	ACM sin interrupción (hitless)		
Interfaces			
Puerto Ethernet	1xRJ45 (eléctrico)	1 o 2 RJ-45 (eléctrico) or 1 or 2 ODC (fibra óptica)	4x RJ-45 (eléctrico)
E1/T1	4 xE1/T1 (conector de 18-pins)	ninguno	20E1/T1 (RJ-45)
Alimentación	PoE propietario	CC sobre cable de 2 hilos	CC sobre cable FI
Puerto RSSI	BNC		ODU: BNC
Puerto Serie	Twin-BNC		DB9 (RS-232)
EOW	-		2 Puertos auricular de 3.5mm (Mic. yAltavoz)
Puerto de alarma	-		DB26HD
Puerto 1+1	-		RJ-45
Conexión IDU-ODU	-		Tipo N
Conexión a la antena	Flanco estándar según frecuencia		
Gestión			
Modelo	FODU -CFIP108	FODU -CFIP Lumina	CFIP PhoeniX Split Mount
Puertos de gestión	RJ-45 (por el puerto de tráfico)	RJ-45 (eléctrico) u ODC (óptico)	RJ-45
Gestión	Por radio	Por radio (puerto de tráfico) o puerto VLAN separado	
SNMP	Traps SNMP, MIB, SNMP v1/v2c		
EMS	Web, Telnet, FTP Terminal		
Gráficos de funcionamiento	Tiempo, Nivel Rx, Nivel Tx, Temperatura del sistema, MSE Radial, LDPC decoder stress, diagrama de constelación, gráfica de equalización		
Funcionamiento Ethernet	Contadores Ethernet por puerto, estadísticas Ethernet de radio mejoradas		
Loopbacks	E1, modem, FI		
Ethernet			
Switch Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet	
QoS, CoS	Básico	Avanzado	
	DiffServ(DSCP) 802.1p 4 niveles de priorización o priorización única	DiffServ (DSCP) 802.1p 4 niveles ajustables de priorización, priorización única y Weighted Round Robin (WRR)	
Máx VLAN con 802.1p QoS	hasta 15 VLANs simultáneas	hasta 4094 VLANs simultáneas	
Máx. tamaño paquete Eth.	1916 bytes	9728 bytes	
Ethernet Agregado	No	Yes (2+0)	Yes (2+0, 3+0, 4+0)
Spanning Tree	802.1d-1998 STP		
Control de flujo, 802.3x	Sí		
Características Mecánicas y Eléctricas			
Consumo	19 - 25 W	25 - 35W	IDU: 20 - 30W ODU: 13 - 18W
Peso	3.5 kg	3.9 kg	IDU: 3.1 kg ODU: 3.5 kg
Margen de temperatura	de -33°C a +55°C		IDU: de -5°C a +45°C ODU: de -33°C a +55°C
Dimensiones: Al.x An.xL., mm	288x288x80		IDU: 1U rack (45x430x240) ODU: 288x288x80

Fuente: (JSC, 2016)

L. REGULACIÓN DE FRECUENCIAS

“Los sistemas de microondas, siempre, operan en bandas de frecuencia autorizada. El espectro asignado es responsabilidad del ITU-R a nivel internacional. Las autoridades nacionales incluyen el FCC en los Estados Unidos y la autoridad de comunicaciones independientes de Sudáfrica (ICASA). Dentro del espectro asignado, los sistemas de transmisión de microondas individuales debe ser autorizado en una base caso por caso para evitar la interferencia entre sistemas adyacentes.” (Pereira, 2015)

M. APLICACIONES

“Históricamente, las microondas han sido usadas extensamente para transmitir voz y comunicaciones de datos a larga distancia. Compitiendo con transportadores de larga distancia, primero en los Estados Unidos, se encontraron las microondas, una manera alternativa más atractiva que los sistemas de cableado, debido a la relativa alta velocidad y bajo costo de despliegue. Era técnica y económicamente factible, sin embargo, la tecnología con fibra óptica es actualmente usada en la mayoría de las aplicaciones a larga distancia.” (Pereira, 2015)

N. EJEMPLO DE UNA MEDICIÓN EN UN RADIOENLACE CFIP FODU

El procedimiento de alineación de la antena se puede hacer más fácil mediante la colocación de una persona en cada ubicación de la antena durante el proceso de alineación. Sin embargo, la alineación se debe realizar en una antena a la vez, cada persona alternativamente, hasta que se

optimiza el RSL (Received Signal Level o Nivel de Señal Recibida, en español) de las mismas. (Tehnika, 2016)

Se requieren los siguientes pasos para alinear correctamente las antenas:

1. Se comienza en un extremo del enlace, conectando un voltímetro al puerto de RSSI en el CFIP Lumina. Asegurándose de que el voltímetro está ajustado a la tensión de corriente continua y fija en un rango 0 - 2 voltios.
2. Aflojar el hardware de la antena que se utiliza para fijar el movimiento de la antena en las direcciones de azimut.
3. Apuntar aproximadamente la antena dirigir el lóbulo principal de la antena en su FAR-END.
4. Mover lentamente la antena mientras observa las lecturas del voltímetro. Cuanto mayor es la tensión, mayor es el RSL.
5. Se asegura el hardware de ajuste de azimut, a la vez que el lóbulo principal se encuentra y se alcanza el nivel de señal más alto.
6. Aflojar el hardware de la antena que se utiliza para fijar el movimiento de la antena en la dirección de elevación. Mover lentamente la antena mientras observa el voltímetro. Una vez que se alcanzó la señal, el hardware de ajuste de inclinación se puede asegurar.
7. Realizar los pasos 1 a 6 en el extremo opuesto del enlace hasta que el nivel de la señal se alcanzó su punto máximo tanto para azimut y elevación. (Tehnika, 2016)

Después de las tensiones de RSSI se han alcanzado en su punto máximo para ambos extremos del enlace, observar el RSL que se indica en la imagen de abajo. Asegúrese de que el RSL está dentro de +/- 5 dB del RSL calculado. (Tehnika, 2016)

Para ayudar en el proceso de alineación de la antena, el siguiente gráfico y la tabla muestra la relación típica de la RSL (nivel Rx) frente a la tensión de salida del puerto de RSSI (RSSI - Indicador de Fuerza de Señal Recibida). El nivel de Rx evaluado del ejemplo, tiene error de +/- 2 dB. (Tehnika, 2016)

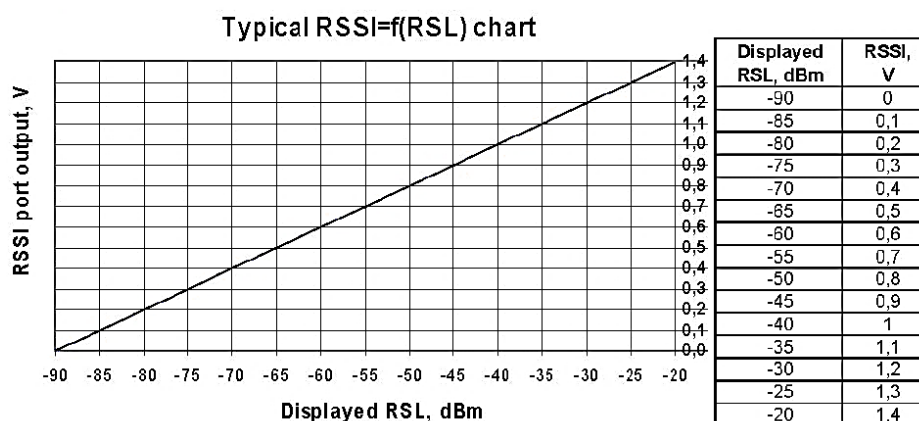


Tabla 1.9. Relación típica de RSL frente a los niveles de tensión de salida. (Tehnika, 2016)

En el caso del prototipo en cuestión de este proyecto, se simuló la entrada de voltaje al sistema antisísmico como RSL (Nivel de Señal Recibida), usando un potenciómetro captando rangos de entrada de voltaje entre 0 a 5v.

2.2.2. COORDENADAS POLARES EN EL PLANO, COORDENADAS CILÍNDRICAS Y ESFÉRICAS EN EL ESPACIO

Para comprender el funcionamiento y manejo de los sensores como sistemas de radar o rastreo de puntos en los ejes de coordenadas, tanto el de giroscopio con acelerómetro y el de brújula, hay que entender teoría de coordenadas polares en el plano, coordenadas cilíndricas y esféricas en el espacio, para ello se explicarán a continuación:

“En el estudio de los conjuntos y las funciones el sistema que se utiliza es fundamental para representar los puntos. Estamos acostumbrados a utilizar la estructura de espacio afín o de espacio vectorial de \mathbb{R}^n , utilizando el sistema de representación cartesiana mediante pares de números, en el caso del plano, o mediante ternas en el caso del espacio, que identificamos con un sistema de coordenadas ortogonal.” (OpenCourseWare, 2015)

“Sin embargo, esta no es la única forma posible de identificar los puntos. Hay otras formas de representación que en ocasiones pueden resultar más útiles: el sistema de representación cartesiana es útil para representar la superficie de la tierra en un plano, pero sin embargo los barcos en el mar más utilizan un sistema de radar bidimensional que sitúa los puntos del plano en círculos centrados en el origen de coordenadas, y los aviones o las naves espaciales, o los submarinos, utilizan un sistema de radar tridimensional. Estos sistemas se basan en los sistemas de coordenadas polares, cilíndricas y esféricas que vamos a ver en este capítulo.” (OpenCourseWare, 2015)

A. COORDENADAS POLARES EN EL PLANO

“Partimos de la representación cartesiana del plano mediante pares ordenados de números, que representan la distancia del punto a dos ejes ortogonales, llamados ejes de coordenadas. La costumbre es dibujar uno horizontal (abscisas) y otro vertical (ordenadas), y llamar x a la distancia del punto P al eje vertical, e y a la distancia al eje horizontal.” (OpenCourseWare, 2015)

De este modo cada punto del plano está unívocamente determinado por sus dos coordenadas $P = (x,y)$

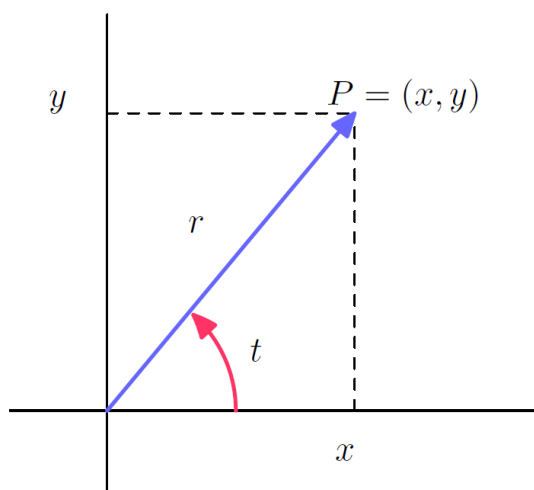


Figura 1.24: Eje de coordenadas cartesianas.
(OpenCourseWare, 2015)

“Pues bien, también podemos identificar cada punto del plano por otros dos números: uno es la distancia que lo separa del origen de coordenadas, r , y otro el ángulo t que forma el segmento que une P con el origen con el sentido positivo del eje horizontal. r se denomina módulo de P y t argumento de P , y el par (r, t) se denomina coordenadas polares de P .” (OpenCourseWare, 2015)

“Esta relación no es unívoca, en el sentido de que a un punto P le corresponden infinitos pares, puesto que podemos escoger el ángulo t o cualquier otro de la forma $t + 2k$. Para que a un punto le corresponda un único par, debemos escoger los ángulos en un intervalo de longitud 2π , que normalmente será el intervalo $[0, 2\pi)$. De esta manera, a cada punto P del plano distinto del origen $(0, 0)$ le corresponde un único par (r, t) , con $r > 0$ y $0 \leq t < 2\pi$.” (OpenCourseWare, 2015)

El origen de coordenadas se caracteriza porque $r = 0$, pero t puede ser cualquier ángulo. Aplicando un poco de trigonometría, la relación entre las coordenadas cartesianas de un punto y sus coordenadas polares es clara:

$$\begin{aligned} x &= r \cos(t) & r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ y &= r \operatorname{sen}(t) & t &= \arctan(y/x) \end{aligned} \quad (21)$$

“Con una precaución: para que la función arcotangente esté bien definida (a un número real le corresponda un único ángulo), debe escogerse un intervalo de longitud π en el que definir la imagen. Usualmente se define la función arcotangente de $|\mathbb{R} \rightarrow$ en el intervalo $[-\pi/2, \pi/2]$, $\arctan: |\mathbb{R} [-\pi/2, \pi/2]$. En este caso para un punto P que esté en el segundo o tercer cuadrante del plano la función $\arctan(y/x)$ nos dará un ángulo α entre $-\pi/2$ y $\pi/2$, y el verdadero argumento de P será $t = \alpha + \pi$. Y si P está en el cuarto cuadrante, el argumento de P será $\alpha + 2\pi$. Es decir, deberíamos escribir.” (OpenCourseWare, 2015)

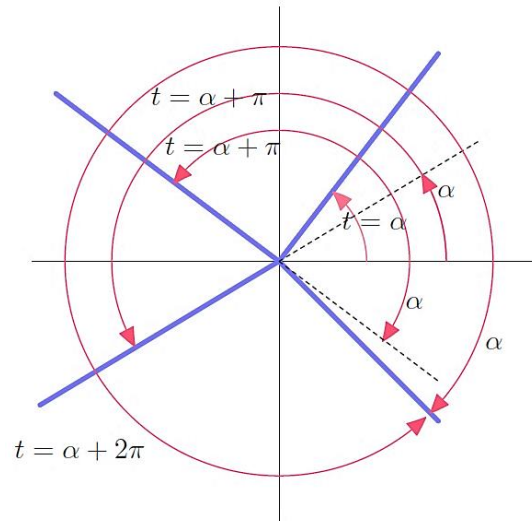


Figura 1.25: Eje de coordenadas polares. (OpenCourseWare, 2015)

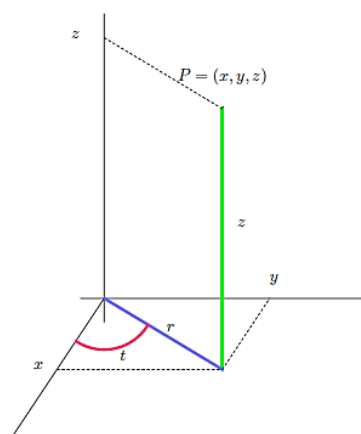
$$t = \begin{cases} \arctan(y/x) & \text{si } x \geq 0, y \geq 0 \\ \arctan(y/x) + \pi & \text{si } x < 0 \\ \arctan(y/x) + 2\pi & \text{si } x \geq 0, y < 0 \end{cases} \quad (22)$$

“En muchos casos, para simplificar un poco, se consideran los argumentos de los puntos del plano en $[-\pi/2, 3\pi/2]$, en vez de en $[0, 2\pi]$, y así podemos eliminar la tercera opción en la definición de t , admitiendo que los puntos del cuarto cuadrante tienen argumento negativo.” (OpenCourseWare, 2015)

B. COORDENADAS CILÍNDRICAS EN EL ESPACIO

En el espacio tridimensional partimos de la representación cartesiana del espacio mediante ternas ordenadas de números, que representan la distancia del punto a tres ejes ortogonales, llamados ejes de coordenadas. De este modo cada punto del espacio está unívocamente determinado por sus tres coordenadas $P = (x, y, z)$. (OpenCourseWare, 2015)

Pero también podemos identificar cada punto del espacio por otros tres números: dos números r y t son las coordenadas polares en el plano horizontal de la proyección de P sobre este plano, $P' = (x, y, 0)$, y el tercero es la altura de P sobre el plano horizontal, la coordenada z . La terna (r, t, z) se denomina coordenadas cilíndricas de P . (OpenCourseWare, 2015)



$$\begin{cases} x = r \cos(t) \\ y = r \operatorname{sen}(t) \\ z = z \end{cases}$$

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2} \\ t = \arctan(y/x) \\ \text{con las mismas condiciones que} \\ \text{en las coordenadas polares} \\ z = z \end{cases}$$

Figura 1.26: Eje de coordenadas cilíndricas. (OpenCourseWare, 2015)

C. COORDENADAS ESFÉRICAS EN EL ESPACIO

Cada punto del espacio tridimensional se puede identificar también mediante otros tres números: dos ángulos y una distancia.

φ es el ángulo que forma el vector P con el plano horizontal (latitud). Θ es el ángulo que forma el vector P con el plano $y = 0$ (longitud). Y ρ es la distancia de P al origen de coordenadas. La terna (ρ, Θ, φ) se denomina coordenadas esféricas de P . (OpenCourseWare, 2015)

$$\varphi \in [-\pi/2, \pi/2], \quad \theta \in [0, 2\pi), \quad \rho \geq 0$$

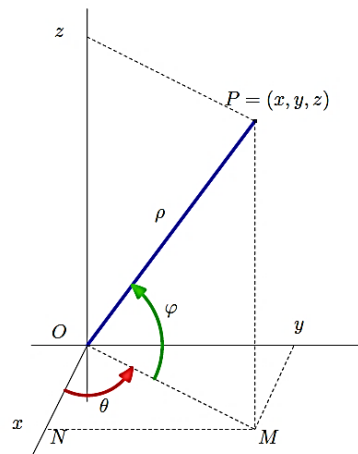


Figura 1.27: Eje de coordenadas esféricas. (OpenCourseWare, 2015)

Aplicando un poco de trigonometría a los triángulos OPM y OMN, tenemos:

$$z = \rho \operatorname{sen} \varphi$$

$$OM = \rho \cos \varphi$$

$$x = OM \cos \theta = \rho \cos \varphi \cos \theta$$

$$y = OM \operatorname{sen} \theta = \rho \cos \varphi \operatorname{sen} \theta \quad (23)$$

Que son las ecuaciones que permiten obtener las coordenadas cartesianas a partir de las coordenadas esféricas. (OpenCourseWare, 2015)

Recíprocamente,

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\varphi = \operatorname{arcsen}(z/\rho)$$

$$\theta = \begin{cases} \operatorname{arctan}(y/x) & \text{si } x \geq 0, y \geq 0 \\ \operatorname{arctan}(y/x) + \pi & \text{si } x < 0 \\ \operatorname{arctan}(y/x) + 2\pi & \text{si } x \geq 0, y < 0 \end{cases} \quad (24)$$

2.3.- COMPONENTES DEL SISTEMA ANTISÍSMICO

Luego, para empezar a desarrollar y poder escoger los tipos de sensores, que brindarán soporte a la detección de las perturbaciones del terreno, se centró en el sensor de movimiento (giroscopio/acelerómetro) y el magnetómetro o brújula, el cual se basó en el sensor MPU-6050 para la tarjeta programable Arduino UNO R3, así como el sensor GY-88 (brújula) para la tarjeta programable Arduino Nano. El diseño del mismo que se detallará el procedimiento de implementación en la propuesta o desarrollo. En la etapa de la aplicación y detección de la potencia, se usó un potenciómetro con entrada de 5v, para lograr establecer relación entre la automatización de la antena, usando el Arduino UNO, simulando la entrada de voltage que brinda el ODU al sistema real.

2.3.1. ARDUINO UNO R3

El Arduino Uno es una placa electrónica basada en el ATmega328. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 pueden utilizarse para salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA o la batería a CC para empezar. (Arduino E. d., Arduino, 2015)

El Uno es diferente de todas las placas anteriores en que no utiliza el chip controlador de USB a serial FTDI. En lugar de ello, cuenta con la Atmega16U2 (Atmega8U2 hasta la versión R2) programado como convertidor USB a serie. (Arduino E. d., Arduino, 2015)

Revisión 2 de la tabla Uno tiene una resistencia que va desde la línea 8U2 HWB al punto de tierra, por lo que es más fácil de poner en modo DFU. (Arduino E. d., Arduino, 2015)

Revisión 3 de la placa tiene las siguientes características nuevas:

- 1,0 pinout: SDA añadido y pines SCL que están cerca al pin AREF y otros dos nuevos pasadores colocados cerca del pin RESET, la instrucción IOREF que permiten a los escudos adaptarse a la tensión suministrado desde la pizarra. Más adelante, los shield o escudos serán compatibles tanto con el tablero que utiliza el AVR, que funciona con 5V y con el Arduino Due que funciona con 3.3V. El segundo es un pin no está conectado, que se reserva para usos futuros.
- Se Fortalece el circuito de REINICIO.
- Atmega 16U2 sustituye el 8U2.

El Arduino Uno es el último de una serie de placas Arduino USB y el modelo de referencia para la plataforma Arduino. (Arduino E. d., Arduino, 2015)

A continuación se muestra el Arduino UNO, en el cuál se basó para automatizar la energía de los servomotores:

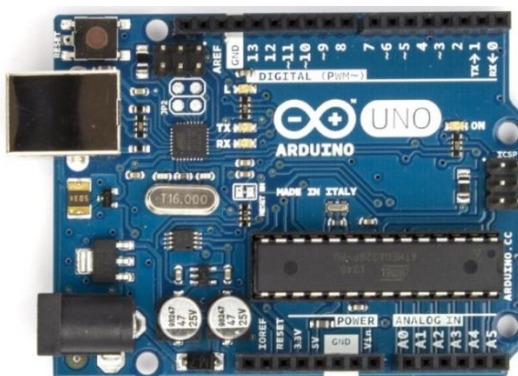


Figura 1.28: Vista frontal del Arduino UNO R3. (Arduino E. d., Arduino, 2015)

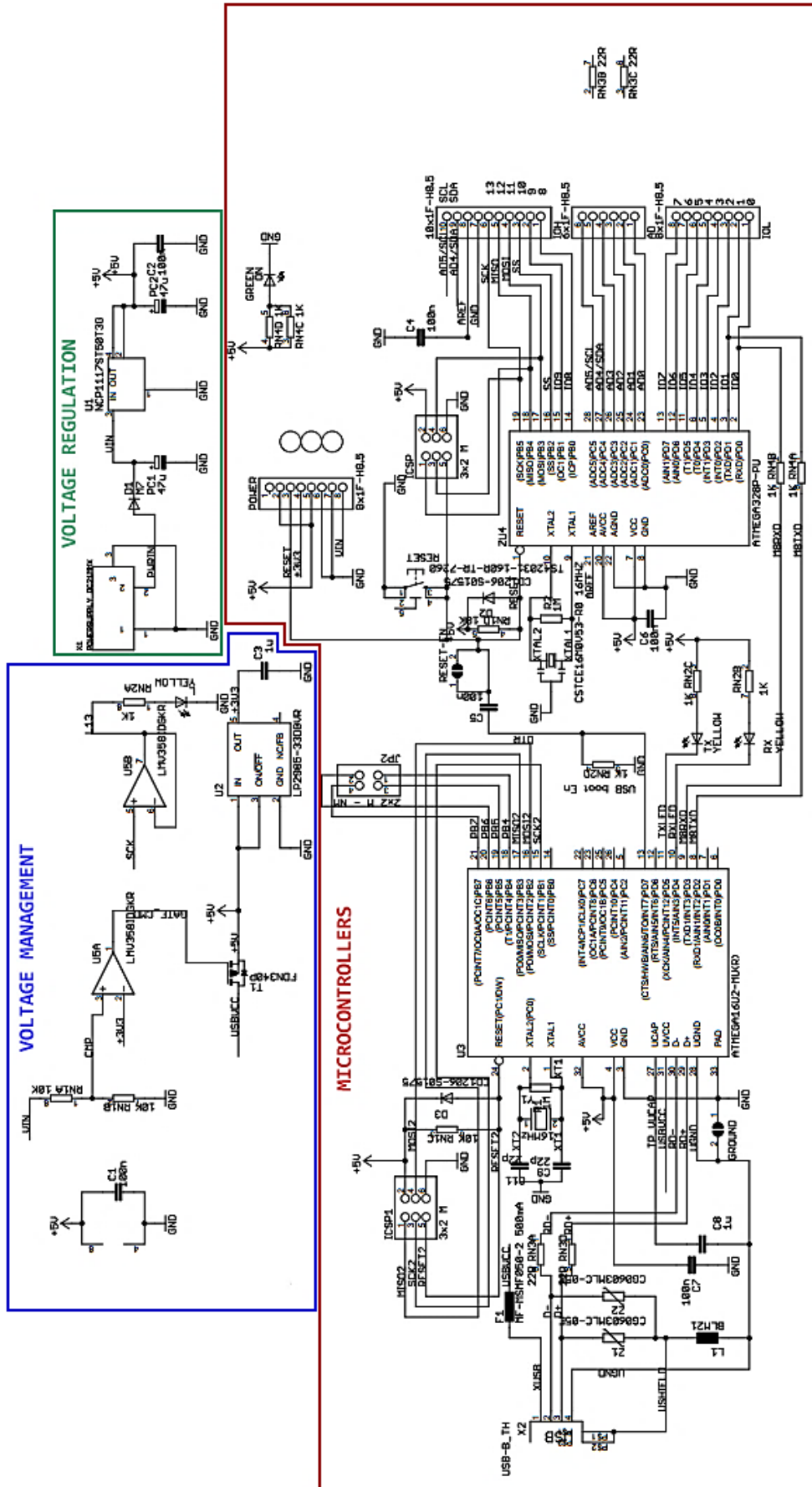


Figura 1.29: Diagrama esquemático del Arduino UNO R3. (Arduino E. d., Arduino, 2015)

Este Arduino UNO r3 que tiene buena capacidad de almacenamiento de datos, es el más fácil de usar ya que cuenta con entradas de 6 a 20v, los cuales se utilizan para conectar los módulos de sensores, lo que ayudan a activar de manera inteligente y programable los servomotores a través de sus 2 salidas (2 servomotores), que maniobran las 2 partes de la Antena, señalada anteriormente.

2.3.2. SENSOR MPU-6050

El sensor InvenSense MPU-6050 contiene un acelerómetro MEMS y un giroscopio MEMS en un solo chip. Es muy precisa, ya que contiene 16 bits de analógico a digital de hardware de conversión para cada canal. Para ello capta la x, y, z y el canal al mismo tiempo. El sensor utiliza el I2C-bus para interconectar con el Arduino. (Arduino, 2015)

El MPU-6050 no es costoso (Apróx. S/.20.00 en moneda local), especialmente teniendo en cuenta el hecho de que combina un acelerómetro y un giroscopio.

A continuación se muestra el sensor escogido para llegar a automatizar el funcionamiento de los servomotores.



Figura 1.30: Sensor MPU-6050. (Arduino, 2015)

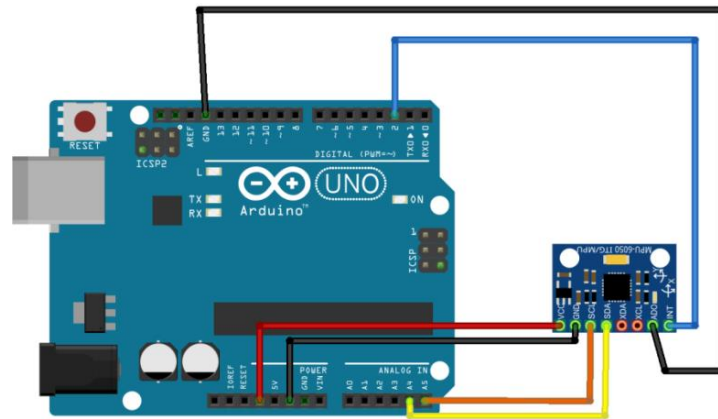


Figura 1.31: Circuito montado en un Arduino UNO con un sensor MPU-6050, para detectar las vibraciones en 3era dimensión.
(DomoticX, 2016)

Este sensor ayudará a mantener estable la antena a través de los valores de sus ejes (trabajando solo los ángulos de elevación) de tal modo que se mantenga siempre en el rango, mediante su conexión a los servomotores a través del Arduino UNO.

2.3.3. ARDUINO NANO

El Arduino Nano es un pequeño y completo tablero fácil de usar como placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.x) o ATmega168 (Arduino Nano 2.x). Tiene más o menos la misma funcionalidad de la Arduino Duemilanove, pero en un paquete diferente. Carece de una sola toma de corriente continua, y funciona con un cable Mini - B USB en lugar de uno normal. El Nano fue diseñado y está siendo producido por Gravitech. (Arduino E. d., Arduino - Genuino, 2016)

Especificaciones técnicas:

- Microcontrolador: Atmel ATmega168 o ATmega328
- Tensión de funcionamiento (nivel lógico): 5 V
- Voltaje de entrada (recomendado): 7-12 V
- Voltaje de entrada (límites): 6-20 V

- Pines Digitales I / O: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM).
- Pines de entrada analógicas: 8
- Pin de Corriente DC por I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 16 KB (ATmega168) o 32 KB (ATmega328) de los cuales 2 KB son utilizados por el gestor de arranque.
- SRAM: 1 KB (ATmega168) o 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 512 bytes (ATmega168) o 1 KB (ATmega328)
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- Dimensiones: 0,73 "x 1,70 "
- Longitud: 45 mm
- Ancho:18 mm
- Peso: 5 g (Arduino E. d., Arduino - Genuino, 2016)

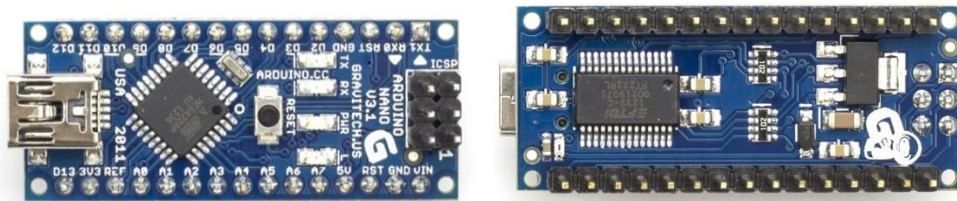


Figura 1.32: Arduino Nano (Arduino E. d., Arduino - Genuino, 2016)

Este Arduino Nano, permitirá trabajar en conjunto con el sensor brújula GY-88, permitiéndole almacenar su información y trabajar a la par comunicándose con el Arduino UNO quien controla el MPU-6050 (Giroscopio/ Acelerómetro), ya que éste registrará la posición y dirección de los vectores horizontales (ángulos de azimut), permitiendo al sistema, leer y volver a su posición pre-configurada, con la medición de la potencia mediante el potenciómetro (2.5v-5v.).

2.3.4. SENSOR GY- 88

Es un módulo compacto que incluye un giroscopio, acelerómetro, brújula digital, y un sensor de presión barométrica / temperatura. Todos los sensores individuales son accesibles a través de I2C lo que sólo necesita 4 conexiones para acceder a todos los sensores. SDA, SCL, tierra y Vcd (se puede utilizar o 3.3v 5v). El sensor es ideal para diseñar control de robótica, medición de vibración, sistemas de medición inercial (IMU), detector de caídas, sensor de distancia y velocidad, y muchas cosas más. (HeTPro, 2016)

Especificaciones técnicas:

- Sensor acelerómetro y giroscopio:MPU6050
- Sensor compas:HMC5883L
- Sensor de presión: BMP085
- Voltaje: 3.3V a 5V
- Acelerómetro de 3 ejes digital
- Giroscopio de 3 ejes digital
- Compas de 3 ejes digital
- Sensor de presión barométrica digital
- Rango del giroscopio:+ 250 500 1000 2000 °/S
- Rango del acelerómetro: $\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$ g
- Rango del HMC5883L: $\pm 1.3-8$ Gauss (HeTPro, 2016)

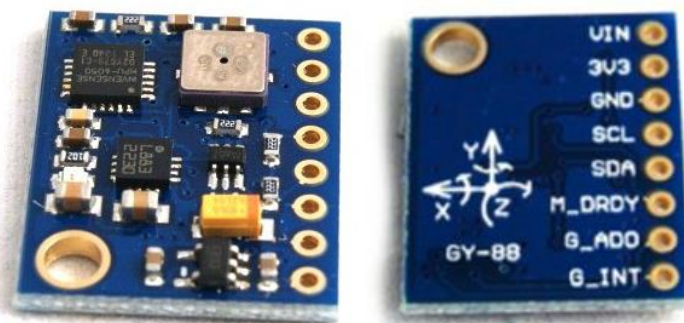


Figura 1.33: Sensor GY-88 (HeTPro, 2016)

Este sensor en conjunto con el Arduino UNO, permitirá sensar y/o medir las direcciones planas, simulando la detección del eje vertical del sistema como refuerzo a mpu-6050, permitiendo al sistema, leer y volver a su posición pre-configurada, con la medición de la potencia mediante el potenciómetro (Valores de 2.5v a 5v).

2.3.5. MOTOR SHIELD

Adafruit diseñó un Shield muy útil en el año 2008, llamado "Adafruit Motor Shield". Es un shield útil con componentes mayores. El tutorial de la página web de Adafruit explica el uso. En 2014, Adafruit discontinuó este shield y tiene un nuevo y mucho mejor motor shield ahora. (Adafruit, 2015)

El Shield contiene dos drivers de motor L293D y un registro 74HC595. El registro de desplazamiento se expande 3 pines del Arduino a 8 pines para controlar la dirección de los controladores de motor. La habilitación de salida de la L293D está conectada directamente a las salidas PWM de Arduino. (Adafruit, 2015)

Para aumentar la corriente máxima, el integrado L293D permite fichas extra con "Piggyback". Piggyback está soldando uno o dos o tres pilotos L293D adicionales en la parte superior de los controladores L293D en el tablero para aumentar la corriente máxima. El L293D permite el funcionamiento en paralelo. (Adafruit, 2015)

El escudo del motor es capaz de conducir 2 servomotores, y tiene 8 salidas de medio puente para 2 motores paso a paso o 4 salidas llenas de motor H- puente o 8 conductores de medio puente, o una combinación. Los servomotores utilizan el + 5V de la placa Arduino. El regulador de voltaje de la placa Arduino puede generar calor.

Para evitar esto, el más reciente Motor Shield tiene puntos de conexión separada de +5V para los servomotores. (Adafruit, 2015)

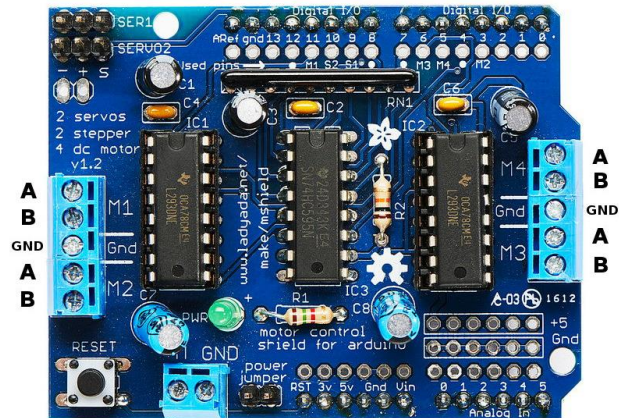


Figura 1.34: Motor Shield para Arduino (Adafruit, 2015)

Este módulo para Arduino, ayuda a manejar los servomotores de mayor torque en el sistema, ayudándolos así a mantenerse en buen funcionamiento, debido a su alto consumo de corriente de los servos de alta performance.

2.3.6. SERVO MOTOR TOWERPRO MG996R

Servomotor TowerPro MG996R con alto Torque, hasta 11Kg-cm. Versión mejorada del conocido MG995. Robusto, alto rendimiento, compacto, preciso, con engranes de Metal, tamaño estándar, incluye accesorios y tornillos para montarlo en cualquier proyecto. Ideal para manejar las 2 partes de la base giratoria del prototipo del sistema planteado. (electronicoscaldas, 2015)

Datos Técnicos del Servo motor:

- ✓ Dimensiones: 40.7 * 19.7 * 42.9mm apróx.
- ✓ Peso: 55g
- ✓ Torque de parada: 9.4Kgf.cm (4.8V) y 11Kgf.cm (6V).

- ✓ Corriente de parada: 2.5 A (6V).
- ✓ Velocidad de Operación sin carga: 0.17 segundos / 60 grados (4.8V); 0.14 segundos / 60 grados (6.0V).
- ✓ Velocidad de Opera: 53 a 62 rpm.
- ✓ Temperatura de Operación: 0° - 55°.
- ✓ Ajustes de Banda Muerta: 5 microsegundos.
- ✓ Ángulo de Rotación: Un máximo de 120 grados (60° en cada dirección).
- ✓ Modulación: Digital.
- ✓ Corriente de Operación: 500 mA – 900mA (6V).
- ✓ Voltaje de entrada: 4.8 V a 7.2V.
- ✓ Materiales de Construcción: Dientes de metal de cobre, motor sin núcleo, doble cojinete de bolas. (electronicoscaldas, 2015)



Figura 1.35: Servomotor TowerPro MG996R (electronicoscaldas, 2015)

2.3.7. SERVO MOTOR CYS- S8218

Servomotor S8218 con engranes metálicos de gran tamaño y torque, hasta 40Kg-cm, ideal para todo tipo de proyectos de electrónica y aficionados, que requieran un alto torque. El servomotor se controla igual que el servo estándar (de modulación digital). La carcasa de este motor es de metal lo cual lo hace más robusto y menos

susceptible a calentarse ya que la misma actúa como disipador. Servomotor de alta calidad para uso robusto, engranes metálicos y carcasa de metal. Como se puede ver en sus especificaciones, es más grande que un Servomotor convencional pues el motor y sus engranes están hechos para soportar grandes cargas y peso. (CYS Model Technology, 2015)

Ideal para manejar las 2 partes del sistema de antena de MW de 30.48cm de diámetro en el disco reflector.

Tabla 1.10: Datos técnicos del servomotor CYS-S8218.

Wire (cm)	Size (MM)					Weight		6V			7.2V		
								Speed		Torque	Speed		Torque
	A	B	C	D	E	g	oz	sec/60°	kg-cm	oz-in	sec/60°	kg-cm	oz-in
30.0	59.5	29	55.2			164		0.2	38		0.18	40	

Fuente: (CYS Model Technology, 2015)

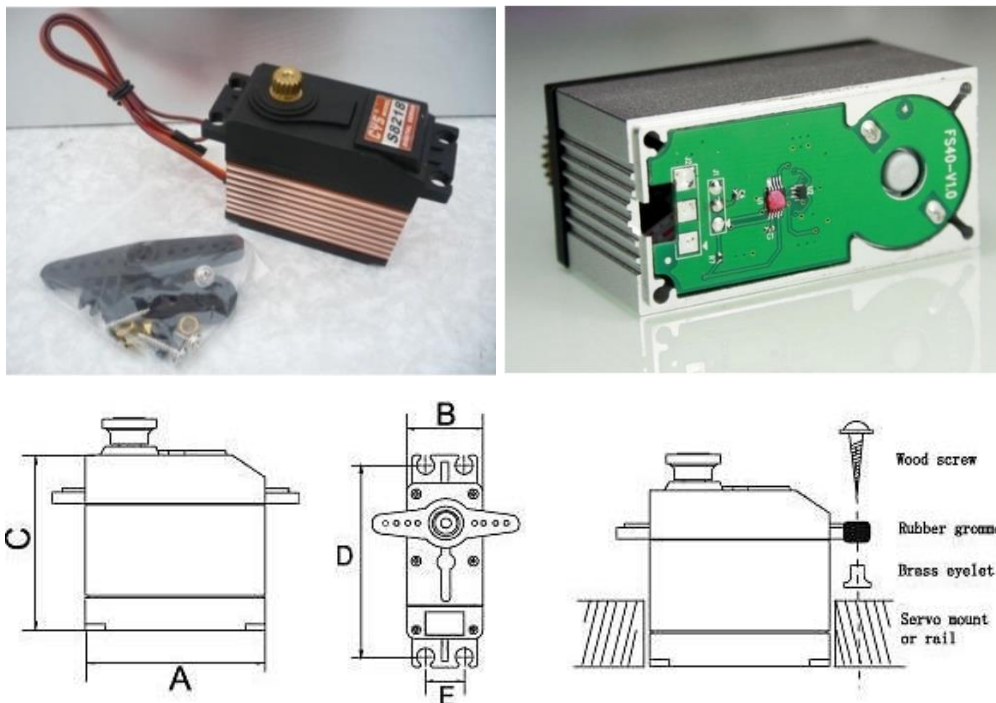


Figura 1.36: Servomotor CYS-S8218 (CYS Model Technology, 2015)

2.3.8. MÓDULO BLUETOOTH HC-05

El Módulo Bluetooth HC-05 V2 presenta la capacidad para gestionar el modo master (maestro) y el modo slave (esclavo) por configuración. Es un módulo sencillo e ideal para proyectos en los que se busca una comunicación fácil entre un móvil y Arduino u otros microcontroladores. (Prometec.net, 2016)

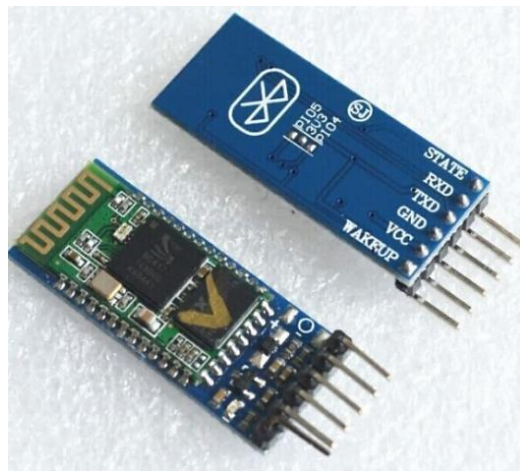


Figura 1.37: Módulo Bluetooth HC-05 (Prometec.net, 2016)

Características:

- 3.3 / 5 v.
- Chip BC417143
- Alcance 10 mts
- Nivel TTL
- 1200bps a 1.3Mbps

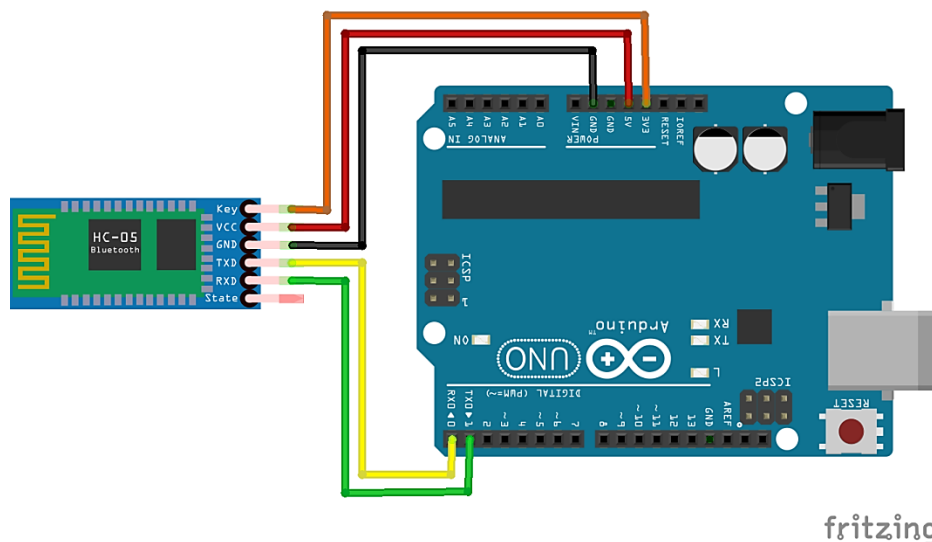


Figura 1.38: Conexiones del módulo Bluetooth al Arduino UNO
(Prometec.net, 2016)

“En primer lugar, para que el HC-05 entre en modo comandos AT, requiere que cuando se enciende el modulo, el pin KEY este HIGH. Por eso se ha conectado la tensión Vcc del módulo Bluetooth al pin 8 de nuestro Arduino.” (Prometec.net, 2016)

“El consumo del módulo es de baja intensidad como para que el Arduino sea capaz de alimentarlo sin problemas, por eso el modulo se encenderá cuando el pulso de coloque en HIGH en el pin 9. Esto permitirá poner en HIGH el pin digital 8, al iniciar nuestro programa y después habilitar el pin 8, de este modo cuando arranque entra sin más en el modo de comandos AT.” (Prometec.net, 2016)

“Los pines Txd y Rxd se deben conectar cruzados con los pines de comunicación de Arduino, que se usa mediante la librería software Serial.” (Prometec.net, 2016)

Éste módulo Bluetooth permite en el proyecto de tesis propuesto, establecer una comunicación de corto alcance (máximo 20 metros) entre el sistema del prototipo y nuestro Smartphone, permitiendo monitorear los ángulos de azimut y elevación obtenidos por la

calibración del sistema; De este modo se podrá contrastar con los valores calculados en el radioenlace.

A continuación se muestra el cuadro de comandos más aplicables al Arduino UNO para el funcionamiento y control del módulo bluetooth HC-05.

Tabla 1.11: Cuadro de comandos AT para el HC-05.

AT COMMAND LISTING	
COMMAND	FUNCTION
AT	Test UART Connection
AT+RESET	Reset Device
AT+VERSION	Query firmware version
AT+ORGL	Restore settings to Factory Defaults
AT+ADDR	Query Device Bluetooth Address
AT+NAME	Query/Set Device Name
AT+RNAME	Query Remote Bluetooth Device's
AT+ROLE	Query/Set Device Role
AT+CLASS	Query/Set Class of Device CoD
AT+IAC	Query/Set Inquire Access Code
AT+INQM	Query/Set Inquire Access Mode
AT+PSWDAT+PIN	Query/Set Pairing Passkey
AT+UART	Query/Set UART parameter
AT+CMODE	Query/Set Connection Mode
AT+BIND	Query/Set Binding Bluetooth Address
AT+POLAR	Query/Set LED Output Polarity
AT+PIO	Set/Reset a User I/O pin

Fuente: (Prometec.net, 2016)

2.3.9. MÓDULO BLUETOOTH 4.0 BLE (HM-10)

“La tecnología Bluetooth 4.0 ahora está disponible con los nuevos módulos BLE (Bluetooth Low Energy, o Bluetooth de baja energía,

en español). Esta tecnología ofrece muchas ventajas respecto a su antecesora (HC-05). La nueva tendencia de dispositivos wearable (usables) trabaja con este estándar gracias a su bajo consumo, mayor ancho de banda y mayor alcance entre otros. Se puede usar para comunicar tus proyectos con tu Smartphone, iPhone/iPad o Tablet Android. La comunicación trabaja totalmente encapsulada y sólo debes conectar los pines Tx y Rx.” (Botscience.net, 2016)

Definición de los pines :

- STATE - Indicador del estado del módulo.
- RXD - Recibe data.
- TXD - Envío data.
- GND – Tierra.
- VCC - Alimentación CD (3.3V-6Vcd).
- KEY - Enciende/apaga el módulo por este pin. (Botscience.net, 2016)

Especificaciones:

- TTL de datos de transferencia transparente entre un dispositivo Bluetooth anfitrión (IOS o Android).
- Ultra- bajo consumo de energía en espera $400\mu\text{A} \sim 800\mu\text{A}$.
- Por defecto Velocidad de transmisión: 9600, 8,1, n.
- Cobertura de hasta 60 metros.
- Construido en antena.
- Entrada de energía: 3.6V - 6V. (Botscience.net, 2016)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Este proyecto consiste en el diseño de un sistema de antena que ajustará su posición automáticamente aunque exista cierto movimiento terrestre y mantendrá la máxima potencia en la línea de vista. Considerando que los movimientos sísmicos podrían mover y modificar la calibración de la antena de recepción e incluso de transmisión en antenas, debido a las continuas vibraciones, ocasionando desajustes progresivos en la instalación hecha a la estructura de base de las antenas de microondas. Ayuda a este actual sistema de radioenlaces, y permite automatizar la medición y percepción de dichos fenómenos mediante los sensores de aceleración (acelerómetro) con giro (giroscopio), y magnetómetro (brújula), así como el de medición de potencia en recepción respecto a los Odus (una unidad externa moduladora/demoduladora de señal) de las antenas.

El sistema cuenta con un sistema mecánico (2 partes) que permite sujetar la antena, que está conectado a los 2 servomotores del sistema (CYS-S8218) que permiten sostener cada uno hasta 40kg-cm (torque), maniobrando así a la antena. Una parte del sistema mecánico maniobra los ángulos de rotación horizontal y la otra parte, maniobra los ángulos de inclinación vertical, permitiendo así garantizar la mejor comunicación entre las antenas de microondas del sistema.

Cada servo funciona mediante los pulsos digitales del Arduino UNO R3. Los sensores de movimiento y giro (acelerómetro-giroscopio Mpu-6050) y de brújula (GY-88), activan los servomotores a través del Arduino UNO, de tal manera que estos comienzan su sincronización, rotando poco a poco ($1^\circ/100\text{ms}$), y cuando la señal del receptor (equipo electrónico) aumente o se estabilice, envía una señal a la plataforma de hardware libre donde se detienen los motores en ese momento exacto, luego de que el Arduino UNO detiene los servos cuando éste obtiene la mayor ganancia de voltaje (2.5-5v). Así mismo a través del módulo Bluetooth y el Arduino Nano se puede monitorear las lecturas de los sensores a través de un App usada en un Smartphone. Todas estas condiciones y procedimientos quedan detallados más adelante.

La propuesta de este proyecto consiste en estabilizar y mejorar la recepción de la señal en los radioenlaces de microondas en la telefonía móvil en las zonas donde existen muchas perturbaciones como temblores o terremotos.

Como se señalaba en el marco teórico se basa en 3 fases, el sistema de automatización y el diseño del sistema de antena de radioenlace en 4 etapas.

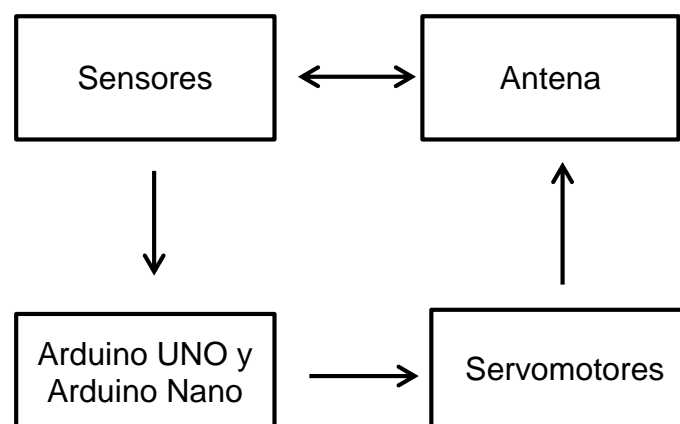


Figura 2.1: Diagrama de Bloques Simple del Proyecto. (Propia Autoría)

En esta parte, se señala y describe el sistema de antena de microondas en la cual se procede a diseñar según lo planteado en los objetivos.

En la estructura de la antena de la figura 1.2, se observa sus características en la cual se manejará para la aplicación y su uso específico para el diseño del sistema antisísmico en cuestión.

Como se describió en la figura 1.2, la antena es de tipo reflector parabólico, pareciendo un “Tambor”, la que se utiliza por su alto rendimiento, la cual al estar posicionada de tal manera que permite que la antena pueda tener un mejor diagrama direccional y línea de vista, lo que permite no solo ser un tipo de servicio, como es la transmisión de la señal 2g, 3g o 4g, sino que también servirán como un sistema de recepción y transmisión en general (por este medio de propagación).

Como se señalaba anteriormente en las características de este tipo de antena, tiene una ganancia adecuada (arriba de 20db), lo que permitirá mantener hasta cierto punto la mejor posible transmisión y recepción de la señal, aunque bien esta antena está pensada para utilizarse en radioenlaces de telefonía las frecuencias de operación serían de 21.2 a 26.6Ghz.

Ahora para describir el sistema antisísmico, se usará 2 servomotores Tower Pro MG 996R de una capacidad de 11Kgf.cm para el prototipo a escala y un servomotor CYS-S8218 de una capacidad de 40kg-cm de torque para el modelo de antena real de la fig. 2.2; uno se colocará en el eje principal, permitiendo un giro de 120° horizontal, y el otro, 120° también, en el eje vertical, de tal manera que aprovechen la mejor combinación de diagrama direccional, creando una antena tipo “radar de señal”, se denomina así, ya que perseguirá la mejor señal de transmisión, para obtener el mejor aprovechamiento de ganancia de voltaje. Luego vendría ya su estabilización y/o conservación de posición.

Esta antena también contará con un sensor en la parte superior, el cual se describirá en el siguiente sub-capítulo.



Figura 2.2: Antena VHL P1-23. (Inc., commscope.com, 2015)

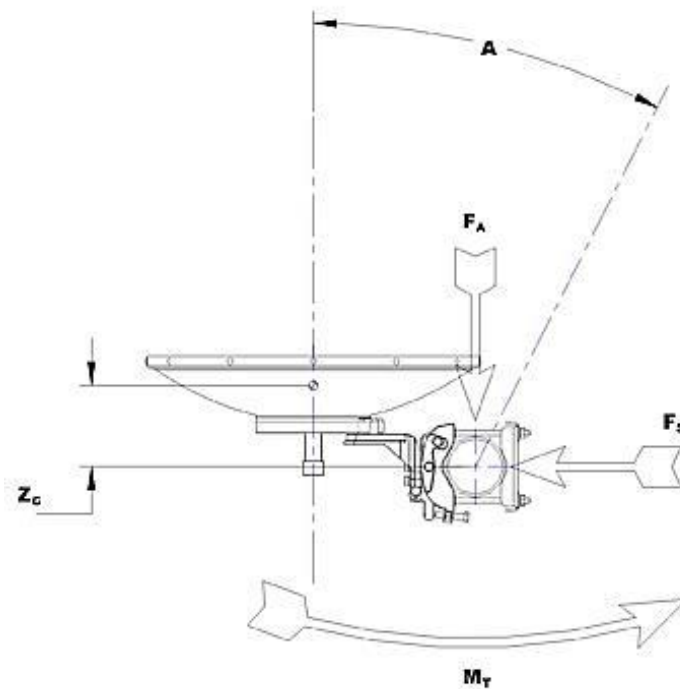
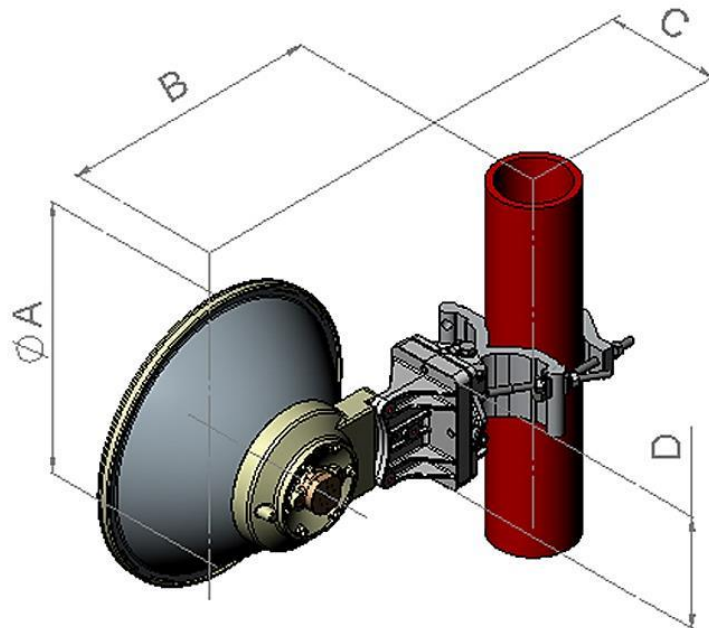


Figura 2.3: Rango de supervivencia a las fuerzas del viento a una velocidad de viento. (Inc., commscope.com, 2015)

Tabla 1.12: Clasificación de las fuerzas del viento a una velocidad de viento de supervivencia.

Fuerza axial (FA)	446 N 45.4 kgf
Fuerza lateral (FS)	198 N 20.4 kgf
Momento de Torsión (MT)	144 N•m
Peso con 1/2' (12 mm) con Hielo Radial	12 kg
Con Zcg 1/2' (12 mm) con Hielo Radial	43 mm
Zcg sin Hielo Radial	26 mm

Fuente: (Inc., commscope.com, 2015)



Dimensions in inches (mm)				
Antenna size, ft (m)	ØA	B	C	D
1 (0.3)	15.3 (388)	147 (372)	6.5 (166)	6.3 (160)

Figura 2.4: Dimensiones de la antena VHL1-23 y la información de montaje. (Inc., commscope.com, 2015)

Luego, tomando en cuenta los actuales ajustes de la antena a las torres de telefonía móvil (BTS), se considera modificar ese ajuste para adaptar

la base mecánica a la antena, en las figuras siguientes (figuras 2.5 a 2.6 y fig. 2.9) se muestran los ajustes de sistemas mecánicos actuales, y futuros (considerado para el tema de tesis), respectivamente.

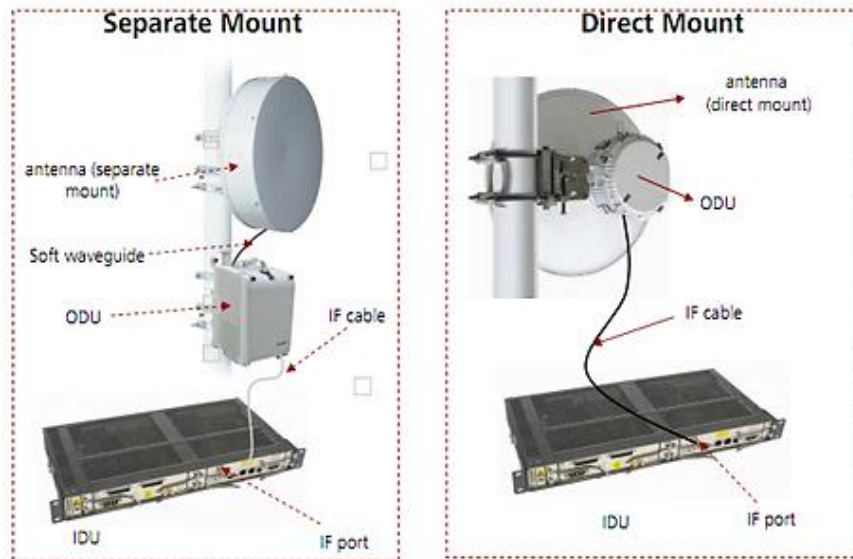


Figura 2.5: División de montaje de equipo de microondas – instalación. (Daenotes, 2015)

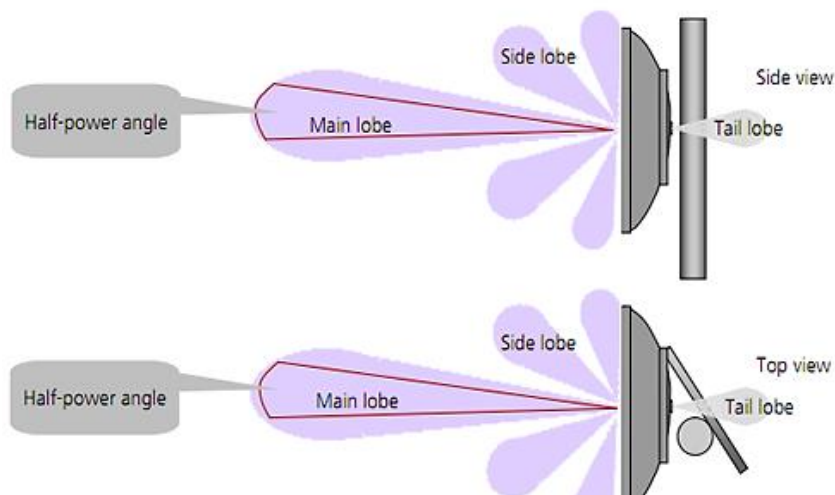


Figura 2.6: Primer ajuste de la antena. (Daenotes, 2015)

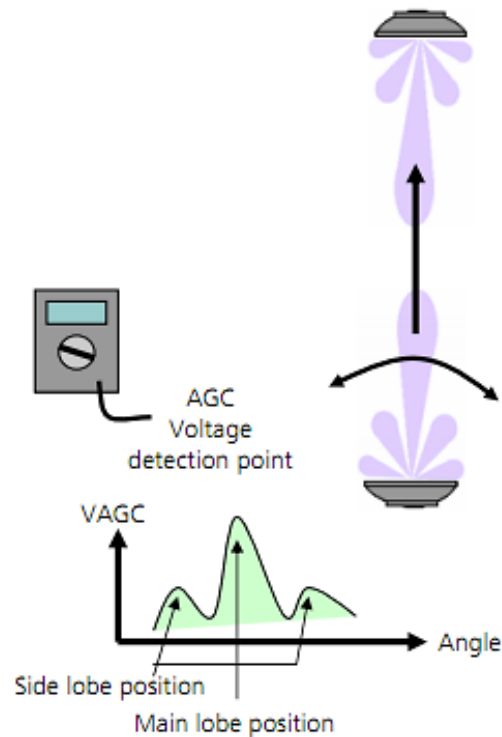


Figura 2.7: Segundo ajuste de la antena. (Daenotes, 2015)

“Durante el ajuste de la antena, cambiar la dirección vertical u horizontalmente. Mientras tanto, utilizar un multímetro para probar la RSSI en el extremo receptor. Por lo general, se mostrará la onda de tensión como se muestra en la esquina inferior derecha de la Fig. 2.7. El punto de pico de la onda de tensión indica la posición del lóbulo principal en la dirección vertical u horizontal. Un ajuste de gran alcance es innecesario. Realizar el ajuste fino de la antena hasta el punto de tensión máxima.” (Daenotes, 2015)

“Cuando las antenas están mal alineadas, un pequeño voltaje puede ser detectado en una dirección. En este caso, se deberá realizar el ajuste grueso en las antenas en ambos extremos, de manera que las antenas estén alineadas aproximadamente.” (Daenotes, 2015)

Las antenas en ambos extremos que están bien alineadas con su plato reflector un poco hacia arriba. Aunque 1 a 2 dB se pierden, se evita la interferencia de reflexión. (Daenotes, 2015)

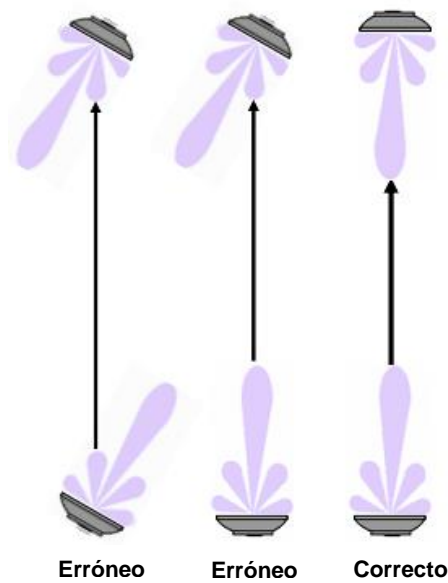


Figura 2.8: Tercer ajuste de la antena. (Daenotes, 2015)

“Durante el ajuste de la antena, los dos casos incorrectos de ajuste se muestran en la Fig. 2.8. Una antena está alineada a otra antena a través del lóbulo lateral. Como resultado, el RSSI (Indicador de fuerza de la señal recibida) no puede cumplir los requisitos.” (Daenotes, 2015)



Figura 2.9: Futuro montaje de antenas de radioenlace. (Technologies T. , 27)



Figura 2.10: Broadband Antenna Tracking - BATS Positioning Unit BTS-50000. (Technologies T. , 27)

Actualmente estos sistemas de montaje motorizados (Tilt), inicialmente aplicados a cámaras de video vigilancia, ya existen en el mercado norteamericano, pero no son automáticos, tienen que ser manipulados y/o programados por el técnico instalador, en las imágenes siguientes se muestran los diferentes tipos de sistemas y sus componentes:



Figura 2.11: Componentes de un primer sistema de ajuste manual de Pan y Tilt. (21Best, 2015)



Figura 2.12: Componentes de un segundo sistema de ajuste manual de Pan y Tilt. (21Best, 2015)



Figura 2.13: Componentes de un tercer sistema de ajuste manual de Pan y Tilt con conexión de puerto USB a PC. (21Best, 2015)



Figura 2.14: Componentes de un cuarto sistema de ajuste manual inalámbrico de Pan y Tilt. (21Best, 2015)

Tomando como referencia la fuente de información se considera diseñar un sistema mecánico de ajuste similar, en la siguiente figura se muestra el diagrama de dimensiones.

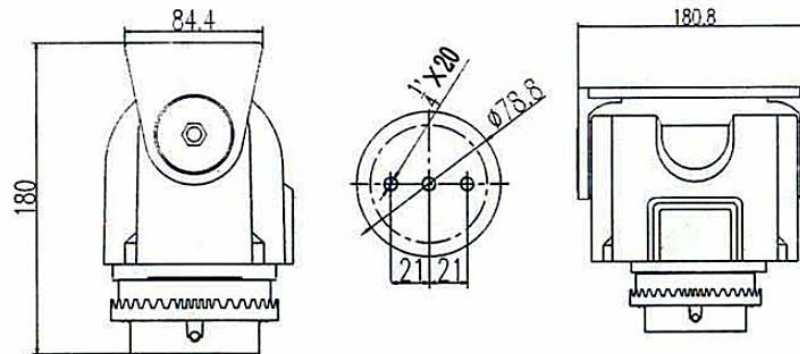


Figura 2.15: Diagrama de dimensiones de un sistema mecánico de ajuste.
(21Best, 2015)

El sistema de leste trabajo en cuestión, cuenta con un sistema cuasi mecánico (2 partes) que permite sujetar la antena, que conecta 2 servomotores (CYS-S8218) al sistema giratorio sosteniendo hasta 40kg-cm (torque), siendo de esta manera capaz de maniobrar antenas de 1 hasta 2 pies, como la señalada anteriormente en la fig. 2.2. Una parte del sistema mecánico maniobra los ángulos de rotación horizontal y la otra parte, los ángulos de inclinación vertical, permitiendo así encontrar la mejor comunicación entre antenas de microondas.

Cada servo funciona a través de las pulsaciones del Arduino UNO R3. Los sensores de movimiento y giro (acelerómetro-giroscopio Mpu-6050) y de posición horizontal o brújula (GY-88), conectado éste a un Arduino Nano, activan los servomotores a través del Arduino UNO R3, de tal manera que estos comienzan su sincronización, rotando paulatinamente ($1^\circ/100\text{ms}$), y cuando la señal del receptor (equipo electrónico) aumente o se estabilice, envía una señal a la plataforma de hardware libre donde se detienen los motores en ese momento exacto.

A continuación se señalan las etapas que se usaron para el diseño y construcción del prototipo en cuestión.

3.1.1. ETAPA DE DIMENSIONAMIENTO DE COMPONENTES

A continuación se desarrolla las mediciones correspondientes de los componentes a tomar en cuenta para la construcción del prototipo, mencionados a continuación:

- **Arduino UNO R3.-** Es una placa electrónica basada en el Atmega328 que es un tipo de microcontrolador básico. Sus medidas son: 7,5 cm de largo, 1,45 cm de alto y 5,3 cm de ancho.

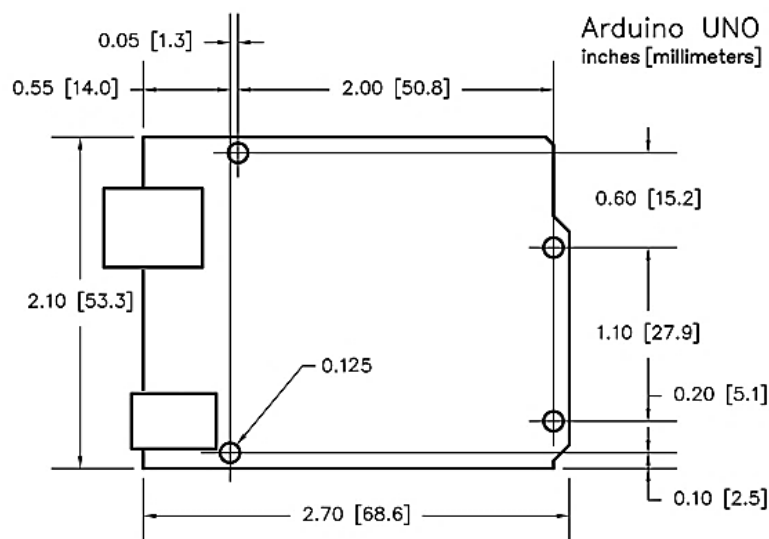


Figura 2.16: Dimensiones de un Arduino UNO R3.
(fingertechrobotics.com, 2016)

- **Arduino Nano 3.0.-** Es una placa pequeña electrónica basada en el Atmega328 (o 128 para el 2.3), su diseño es más compacto que el UNO. Sus dimensiones son: 4.32 cm de largo, 0.9 cm de alto y 1.78 cm de ancho. (Gravitech, 2016)

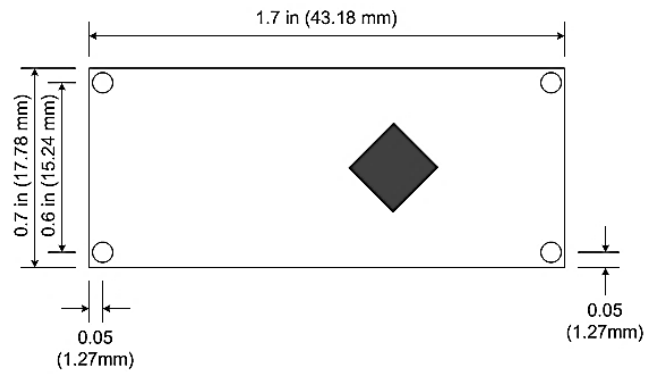


Figura 2.17: Dimensiones de un Arduino Nano. (Gravitech, 2016)

- **Sensor MPU-6050.-** Es un chip que contiene un acelerómetro Mems (detector de vibraciones) y un giroscopio Mems (De 3 ejes, X, Y, Z). Abarca 2,1cm de Largo, 1,6 cm de Ancho y 0,3 cm de Alto. (DealeXtreme Online Shop, 2016)

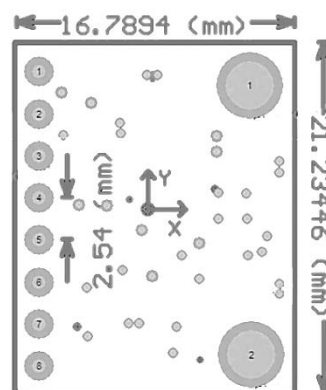


Figura 2.18: Dimensiones de un sensor MPU-6050. (DealeXtreme Online Shop, 2016)

- **Sensor Brújula GY-88.-** Es un chip que se establece como un magnetómetro que permite dirigirse como una brújula, como referencia al norte. Sus medidas son las siguientes: 2,1 cm de Largo, 1,7 cm de Ancho y 0,3 cm de Alto. (HeTPro, 2016)

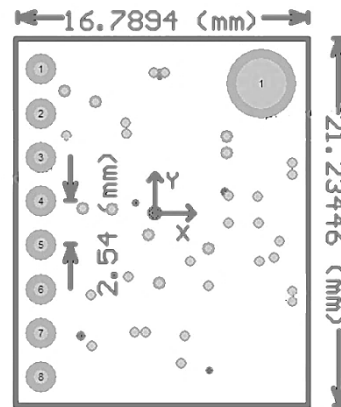


Figura 2.19: Dimensiones de un sensor GY-88. (DealeXtreme Online Shop, 2016)

- **Servomotor TowerPro MG996R.-** Es un motor de fase, controlado mediante modulación digital (pulsos digitales) del microcontrolador, tiene 11kg-cm de torque, esto también dependiendo del peso del tipo de antena de microondas. Sus medidas son: 4.03 cm de Largo, 2 cm de Ancho y 4.01 cm de Alto. (Makerstore, 2016)

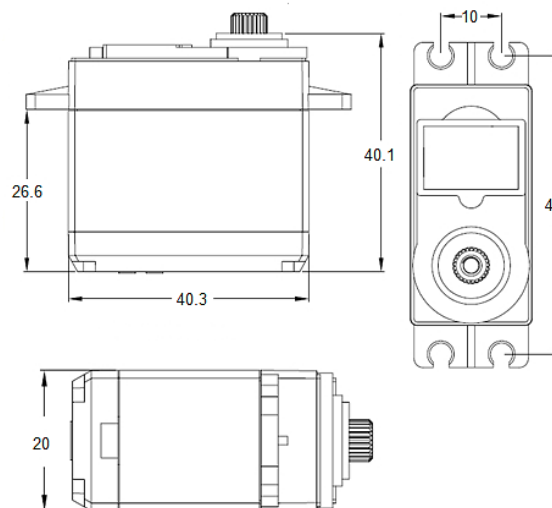


Figura 2.20: Dimensiones de un servomotor TowerPro MG-996R. (Makerstore, 2016)

- **Módulo Bluetooth HC-05/ HM-10.-** Este módulo permite monitorear, el monitor serial que arroja el Arduino UNO en la PC, pero desde nuestro Smartphone, es decir, inalámbricamente. Sus dimensiones son: 4cm de largo, 1.51 cm de Ancho y 0.4cm de Alto.

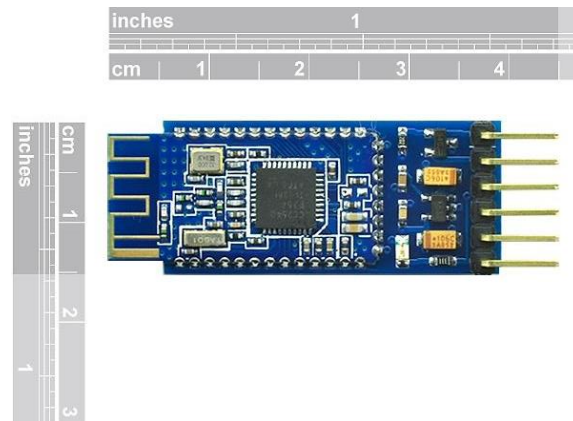


Figura 2.21: Dimensiones de un módulo Bluetooth. (Botscience.net, 2016)

3.1.2. ETAPA DE DISEÑO DE SOPORTES Y CHASIS

Para realizar los soportes de sujeción de los servomotores, se diseñó en AutoCAD 2012 piezas geométricas acopladas entre sí. A continuación se muestran las 2 piezas en 3D correspondiente al par de servos.

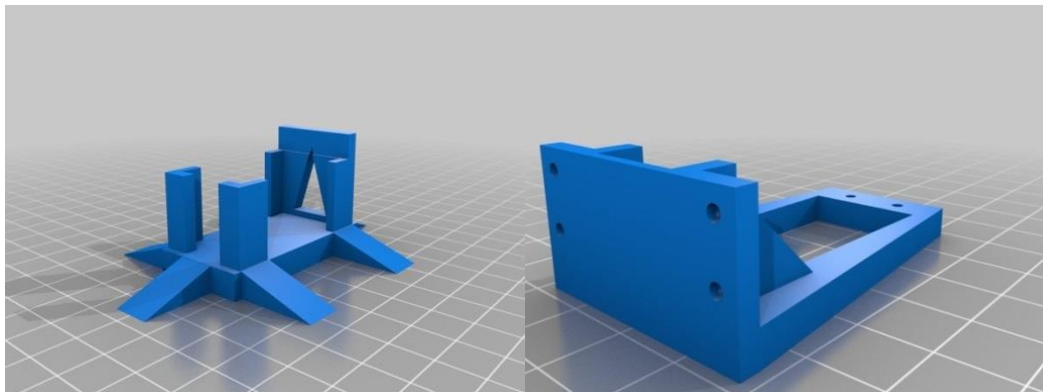


Figura 2.22: Diseño de los soportes de servos realizado en AutoCAD 2012.
(Propia autoría)

Luego para el diseño del chasis o maqueta para la agrupación y ordenación de todo el circuito interno, se desarrolló a mano alzada diferentes medidas hasta formar 2 variaciones de cubo 11x11cm.



Figura 2.23: Diseño de la maqueta del prototipo del sistema antisísmico realizada a mano alzada. (Propia autoría)

A continuación se muestra la imagen del prototipo terminado, después que los pedazos de madera han sido esmaltados de color aluminio y haber sido armadas todas las piezas de la maqueta, así como sus conexiones internas (circuitos), mencionadas en el subcapítulo siguiente.



Figura 2.24: Fotografía del prototipo terminado. (Propia autoría)

3.1.3. ETAPA DE DISEÑO CIRCITAL Y CONEXIONES

En la siguiente imagen adjunta, se muestra el diagrama de conexiones del circuito del sistema antisísmico de estabilización de posicionamiento de antenas de microondas, que fue diseñado y formado partiendo de la lógica y funciones de tomas de entradas y salidas de ambas plataformas libres (Arduino UNO y Nano) programadas en ambos circuitos. El diagrama del circuito fue esquematizado utilizando el software ISIS Proteus 8 Professional.

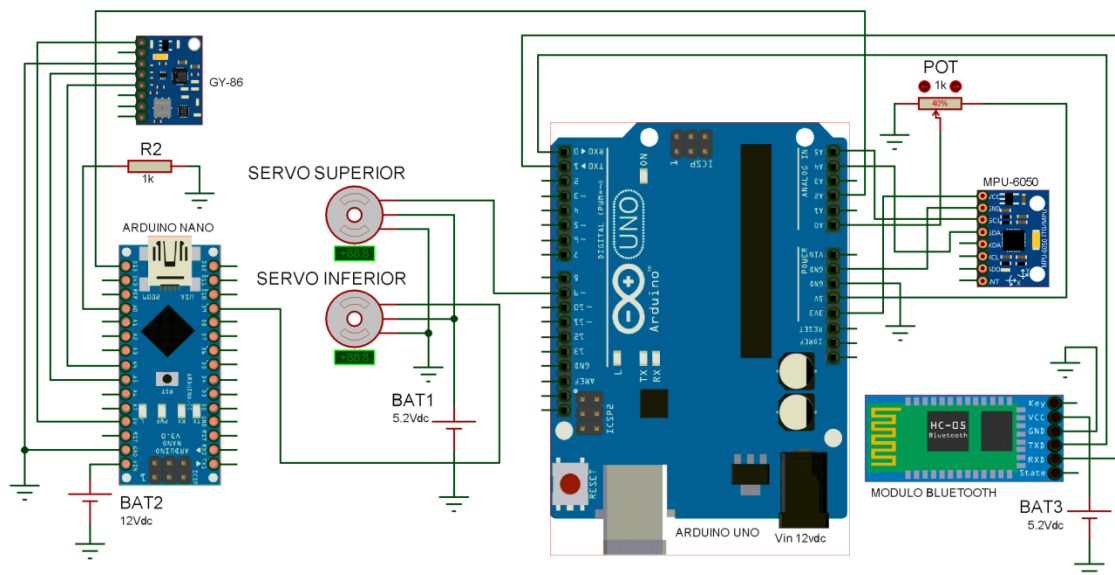


Figura 2.25: Diagrama de conexiones del sistema antisísmico realizado en ISIS Proteus 8 Professional. (Propia autoría)

3.1.4. ETAPA DE PROGRAMACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO

La programación de los Arduino UNO y Arduino Nano se encuentran en el apartado de Anexos. A continuación se muestra un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema, pudiéndose tomar como algoritmo de la programación de los Arduino UNO y Nano:

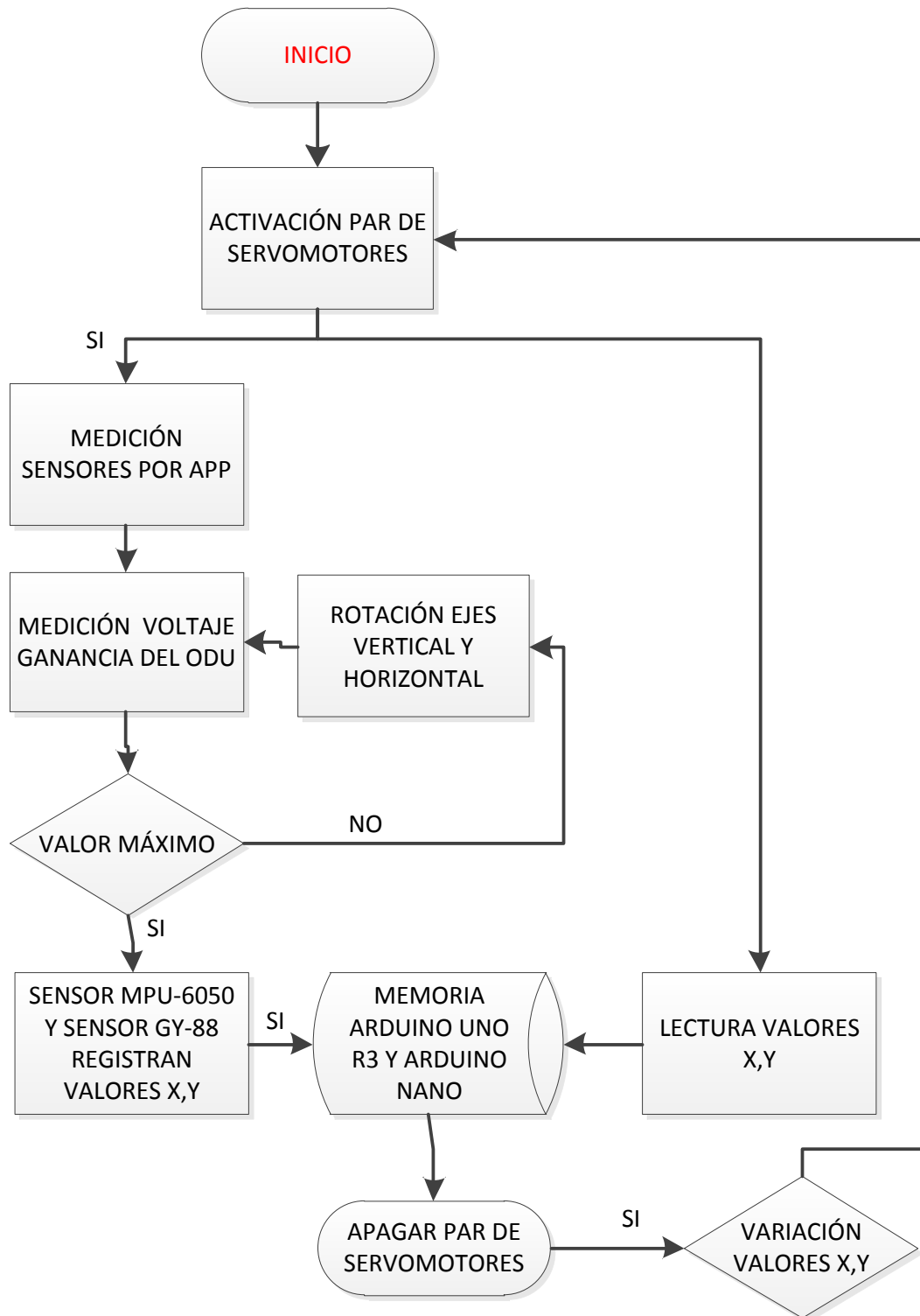


Figura 2.26: Diagrama de flujo del algoritmo del sistema antisísmico realizado en Microsoft Visio 2010. (Propia autoría)

3.2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD (VIABILIDAD) DE LA SOLUCIÓN

En este subcapítulo se describe los puntos que se deben considerar para el estudio y desarrollo del análisis **Costo-Beneficio** que se ven en estimaciones para la consideración del sistema (prototipo) a una línea de producción masiva de varias copias de éstos mismos como empresa.

Los costos del proyecto se clasificarán en 3 categorías: costos de inversión, costos de operación/ producción y costos de mantenimiento/ garantía de soporte. Esta información será la primera parte que nos será de utilidad para poder realizar posteriormente el flujo de caja. Para la identificación de los costos y beneficios del proyecto, y por ser de naturaleza hipotética, tomaremos como tiempo de depreciación un (1) año (primer año), que corresponde al desarrollo del sistema a escala real y la línea de producción de cuatrocientos (400) de éstos equipos como primer requerimiento anual, equivalente a la séptima parte del déficit de 4 departamentos en el Perú (Ancash, Lima, Ica y Arequipa). Dependiendo del tiempo desde la aprobación del proyecto, hasta el tiempo estimado de depreciación de los proyectos, hemos considerado los siguientes costos:

3.2.1. COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión consisten en el desembolso correspondiente a la contratación de personas, equipos, infraestructura. Las cuales son necesarias para poner a funcionar el proyecto.

A. COSTO DE RRHH

Este costo es por los recursos humanos designados a la elaboración del proyecto propuesto de acuerdo a las funciones realizadas. Todos los participantes trabajaran 8

horas diarias por 6 días a la semana por 4 semanas al mes, haciendo un total de 192 horas por mes, los roles considerados en el proyecto son los siguientes:

- **Jefe del Proyecto (Ingeniero):** su participación en el proyecto será desde el inicio hasta el final, siendo su sueldo mensual de: S/. 2,200.00.
- **Analista de Sistema:** su participación en el proyecto será de dos (2) meses, siendo su sueldo mensual de: S/. 1,500.00.
- **Diseñador - Programador:** su participación en el proyecto será de tres (2) meses, siendo su sueldo mensual de: S/. 1,200.00.
- **Coordinador de Producción:** su participación en el proyecto será de un (9) meses, siendo su sueldo mensual de: S/. 1,400.00.
- **Técnico Operativo:** su participación en el proyecto será de ocho (8) meses, siendo su sueldo mensual de: S/.1000.00.

A continuación se muestra la tabla de costo de cada uno de las personas involucradas en el proyecto:

Tabla 1.13: Costos de inversión de personal.

Personal				
Persona	Remuneración Mensual (S/.)	Tiempo (Meses)	Cantidad	Importe (S/.)
Jefe del Proyecto	2,000.00	12	1	24,000.00
Analista del Sistema	1,500.00	2	1	3,000.00
Diseñador-Programador	1,200.00	2	1	2,400.00
Coordinador	1,400.00	9	1	12,600.00

de Producción				
Técnicos Operativos	1,000.00	8	6	48,000.00
Total S/.				90,000.00

Fuente: (Propia autoría)

El costo que se tendrá por los recursos humanos será de S/. 90,000.00.

B. COSTOS DE EQUIPOS

Este costo contempla la adquisición de materiales de trabajo a los que se van a dar uso para el desarrollo de los sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas. Los materiales estimados están considerados en base a las necesidades durante el desarrollo del proyecto y son los siguientes:

- **Adquisición de equipos de cómputo y periféricos:** Se requieren equipos para el desarrollo del programa, diseño de las estructuras y documentación de los sistemas. En este caso cada juego comprende: 1 CPU core i5, 1 estabilizador, 1 monitor 15", 1 teclado, y 1 mouse. Cada juego por el precio de S/.1000.00
- **Adquisición de una cizalla cortadora de acero profesional:** Se requiere una Cizalla cortadora de acero para cortar las láminas de acero inoxidable y modelar las piezas para armar el chasis de cada sistema antisísmico de posicionamiento de antenas. En este caso el juego incluye: Cortadora Professional + Manual. El juego tiene un costo de S/.1500.00
- **Adquisición de una máquina de soldadura industrial y accesorios:** Se requiere la máquina para soldar todas las piezas metálicas de las estructuras del sistema. En este

caso cada juegos comprende: 1 maquina de soldar Energy 80-200A, 1 pinza de tierra y portaelectrodo 2,5-5,0mm-3/32"-3/16", 1 pinza de maza, 1 máscara, 1 cepillo/martillo, 5kg de varillas Indura para soldadura E6011 de 3/32". Toda la máquina y accesorios por el precio de S/.600.00.

- **Adquisición de una pulidora:** Se requiere la pulidora para quitar los desperfectos de las soldaduras, acabados del corte del acero inoxidable, como las virutas sobrantes y los relieves. Cada pulidora por un precio de S/.200.00

A continuación se muestra el costo de cada uno de los equipos involucrados en el proyecto:

Tabla 1.14: Costos de inversión de equipos.

Equipos			
Nombre	Costo Unidad (S/.)	Cantidad	Importe (S/.)
Equipos de Cómputo y periféricos	1,000.00	3	3,000.00
Cizalla Profesional para Acero	1,500.00	1	1,500.00
Máquina de Soldadura Universal y accesorios	600.00	2	1,200.00
Pulidora	400.00	2	800.00
Total (S/.)			6,500.00

Fuente: (Propia autoría)

Por lo tanto el costo total de Inversión de Equipos que se obtendrá para el laboratorio será de S/.6,500.00.

C. COSTOS DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN DE PERSONAL Y HERRAMIENTAS

Cada personal técnico contará con un juego de Equipos de Protección de personal (EPP), así como un juego de herramientas básicas para el desempeño de sus labores en la línea de producción de los sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas.

- **Adquisición de Equipos de Protección de Personal (EPP):** Cada técnico del área de producción requiere una serie de elementos para su protección y seguridad en el desempeño de sus labores diarias, para ello se ve conveniente que cada juego comprenda: 1 Lentes de Seguridad, 1 mascarilla de seguridad, 1 Par de guantes antideslizantes de cuero y látex, 1 Peto Mandil de carnaza, 1 par de botas dieléctricas, y 1 careta para soldar. Todo a un precio de S/150.00 por juego.
- **Adquisición de Herramientas:** Cada técnico del área de producción requiere una serie de herramientas para su buen desempeño en sus labores diarios de manufactura, los cuales son los siguientes por cada juego: 1 alicate universal, 1 alicate de corte, 1 alicate de punta, 1 multímetro, 1 juego de destornilladores (3 piezas) planos, 1 juego de destornilladores (3 piezas) estrella, 1 juego de perilleros, 1 cautín, y 1 canguro de cuero. Todo a un precio de S/150.00

A continuación se muestra el costo de cada uno de los equipos involucrados en el proyecto:

Tabla 1.15: Costos de inversión de EPPs y herramientas.

Equipos de Protección de Personal y Herramientas			
Nombre	Costo (S/.)	Cantidad	Importe (S/.)
Equipos de Protección de Personal	150.00	6	900.00
Herramientas Básicas	150.00	6	900.00
Total (S/.)			1,800.00

Fuente: (Propia autoría)

Por lo tanto el costo total de inversión de EPPs y Herramientas para el personal técnico operativo de producción (6 integrantes) será de S/.1,800.00

D. COSTOS DE COMPONENTES Y MATERIALES DE PRODUCCIÓN

Para la elaboración de los sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas se necesitarán los siguientes componentes y materiales para la producción masiva de los mismos. Cada juego comprende lo siguiente: 1 Arduino UNO R3, 1 Arduino Nano 3.0, 1 Sensor MPU-6050, 1 Sensor Brújula GY-88, 2 Servomotores CYS-S8218, 1 Módulo Bluetooth 4.0 BLE HM-10, 1 Motor Shield, 1 Juego de 20 Jumpers de 30cm, 1 Fuente Switching PowerSuply 12v y 5v de 10A, 1 Sellador de silicona acética, y 1 lámina de acero inoxidable de 0.28cmx40cmx90cm de 400N/mm². Todo un juego por costo de S/.875.00, que sería el valor aproximado de producción material por cada sistema antisísmico de posicionamiento de antena.

A continuación se muestra el cuadro equivalente al requerimiento de 400 juegos de sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas.

Tabla 1.16: Costos de componentes y materiales de producción.

Componentes y Materiales de Producción			
Nombre	Costo (S/.)	Cantidad	Importe (S/.)
Arduino UNO R3	40.00	400	16,000.00
Arduino Nano 3.0	20.00	400	8,000.00
Sensor MPU-6050	18.00	400	7,200.00
Servomotor CYS-S8218	200.00	800	160,000.00
Módulo Bluetooth 4.0 BLE HM-10	40.00	400	16,000.00
Motor Shield	18.00	400	7,200.00
Juego de 20 Jumpers de 30cm	3.00	400	1,200.00
Fuente Switching PowerSupply 10A	120.00	400	48,000.00
Sellador de silicona acética	16.00	400	6,400.00
Lámina de Acero Inoxidable	200.00	400	80,000.00
Total (S/.)			350,000.00

Fuente: (Propia autoría)

Por lo tanto el costo por unidad de cada sistema antisísmico de posicionamiento de antenas será de S/875.00 y por un requerimiento de 400 de éstos equipos harán un total de S/350,000.00 (primer año).

E. COSTOS DE SOFTWARE

Es aquel costo que se incurre por la adquisición de software para el desarrollo del producto del proyecto. Es necesario adquirir las licencias correspondientes, puesto que de no ser así se estaría incurriendo en penalidad, pudiendo a través de la Municipalidad Metropolitana ser penalizada por Indecopi. Por el tipo de software lo dividimos en dos tipos de costos:

- **Costos de software Base**

Es el costo del software que se utiliza para tener al ambiente de trabajo adecuado para el desarrollo del programa de los Arduino y el trabajo de las documentaciones. Se deberá adquirir los siguientes productos:

- **Licencias de Sistema Operativo:** donde cada una de estas licencias tiene un costo de S/. 250.00

- **Costos de Softwares de Programación**

Para éste caso el software es de código abierto por ser de Google, refiriéndose al programa Android para la creación de la Aplicación para Móviles “MIT App Inventor 2”, de la misma forma la plataforma para la programación de los Arduino (UNO y Nano), ambos programas se distribuyen de manera gratuita desde su página web oficial. Por lo tanto el gasto de la programación sería únicamente para el diseñador/programador asignado por la empresa.

Tabla 1.17: Costos de software.

Software			
Nombre	Costos (S/.)	Cantidad	Importe (S/.)
Softwares Bases	250.00	3	750.00
Softwares de Programación	0.00	1	0.00
Total (S/.)			750.00

Fuente: (Propia autoría)

Por lo tanto el costo total que se tendrá por software es de S/.750.00.

F. COSTOS DE INFRAESTRUCTURA

Este costo tiene como características de emplear el espacio físico donde los empleados desarrollaran los productos del requerimiento de la línea de producción anual. Se detalla los servicios que se emplearan así como el tiempo designado:

- Local, generando un costo mensual de S/. 400.00
- Servicios (luz, agua, internet), generando un costo mensual de S/. 200.00
- Mobiliario (escritorios, muebles para PC), generando un costo mensual de S/. 300.00
- Suministros, generando un costo mensual de S/. 150.00
- Limpieza, generando un costo mensual de S/. 100.00

Tabla 1.18: Costos de infraestructura.

Infraestructura			
Nombre	Pago Mensual (S/.)	Cantidad	Importe (S/.)
Local	400.00	10	4,000.00

Servicios (luz, agua, internet)	200.00	10	2,000.00
Mobiliario (escritorios, muebles de PC)	300.00	3	900.00
Suministros	100.00	10	1,000.00
Limpieza	100.00	10	1,000.00
Total S/.			8,900.00

Fuente: (Propia autoría)

El costo que se tendrá por infraestructura será de S/. 8,900.00.

G. COSTOS OTROS

Son los costos en los que se incurre por diversos conceptos, para este caso se tiene:

- **Logro de Objetivos:** esto se da cuando el equipo que desarrolla el proyecto culmina antes de tiempo el desarrollo del mismo. El pago mensual por este concepto será de S/. 600.00 (S/100.00 adicionales por persona en el grupo técnico).
- **Materiales:** En esta parte se considera las pérdidas de material, daños, compra de nuevas herramientas por desgaste, electrodos para soldadura, etc. Se estima un valor mensual de S/100.00.

Tabla 1.19: Costos otros.

Otros			
Nombre	Pago Mensual (S/.)	Cantidad	Importe (S/.)
Logro de Objetivos (incentivos)	600.00	10	6,000.00

Materiales	100.00	10	1,000.00
Total S/.			7,000.00

Fuente: (Propia autoría)

El costo que se tendrá por otros costos o varios gastos adicionales es de S/.7,000.00.

H. COSTO TOTAL EN TIEMPO DE INVERSIÓN

Tabla 1.20: Costo total en tiempo de inversión.

Costo Total de Inversión	
Tipo de Costo	Costo Total (S/.)
Costo de Personal	90,000.00
Costo de Equipos	6,500.00
Costos de EPPs y Herramientas	1,800.00
Costos de Componentes y Materiales de Producción	350,000.00
Costos de Software	750.00
Costos de Infraestructura	8,900.00
Costos Otros	7,000.00
Costo Total S/.	464,950.00

Fuente: (Propia autoría)

El costo total en el tiempo de Inversión del proyecto será de S/. 494,950.00.

3.2.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Se considera como costos de operación a los costos que se incurren en todo el proceso de operación que es usado solamente en el funcionamiento del sistema. Para calcular el costo de

operación, nos solo se considera lo que se gasta todos los meses, sino que también se toma que eventualmente se hacen actualizaciones a las computadoras y software, que se puede tener necesidad de hacer reparaciones o renovaciones en la oficina y que siempre hay imprevistos.

Para fines del presente estudio se han agrupado estimaciones adicionales en costos de operación por personas, equipos, software, infraestructura y otros correspondiente a un año de operación.

Tabla 1.21: Costo total de operación.

Costo Total de Operación	
Tipo de Costo	Costo Total
Costo de Personas	100,000.00
Costo de Equipos	7,000.00
Costos de EPPs y Herramientas	2,100.00
Costos de Componentes y Materiales de Producción	370,000.00
Costo de Infraestructura	8,000.00
Costo Total S/.	397,100.00

Fuente: (Propia autoría)

El costo total en el tiempo de Operación del proyecto será de **S/. 397,100.00.**

3.2.3. COSTOS DE MANTENIMIENTO

Tabla 1.22: Costo total de mantenimiento.

Costo Total de Mantenimiento	
Tipo de Costo	Costo Total
Costo de Personas	1,000.00
Costo de Infraestructura	2,000.00
Costo Otros	3,000.00
Costo Total S/.	6,000.00

Fuente: (Propia autoría)

El costo total en el tiempo de Mantenimiento de la empresa será de **S/. 6,000.00**.

3.2.4. ANÁLISIS DE COSTOS – RESUMEN

Tabla 1.23: Costo total - resumen.

Costo Total - Resumen	
Tipo de Costo	Costo Total
Costo de Inversión	464,950.00
Costo de Operación	397,100.00
Costo de Mantenimiento	6,000.00
Costo Total S/.	868,050.00

Fuente: (Propia autoría)

Son costos en que se incurre durante la vida útil del sistema, y será de **S/. 868,050.00**

3.2.5. ANÁLISIS DE BENEFICIOS - TANGIBLES

Considerando que las telecomunicaciones en el Perú están en constante crecimiento y que según el Osiptel, que es el Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones, una entidad pública descentralizada encargada de regular y supervisar el mercado de servicios públicos de telecomunicaciones, independiente de las empresas operadoras, y adscrito a la Presidencia del Consejo de Ministros, ha ido presentando reportes estadísticos del estado de las telecomunicaciones como telefonía móvil en el País

En la tabla 1.24 se muestran los valores de déficit que presenta el país, de instalación de antenas y estaciones base, para poder lograr así una mejor cobertura de la telefonía móvil a nivel nacional.

Entre las tres regiones con mayor cantidad de antenas tenemos a las siguientes:

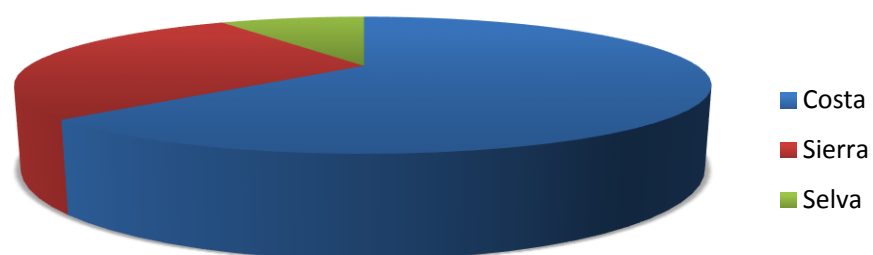


Figura 2.27: Gráfico estadístico de proporción de cantidad de antenas por región a nivel nacional. (Propia autoría)

- Lima es la región con mayor cantidad de estaciones bases (antenas de telecomunicaciones), actualmente nuestra capital necesita 6,517 bases, pero solo posee cuenta en toda su área con 4,783, obteniendo un déficit de 24.3%. Si a Lima le agregamos a la Provincia Constitucional del Callao, esta última necesita 649 bases, pero solo posee 367.
- Le sigue la región de Ancash, quién tiene al día de hoy 577 bases, cuando necesita 1,255, obteniendo un déficit de 9,5%.
- Finalmente tenemos a Junín, la región necesita 1,152 pero solo posee 640.

Estas tres regiones logran hacer una brecha en total de 44,9% en la infraestructura móvil a nivel nacional, teniendo uno de los déficit más altos en cuanto a falta de antenas móviles en la región.

El actual presidente de OSIPTEL, explicó que en el año 2025, el Perú habrá logrado implementar las 7,145 bases restantes que necesita todo el país para cubrir este déficit de antenas móviles, de esta forma se garantizaría la calidad de los servicios de telefonía móvil.

Tabla 1.24: Estado de las estaciones base en el Perú.

REGIONES	ESTACIONES BASE*	ESTACIONES BASE REQUERIDA**	DÉFICIT DE ESTACIONES**	%
Lima	4,783	6,517	1,734	24,3%
Ancash	577	1,255	678	9,5%
Junín	640	1,152	512	7,2%
Arequipa	860	1,174	314	4,4%
Piura	737	1,050	313	4,4%
P. C. Callao	367	649	282	3,9%
Puno	588	852	264	3,7%
Cajamarca	735	998	263	3,7%
Loreto	306	568	262	3,7%
Ica	410	671	261	3,7%
Ayacucho	410	659	249	3,5%
La Libertad	891	1,135	244	3,4%
Huancavelica	272	502	230	3,2%
Amazonas	278	499	221	3,1%
Lambayeque	556	777	221	3,1%
Cusco	696	905	209	2,9%
San Martín	454	639	185	2,6%
Ucayali	157	325	168	2,4%
Apurímac	292	445	153	2,1%
Huánuco	403	553	150	2,1%
Tacna	245	318	73	1,0%
Tumbes	119	179	60	0,8%
Pasco	153	206	53	0,7%
Moquegua	146	182	36	0,5%
Madre de Dios	109	119	10	0,1%
TOTAL GENERAL	15,184	22,329	7,145	

Fuente: (Osiptel, 2016)

Cabe resaltar que las estaciones base de telefonía móvil abarcan distintos dispositivos de telecomunicaciones, ya sea como Antenas Pico (2G) o Macro (3G y 4G).

A continuación se muestra el cuadro del total de antenas de todas las operadoras móviles locales y sus redes, ya sean en 2G, 3G y 4G.

Tabla 1.25: Antenas instaladas en las estaciones base celulares según tecnología.

REGIONES	BITEL	CLARO			ENTEL			MOVISTAR		
	3G	2G	3G	4G	2G	3G	4G	2G	3G	4G
Amazonas	25	34	9	0	12	18	13	187	10	0
Ancash	93	131	62	14	75	89	71	216	76	62
Apurímac	34	58	22	3	7	27	7	163	15	10
Arequipa	147	200	164	49	134	150	132	222	150	128
Ayacucho	49	91	47	5	32	44	30	203	31	29
Cajamarca	95	156	48	5	36	50	32	382	50	27
Cusco	110	155	144	23	73	90	67	287	68	40
Huancavelica	22	80	18	1	5	8	5	154	5	4
Huánuco	48	86	35	4	24	38	15	204	34	36
Ica	82	75	66	17	101	107	100	89	79	65
Junín	97	95	67	8	87	100	85	282	78	58
La Libertad	154	178	135	45	125	144	124	241	171	131
Lambayeque	105	71	56	18	101	114	101	133	128	111
Lima	889	1043	1049	819	1210	1264	1206	812	953	816
Loreto	49	41	30	11	18	22	19	161	49	35
Madre de Dios	12	36	27	6	13	22	12	31	9	8
Moquegua	27	34	18	6	15	16	15	50	32	21
Pasco	20	38	11	0	10	12	7	70	17	10
Piura	137	113	67	17	105	113	104	261	150	131
P. C. Callao	88	67	73	57	102	105	101	55	78	64
Puno	96	164	86	9	59	80	56	222	62	43
San Martín	81	53	28	5	20	34	18	251	44	36
Tacna	50	39	36	6	35	37	35	64	53	37
Tumbes	25	23	18	5	25	25	25	31	30	22
Ucayali	31	21	19	4	17	19	16	61	42	38

Fuente: (Osiptel, 2016)

Así mismo considerando las zonas del país en donde repercute las telecomunicaciones debido a los continuos sismos que van perturbando en la estabilización de las comunicaciones y descalibrando poco a poco a las antenas de microondas, que dan comunicación entre estaciones base, se considera la figura siguiente en donde se observa las zonas más afectadas por los sismos en nuestro país.

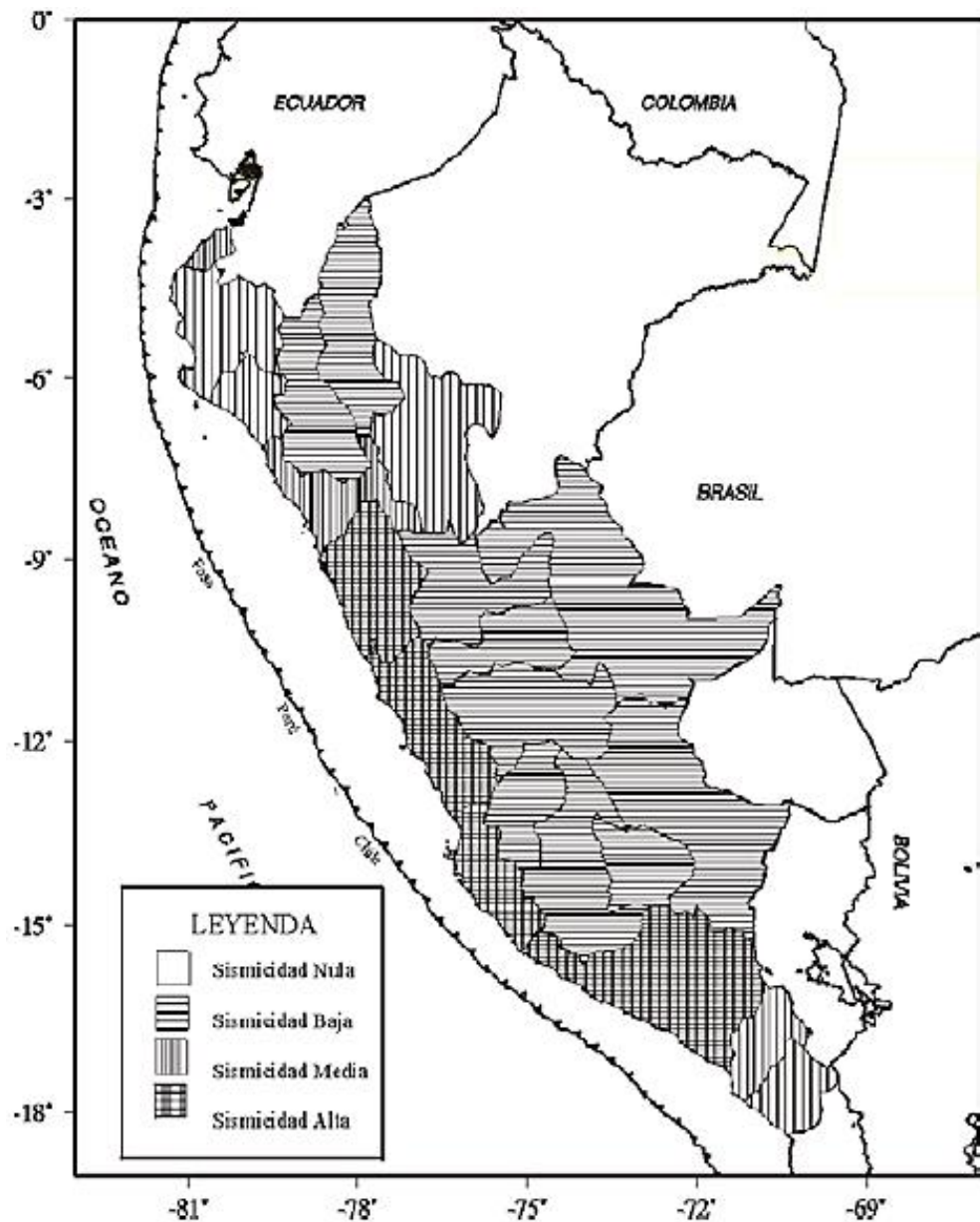


Figura 2.28: Mapa de zonificación preliminar para el Perú a partir de la frecuencia-intensidad de los sismos ocurridos entre 1964 – 2000. (IGN, 2016)

Por lo tanto se han considerados las siguientes probabilidades de beneficios que podrían causar nuestros sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas a las operadoras y usuarios.

A. PROBABILIDADES DE ADQUISICIÓN DE LOS PRODUCTOS POR OPERADORAS

Considerando los departamentos del Perú más críticos en la parte del estudio de zonas sísmicas (por el Instituto Geográfico Nacional Peruano) y por los lugares en que se requiere una mayor instalación de torres de telefonía móvil (estaciones base BTS) debido al cuadro de déficit presentado por la Osiptel a principios de este año (2016), se ha priorizado las primeras ventas del primer año para las siguientes operadoras: Movistar, Claro, Entel y Bitel, considerando también que se estarían vendiendo o distribuyendo estos sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas, mínimo uno por cada BTS instalada y requerida en cada departamento afectado por los sismos mencionados, que son: Ancash, Lima, Ica y Arequipa; Haciendo un total de 2,987 sistemas por BTS instalada.

Sacando un promedio de avance o incremento de instalaciones de antenas, agrupando 2G, 3G Y 4G, por Operador en las regiones más sísmicas de estudio, se obtiene el siguiente cuadro:

Tabla 1.26: Cuadro de porcentajes de antenas instaladas por operadoras en 4 regiones.

Región\ Operador	Entel	Claro	Movistar	Bitel
Lima	3680	2911	2581	889
Ancash	235	207	354	93
Arequipa	416	413	500	147
Ica	308	158	233	82
Total	4639	3689	3668	1211
% del Total	35.13	27.93	27.77	9.17

Fuente: (Propia autoría)

Puesto que Entel presenta el mayor número de antenas, por lo que sería nuestro posible primer comprador prioritario, también representa aproximadamente el mayor incremento de instalación de torres de estaciones base (BTS). Correspondiendo también a la equivalencia de una venta como **mínimo** de un sistema antisísmico de posicionamiento de antena del proyecto por cada BTS instalada.

Así también tomando como referencia la Tabla 1.16 que nos indica los valores de déficit de BTS que presentan sobre todo estos cuatro departamentos, prioritarios en el estudio sísmico hecho por el IGN; Se establece un cuadro de porcentajes (vistos en la tabla 1.26) de equivalencia de estimaciones de instalación de BTS por operadoras en éstas cuatro regiones:

Tabla 1.27: Cuadro de estimaciones de instalación de BTS por operadoras en 4 regiones.

Región\ Operador	Entel (35.13%)	Claro (27.93%)	Movistar (27.77%)	Bitel (9.17%)
Lima	609	484	482	159
Ancash	238	189	188	62
Arequipa	110	88	87	29
Ica	92	73	72	24
TOTAL	1049	834	829	274

Fuente: (Propia autoría)

Se estima que según lo visto, según Osiptel, en las tablas 1.15 y 1.16 que señalan el estado actual de instalación y requerimiento de instalación de BTS y antenas en el Perú, tomando como principal estudio de población cuatro regiones del país (Lima, Ancash, Arequipa e Ica), que corresponden a las zonas más sísmicas del país que se involucran en el principal estudio de justificación de la tesis o el proyecto, se establece un valor de

equivalencia de porcentajes en relación a lo ya instalado en estas regiones, que como se señaló anteriormente son prioridad para la venta de nuestros sistemas de antenas; así mismo, según lo visto en el capítulo anterior se plantea producir o fabricar en el primer año, cuatrocientos (400) sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas, cuyas ventas se darán mensualmente, sacando un valor promedio de cincuenta (50) de éstos sistemas producidos al mes, cuya relación de venta será equivalente al porcentaje de instalación de antenas por operador mencionado anteriormente.

Considerando que el proyecto ha sido admitido y aprobado por el Osiptel y el MTC para implementarse en los sistemas actuales de BTS en el mercado de las telecomunicaciones, se establece el siguiente cuadro de ventas (de los sistemas de antenas del proyecto) mensuales con sus respectivos valores de venta al por mayor.

Tabla 1.28: Cuadro de estimaciones de ventas de los sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas a las operadoras en el primer año.

Operadoras (%)	Cantidad de Ventas al Mes	Precio Unitario (S/.)	Ganancia Mensual (S/.)	Total Anual (8 meses - S/.)
Entel (35.13)	17	1,500	25,500	20,4000
Claro (27.93)	14	1,500	20,948	167,580
Movistar (27.77)	14	1,500	20,828	166,620
Bitel (9.17)	5	1,550	7,107	56,854
Total	50	6000	74,382	595,054

Fuente: (Propia autoría)

El Beneficio tangible de ganancia mínima anual de ventas para la empresa de producción es de **S/. 595,054.00**

Y la ganancia neta de Beneficio que sería la diferencia entre la ganancia mínima anual de ventas para la empresa de producción que es de **S/. 595,054.00** menos el costo total en tiempo de inversión que es de **S/. 464,950.00**, dando un total neto de ganancia igual a **S/. 130,104.00**.

B. PROBABILIDADES DE AHORRO DE OPERADORAS POR REMOCIÓN O MANTENIMIENTO DE LAS ANTENAS ACTUALES

Según la información obtenida por la entrevista al señor Gerente de Compras de Nokia Networks de Perú, el Ing. Armando Cuyuche, los costos de operación por instalación completa de las antenas, remoción y mantenimiento por antena a las diferentes operadoras en el Perú son los que se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 1.29: Cuadro de gastos por instalación, remoción y manteniendo de una antena de microondas.

Tipo de Gasto	Cantidad por Antena	Precio (S/.)
Instalación completa de una Antena Microondas	1	3,207.95
Remoción completa de una Antena de Microondas	1	2,997.00
Mantenimiento de una Antena de Microondas	1	2,664.00
Total		8,868.95

Fuente: (Propia autoría)

El beneficio de ahorro se da en la parte de remoción y mantenimiento que se aproximadamente son una vez al año por región (según el Gerente de Compra de Nokia Networks), ya que éste nuevo sistema en cuestión garantiza que la antena no necesitará un gasto de mantenimiento anual (incluyendo la reposición de las antenas de MW), ya que garantiza un mayor tiempo de vida por el sistema de estabilización automática que tiene bajo fenómenos de naturaleza, que ocasionan su deterioro o pérdidas en la línea de vista.

Por lo que, considerando que la sumatoria de los gastos de remoción y mantenimiento por antena de microondas dan un total de **S/. 5,591.00** por año.

3.2.6. ANÁLISIS DE BENEFICIOS – INTANGIBLES

- **Gestión ambiental**

Éstos sistemas son totalmente eléctricos no generan ningún tipo de eliminación de gases por lo que no constituye como un agente de contaminación ambiental.

- **Ahorro de energía:**

Estos sistemas presentan consumo de baja energía sobre todo porque continuamente están en Stand by y los servomotores funcionan alternadamente, por lo que su consumo de energía es individual e independiente.

- **Materiales de calidad:**

Los chasis de los sistemas de antenas están protegidos por materiales de acero inoxidable de alta resistencia y durabilidad

ante los efectos de erosión del viento u otros fenómenos de la naturaleza que desgasten el material.

- **Control permanente:**

Los sistemas son monitoreados mediante una app de celular que permite su fácil medición de calibración así como su control en la estabilización de las antenas de microondas. Así mismo nuestro equipo les ofrece soporte técnico continuo con garantía.

- **Garantía**

Como empresa de producción, ofrecemos garantía con un plazo de 1 año a cada uno de nuestros equipos o sistemas antisísmicos de posicionamiento de antenas, para ofrecer total seguridad en su mantenimiento y/o soporte técnico.

- **Ahorro de tiempo**

Al disponer de un sistema de control automático, se garantiza hasta un 60% menos de tiempo de instalación de los ajustes de antenas de microondas tradicionales.

- **Seguridad**

Al ser unos sistemas estabilización automática, se garantiza que la persona o técnico de instalación no tendrá que volver a subir a las riesgosas torres de telefonía móvil para la recalibración de las antenas, generadas muchas veces por la continua fuerza del viento o sobre todo por los continuos fenómenos de la naturaleza como lo son los sismos telúricos que van degradando el ajuste de estas. Así mismo al ser de

calibración automática se garantiza que el técnico instalador no tendrá que permanecer mucho tiempo para su instalación en las torres, ya que ahorran tiempo al ser autónomas.

- **Servicio moderno y con sentido humano**

Ofrecemos un servicio moderno en la calidad de nuestros sistemas modernos, ya que se ofrece ir avanzando en la tecnología de las telecomunicaciones, priorizando así permaneciendo e incrementándose estos sistemas a nivel nacional. Y con un equipo de técnicos que darán soporte cordial a los usuarios u operadoras.

3.2.7. ANÁLISIS DE BENEFICIOS – RESUMEN

Aquí se resume los beneficios obtenidos previamente, tanto los tangibles para la empresa de producción de los sistemas en cuestión como el beneficio para cada operador.

Tabla 1.30: Cuadro de beneficios – resumen.

Beneficios Total - Resumen		
Tipo de Beneficio		Costo Total (S/.)
Tangible	Empresa	130,104.00
	Por Operadora	5,591.00
Intangible		0.00
Beneficio Total (S/.)		135,965.00

Fuente: (Propia autoría)

Los Beneficios que puede entregar el proyecto a la empresa de producción en masa de los sistemas antisísmicos de

posicionamiento de antenas y a una operadora será de **S/. 135,965.00** al año.

3.2.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

A. FLUJO DE CAJA

Tabla 1.31: Cuadro de análisis para flujo de caja.

	Año 0	Año 1	Año 2
Ingreso (S/.)	0.00	595,054.00	
Egreso (S/.)	464,950.00		
Flujo Neto	-464,950.00		

Fuente: (Propia autoría)

Incremento a partir del segundo año **28%** anual para los ingresos y de **1%** anual para los egresos.

B. CÁLCULO DE VAN-TIR

- Tasa Interna de Retorno:

$$TIR = \frac{-I + \sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n i * F_i} \rightarrow TIR = \frac{-464,950 + (-464,950)}{-464,950} = 0\%$$

- Valor Actual Neto:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \rightarrow VAN = \frac{-464,950}{1+0} - (-464,950) = 0\%$$

Tabla 1.32: Cuadro de flujo de caja - resumen.

Flujo de caja - resumen	
Tasa de Oportunidad en Perú (%)	7
TIR	0
VAN	0
Ingreso (% Aumento anual)	28
Egreso (% Aumento anual)	1

Fuente: (Propia autoría)

CAPÍTULO IV: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

En este capítulo se describen el presupuesto y el cronograma de actividades que se utilizaron para la elaboración de la tesis así como de la construcción prototipo a escala del sistema real.

4.1. PRESUPUESTO

En éste subcapítulo se señalan los costos de los materiales para la construcción y/o implementación del prototipo, así como de los gastos en la impresión del informe de tesis, vistos en el siguiente cuadro:

Tabla 1.33: Presupuesto de Tesis.

CONTENIDO	MATERIAL	COSTO (S/.)
MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN	Arduino UNO R3 y Arduino Nano con Accesorios	80.00
	Par de Servomotores	70.00
	Sensor MPU-6050	20.00
	Sensor GY-88	80.00

DEL PROTOTIPO	HC-05	30.00
	Chasis de madera Balsa con 2 piezas impresas en 3D	80.00
	Gastos en Programación	200.00
	Otros	26.00
IMPRESIÓN DE INFORME DE TESIS	163 Hojas a Color + Anillado	60.00
TOTAL	Todo	646

Fuente: (Propia autoría)

4.2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En éste subcapítulo se describe el siguiente cuadro en MS Project 2013, dónde se señalan la secuencia de actividades realizadas para la elaboración de cada capítulo del informe de tesis, así como los tiempos tomados donde se incluyen a la par el desarrollo del prototipo (abarcado en la metodología para el análisis y diseño de la solución propuesta de solución).

Tabla 1.34: Cronograma de actividades hecho en MS Project 2013.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Diseño y Construcción de un Prototipo de un Sistema Antisísmico Para Antenas de Radioenlace	300 días	lun 09/03/15	vie 29/04/16
Formulación del Planteamiento de Tesis	6 días	lun 09/03/15	sáb 14/03/15
1. El Problema	25 días	lun 16/03/15	sáb 18/04/15
1.1 Planteamiento del Problema	6 días	lun 16/03/15	sáb 21/03/15
1.2 Formulación del Problema	5 días	lun 23/03/15	vie 27/03/15
1.3 Alcance y Limitaciones	6 días	lun 30/03/15	sáb 04/04/15
1.4 Justificación de la Investigación	6 días	lun 06/04/15	sáb 11/04/15
1.5 Objetivos	6 días	lun 13/04/15	sáb 18/04/15
2. Marco Teórico	60 días	lun 20/04/15	sáb 11/07/15
2.1. Antecedentes (Estado del Arte)	16 días	lun 20/04/15	sáb 09/05/15
2.2. Bases Teóricas	36 días	lun 11/05/15	sáb 27/06/15
2.3. Componentes del sistema mecánico	10 días	mar 30/06/15	sáb 11/07/15
3. Marco Metodológico	185 días	lun 13/07/15	sáb 26/03/16
3.1 Metodología para el análisis y diseño de la solución propuesta de solución	116 días	lun 13/07/15	sáb 19/12/15
3.2. Metodología para el estudio de la factibilidad (viabilidad) de la solución	41 días	lun 01/02/16	sáb 26/03/16
4. Aspectos Administrativos	9 días	lun 28/03/16	jue 07/04/16
4.1. Presupuesto	6 días	lun 28/03/16	sáb 02/04/16
4.2. Cronograma de Actividades	4 días	lun 04/04/16	jue 07/04/16
5. Conclusiones y Recomendaciones	2 días	vie 08/04/16	sáb 09/04/16
5.1 Conclusiones	1 día	vie 08/04/16	vie 08/04/16
5.2. Recomendaciones	1 día	sáb 09/04/16	sáb 09/04/16
Bibliografía	1 día	lun 11/04/16	lun 11/04/16
Glosario	2 días	mié 13/04/16	jue 14/04/16
Anexos	11 días	vie 15/04/16	vie 29/04/16
Finalización Tesis	1 día	sáb 30/04/16	sáb 30/04/16

Fuente: (Propia autoría)

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se logró establecer un control automático, que vincula la manipulación de la antena de microondas (a través de un prototipo), mejorando la estabilidad y conservación de su línea de vista, frente a variaciones en el terreno, provocado por los fenómenos de movimientos sísmicos.

La manipulación de la antena de microondas, lograda mediante el uso de un par de servomotores rotados ortogonalmente, a través de la automatización del barrido horizontal y vertical, permitiéndose diseñar, modelar y construir en un prototipo, que demuestra lo versátil que funcionará el sistema en los radioenlaces de telefonía móvil.

También como se pudo notar el sistema antisísmico en sí no es muy costoso, por lo que beneficiará (rentablemente) adquirir a las compañías de telefonía así como a las contratistas que hacen la implementación de los sistemas de radioenlace microondas. Verificando que de esta manera se logre reducir costos en la contratación de un personal adicional para la remoción y mantenimiento de las antenas de microondas en sus radioenlaces futuros.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda en un próximo desarrollo, pasar el esquema circuital y desarrollarlo a una tarjeta tipo ARM, que pueda involucrar propiamente a todo el diseño en bloques, y que permita disminuir los costos, ayudando a una mejor patente, que permitirá demostrar la calidad del producto, ya que todo el diseño es propiamente del autor.

El sistema cuenta con fases bien estructuradas, se desarrolló un prototipo por lo que los cálculos y procedimientos señalados anteriormente, se recomienda, deberán ser implementados en un laboratorio científico y con módulos de telecomunicaciones, así como de control para su programación, su calibración adecuada (menor tasa de error, $\pm 3^\circ$ en el ángulo de inclinación), su evaluación de riesgos apropiada y su mayor evaluación de desempeño en el área sísmica donde se tiene planteado establecer el sistema de antena para su implementación real (Costa Sur).

En la figura 2.7 se muestra la calibración de línea de vista que se desarrollará y en la figura 2.9 su posible montaje, el cual se verá mejor detallado cuando se vaya avanzando la comprobación en un próximo desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). Recuperado el 10 de Junio de 2014, de www.tsc.uc3m.es/~dani/typ-1.ppt
- 2012, S. T. (07 de Marzo de 2015). *titanwirelessonline*. Obtenido de http://www.titanwirelessonline.com/v/vspfiles/assets/images/BH-CFIP-LUMINA-SAF_Installation%20Manual.pdf
- 21Best. (27 de Junio de 2015). *21Best*. Obtenido de http://www.21best.com/21_best/electronic/security/video/pan_tilt/PT500c-Motor-Manual.html
- Adafruit. (17 de Abril de 2015). *playground.arduino.cc*. Obtenido de <http://playground.arduino.cc/Main/AdafruitMotorShield>
- Adafruit®, I. d. (03 de Marzo de 2016). *www.adafruit.com*. Obtenido de <https://www.adafruit.com/products/51>
- Administrador. (26 de Agosto de 2008). *PLC*. Obtenido de Siemens: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200ManualSistema.pdf>
- Amateur Radio Antenna*. (s.f.). Recuperado el 15 de 04 de 2014, de <http://www.amateur-radio-antenna.com/3g-umts-4g-lte-antenna/antenna-3g-4g-850-mhz/bundle-antenna-4-g-lte-mimo-yagi-8-850mhz.php>
- América, C. F. (01 de Marzo de 2016). *wireless.fcc.gov*. Obtenido de http://wireless.fcc.gov/services/index.htm?job=service_home&id=microwave
- Anderson, E. d. (2015). *Anderson Tec (HK) CO., LTD*. Recuperado el 22 de Junio de 2016, de <http://es.andersontec.com/mhz-grid-dish-parabolic-antenna-dbi-114.html>
- Arduino. (04 de Abril de 2015). *Arduino*. Obtenido de <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>
- Arduino, E. d. (27 de Marzo de 2015). *Arduino*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardUno>
- Arduino, E. d. (27 de Marzo de 2015). *Arduino*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- Arduino, E. d. (26 de Febrero de 2016). *Arduino - Genuino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- Autores, V. (17 de Abril de 2015). *wikipedia.org*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Radiocomunicaci%C3%B3n_por_microondas
- Axesat, G. (2016). <http://www.axesat.com>. Recuperado el 05 de Julio de 2016, de http://www.axesat.com/conectividad-satelital/?page_id=160
- Barbus, E. (23 de Octubre de 2015). *ECDA*. Obtenido de El Cajón de Ardu: <http://elcajondeardu.blogspot.pe/2014/03/tutorial-sensor-ultrasonidos-hc-sr04.html>

- bolubeyi.net. (04 de Abril de 2015). *bolubeyi.net*. Obtenido de <http://bolubeyi.net/arduino-ile-mpu-6050-imu-sensorden-aci-ve-ivme-bilgilerini-okuma.html>
- Botsience.net, E. d. (03 de Mayo de 2016). *botsience.net*. Obtenido de http://botsience.net/store/index.php?route=product/product&product_id=166
- Campos, A. R. (2013). *IMPLEMENTACION DE UN SOFTWARE QUE BRINDA SOPORTE A LOS PROCESOS DEL AREA DE ATENCION AL CLIENTE EN LA EMPRESA ESTETICA VERONICA*. Lima: UAP.
- Cervantes, I. C. (2004). *Modelado y Simulación de Técnicas de Conformación de Haz para Antenas Inteligentes*. Tesis, Nuevo León, México.
- Cheng, D. K. (2002). *Escuela de Ingeniería Electrónica*. Recuperado el 09 de Julio de 2014, de <http://www.ie.itcr.ac.cr/marin/lic/el4515/Teoria%20experimento%207.pdf>
- CYS Model Technology, I. (01 de Junio de 2015). *CYS Model Technology, Inc. LTD*. Obtenido de <http://www.cysmodel.hk/en/ProductView.asp?SortID=64&ID=235>
- Daenotes. (15 de Mayo de 2015). *Daenotes.com*. Obtenido de <http://www.daenotes.com/electronics/microwave-radar/digital-microwave-communication-equipment>
- DealeXtreme Online Shop*. (27 de Abril de 2016). Obtenido de <http://www.dx.com/es/p/gy-521-mpu6050-3-axis-acceleration-gyroscope-6dof-module-blue-154602#.VyEOVOSKn9p>
- Dirux. (23 de Octubre de 2015). Obtenido de Dirux: <http://www.dirux.com/productos/imagenes/electronica/descripcion/ultra1.jpg>
- Domínguez, F. R. (04 de Abril de 2015). *ALLELECTRONICS.JIMDO.COM*. Obtenido de <http://allelectronics.jimdo.com/enlaces/>
- DomoticX. (08 de Marzo de 2016). *DomoticX*. Obtenido de <http://domoticx.com/arduino-modules-6-assige-gyroscoop-versnellingsmeter-itgmpu-gy-521/>
- DX.com*. (27 de Marzo de 2015). Obtenido de <http://www.dx.com/p/arduino-dht11-digital-temperature-humidity-sensor-138531#.VRWgO010xtQ>
- electronicaestudio. (16 de Abril de 2015). *electronicaestudio.com*. Obtenido de <http://www.electronicaestudio.com/sensores.htm#SHT-166>
- electronicoscaldas. (17 de Julio de 2015). *www.electronicoscaldas.com*. Obtenido de http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf
- Electronics, O. (27 de Marzo de 2015). *Opiron*. Obtenido de <http://www.opiron.com/portfolio/todos-sobre-los-sensores-dht11-dht22-by-opiron-2>
- fingertechrobotics.com*. (27 de Abril de 2016). Obtenido de <http://www.fingertechrobotics.com/proddetail.php?prod=ArduinoUnoR3>

- Gezer, B. L. (2006). *Multi-Beam digital antenna for radar, communications, and UAV tracking based on Off-The-Shelf Wireless Technologies*. Tesis, Naval Postgraduante School, Turkish.
- Gravitech. (27 de Abril de 2016). *www.safaribooksonline.com*. Obtenido de <https://www.safaribooksonline.com/library/view/arduino-in-a/9781491934319/ch04.html>
- HeTPro, E. d. (25 de Febrero de 2016). *HeTPro - Herramientas Tecnologías Profesionales*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/imu-gy-88-10dof-mpu6050-hmc5883l-bmp085/>
- IGN. (28 de Abril de 2016). *Wikipedia.org*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_el_Per%C3%BA
- Inc., C. (04 de Abril de 2015). *CommScope Inc*. Obtenido de http://es.commscope.com/catalog/solution_wi_backhaul_microwavesystems/2147485600/product.aspx?id=1
- Inc., C. (15 de Mayo de 2015). *commscope.com*. Obtenido de http://www.commscope.com/catalog/andrew/product_details.aspx?id=26266&tab=1
- J. T. Anderson, M. R. (2010). *A cost-effective antenna positioning system for*. Artículo, North Dakota State University, Department of Electrical and Computer Engineering, North Dakota.
- JSC, E. d. (01 de Marzo de 2016). *www.saftehnika.com*. Obtenido de https://saftehnika.com/files/downloads/201005013_SAF_CFIP_CFQ_brochure_Esp.pdf
- Kharbanda, K. (24 de Abril de 2015). *whatis.com*. Obtenido de <http://whatis.techtarget.com/definition/backhaul>
- Lehpamer, H. (20 de Abril de 2010). *Microwave transmission network* (Segunda ed.). New York, Estados Unidos de América: McGraw-Hill Professional. Obtenido de <http://www.racom.eu/eng/products/m/ray2/calcul.html>
- M. Grayson, K. S. (24 de Abril de 2015). *http://www.cisco.com*. Obtenido de http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_14-3/143_backhaul.html
- MAAM891. (03 de Mayo de 2011). *MAAM891'S BLOG*. Recuperado el 22 de Junio de 2016, de <https://maam891.wordpress.com/2011/05/03/>
- Makerstore. (27 de Abril de 2016). *www.makerstore.com.au*. Obtenido de <http://www.makerstore.com.au/product/mg996r-servo-360-rotation-continuous/>
- Meier, D. G. (18 de Junio de 2015). *Adapting antenna positioning systems for automated tracking*. Obtenido de N4NW: <http://www.n4mw.com/mup91-2.pdf>
- Micropic*. (12 de 02 de 2012). Obtenido de <http://www.micropic.es/mpblog/2012/02/medicion-de-temperatura-y-humedad-con-un-sensor-dht11/>

- OpenCourseWare. (24 de Octubre de 2015). *Universidad de Cantabria*.
Obtenido de <http://ocw.unican.es/ciencias-experimentales/analisis-de-varias-variables-reales/material-de-clase-2/coordenadas-w.pdf>
- Pereira, U. T. (20 de Abril de 2015). *blog.utp.edu.co*. Obtenido de
<http://blog.utp.edu.co/shannon/files/2012/02/Microondas.pdf>
- Prodoehl, P. (27 de Marzo de 2015). *Flickr*. Obtenido de
<https://www.flickr.com/photos/raster/5953757547/>
- Prometec.net, A. d. (03 de Mayo de 2016). *prometec.net*. Obtenido de
<http://www.prometec.net/bt-hc05/>
- Racom. (20 de Abril de 2015). *www.racom.e*. Obtenido de
<http://www.racom.eu/eng/products/m/ray2/calcul.html>
- Renato Barrera Cubias, J. (Febrero de 2004). *Universidad de El Salvador*.
Recuperado el 28 de 04 de 2014, de
[http://ri.ues.edu.sv/2484/1/Dise%C3%B1o_y_construcci%C3%B3n_de_un_\(PLC\)_Control_L%C3%B3gico_Programable_basado_en_la_tecnolog%C3%ADa_del_microcontrolador.pdf](http://ri.ues.edu.sv/2484/1/Dise%C3%B1o_y_construcci%C3%B3n_de_un_(PLC)_Control_L%C3%B3gico_Programable_basado_en_la_tecnolog%C3%ADa_del_microcontrolador.pdf)
- Rosales, J. C. (2007). *Tesis de Diseño de un Enlace Terrestre por Línea de Vista*. Ciudad de México, México DF, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Spring Model Electronics Co., L. (19 de Mayo de 2015). *Springrc.com*. Obtenido de <http://www.springrc.com/new/en/ProductView.asp?ID=114>
- TC, A. (23 de Octubre de 2015). *Bricogeek*. Obtenido de
<http://blog.bricogeek.com/noticias/tutoriales/tutorial-arduino-brujula-digital-con-hmc6352/>
- Technologies, K. (10 de Abril de 2015). *www.keysight.com/*. Obtenido de
<http://www.keysight.com/en/pd-1000001937%3Aeapsg%3Apro-pn-8482B/high-power-sensor?cc=PE&lc=eng>
- Technologies, T. (27 de Junio de 27). *Tessco*. Obtenido de
<https://www.tessco.com/products/displayProductInfo.do?sku=319126>
- Tehnika, S. (07 de Marzo de 2016). *www.titanwirelessonline.com*. Obtenido de
http://www.titanwirelessonline.com/v/vspfiles/assets/images/BH-CFIP-LUMINA-SAF_Installation%20Manual.pdf
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electronicas* (Cuarta ed.). (I. G. Pozo, Trad.) Phoenix, Arizona, Estados Unidos de América: Pearson Education.
- UIT, E. d. (30 de Mayo de 2016). <http://www.itu.int>. Obtenido de ITU:
https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.463-5-1990-PDF-S.pdf
- wispcentric. (01 de Marzo de 2016). *es.wikipedia.org*. Obtenido de
<https://es.wikipedia.org/wiki/WISP>

GLOSARIO

ABONADO: Cliente de telefonía fija o móvil.

ACELERÓMETRO: Instrumento que mide la aceleración de movimiento de un vehículo.

ARRAY DE ANTENAS: Arreglo de 2 o más antenas.

BACKHAUL: Conectan redes de datos, redes de telefonía celular y constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación (microondas).

BUNDLE: Partes ligadas, similar a Array.

BTS: Del inglés “Base Transceiver Station” o Estación base telefónica en español.

CDMA: Acceso múltiple por división de código.

COMANDOS AT: Es un conjunto de comandos desarrollado por la compañía Hayes Communications para configurar y parametrizar módems.

DEXTRÓGIRA: Se dice cuando un viraje se mueve en el sentido de las agujas del reloj.

EPP: Equipos de protección de personal, para su seguridad en el trabajo.

FDMA: Acceso múltiple por división de frecuencia.

FEMTOCELDA: Es una pequeña estación base diseñada para negocios y hogares, que se conecta al proveedor a través del uso de la banda ancha.

FIRMWARE: Programación y configuración interna de un dispositivo.

FODU: Del inglés “Fiber Optic Link Outdoor Unit” o Unidad exterior de enlace de fibra óptica en español, que se refiere al equipo que comunica la parte de entradas análogas de la antena hacia los equipos de Multiplexación digital de telefonía móvil.

HAZ DE ANTENA: Parámetro de radiación, ligado al diagrama de radiación.

IMPEDANCIA DE ENTRADA: Se refiere a la medida en Ohms, en la entrada de un dispositivo, en la cual la señal es aplicada.

LEVÓGIRA: Se dice cuando un viraje desvía hacia la izquierda el plano de polarización de la luz al ser atravesado por ella.

L.O.S.: Del inglés “Line of sight” o Línea de vista en español, término usado para referirse a la línea de visión de radio en un enlace microondas.

LTE: Evolución del estándar de la norma 3GPP, que se basa a la compresión de paquetes de audio de voz, para la transmisión vía aérea.

MIMO: Propiedad de la antena que permite múltiples ingresos y entradas de frecuencias de señal.

MNO: Del inglés “Mobile Network Operator” u Operador de red móvil en español, refiriéndose a una compañía telefónica que provee servicios de telefonía móvil para abonados.

MÓDULO: Es un hardware de un circuito para trabajar con los circuitos de hardware libre, como los Arduino, que permiten la comunicación con otros circuitos similares a través protocolos de comunicación.

MOUN BOUNCE: Comunicación entre la tierra y la luna (Rebote Lunar).

PAN: No confundir con “Red de área personal”, en esta tesis se refiere a las cabezas móviles usadas juntamente con el término Tilt.

PATRÓN DE RADIACIÓN: Representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena.

PIC: Circuito Integrado Programable.

PLC: Circuito Lógico Programable utilizado en Sistemas de Control.

PROTOBOARD: Tablero de pruebas con interconexiones.

QSB: Sistemas de calidad básica (en español), para procesos industriales.

RSL: Es un término usado para referirse a las entradas de conexión de uno o más canales digitales.

SERVOMOTOR: Motor constituido por un circuito de control.

SHIELD: Son tarjetas que se pueden conectar en la parte superior de la placa Arduino para extender las capacidades.

SWAPS: Permutas, para referirse a interconexiones ortogonales entre ejes.

TDMA: Multiplexación por división de tiempo.

TILT: Es un término utilizado conjuntamente con el término PAN para referirse a las cabezas giratorias móviles, que pueden ser mecánicas o motorizadas, usadas mayormente para cámaras de video vigilancia.

TRACKING: Término usado para los sistemas de rastreo de señal.

VIRAJE: Curva que forma un cuerpo en movimiento.

ANEXOS

A. Programación del Arduino UNO:

```
// Librerías I2C para controlar el MPU6050
// la librería MPU6050.h necesita I2Cdev.h, I2Cdev.h necesita Wire.h
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"
#include <Servo.h>
Servo servo;
int pos = 0;
int i = 2;
int anguloestable;
int posicionestable;
// La dirección del MPU6050 puede ser 0x68 o 0x69, dependiendo
// del estado de AD0. Si no se especifica, 0x68 estará implícito
MPU6050 sensor;

// Valores RAW (sin procesar) del acelerómetro y giroscopio en los ejes x,y,z
int ax, ay, az;
int gx, gy, gz;

long tiempo_prev;
float dt;
int ang_x, ang_y;
int trans;
float ang_x_prev, ang_y_prev;

void setup() {
  delay(2000);
  servo.attach(6);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  digitalWrite(3, LOW);
  Wire.begin(); //Iniciando I2C
  sensor.initialize(); //Iniciando el sensor
  sensor.testConnection();
  while (digitalRead(4) == HIGH) {
    delay(1);
  }
  calibracion();
}

void loop() {
  while (digitalRead(4) == HIGH) {
    digitalWrite(3, LOW);
    lectura();
  }
}
```

```

trans = map(ang_y, -89, 89, 0, 120);
servo.write(posicionestable);
if (trans > (anguloestable + 2) && posicionestable > 10 ) { //
  posicionestable--;
  servo.write(posicionestable);
  delay(10);
}
else {
  if (trans < (anguloestable - 2) && posicionestable < 130) { //
    posicionestable++;
    servo.write(posicionestable);
    delay(10);
  }
}
digitalWrite(3, HIGH);
delay(40);
}
}

```

```

void calibracion() {
while (i > 1) {
  pos = 10;
  while (pos <= 130) {
    lectura();
    trans = map(ang_y, -89, 89, 0, 120);
    servo.write(pos);
    digitalWrite(7, HIGH);
    delayMicroseconds(trans);
    digitalWrite(7, LOW);
    pos ++ ;
    delay(100);
    if (digitalRead(4) == HIGH) {
      i = 0;
      anguloestable = trans;
      posicionestable = pos;
      pos = 131;
    }
  }
}
if (digitalRead(4) == LOW) {
  pos = 130;
  while (pos >= 10) {
    lectura();
    trans = map(ang_y, -89, 89, 0, 120);
    servo.write(pos);
    pos--;
    digitalWrite(7, HIGH);
    delayMicroseconds(trans);
    digitalWrite(7, LOW);
    if (digitalRead(4) == HIGH) {
      i = 0;

```

```

    anguloestable = trans;
    posicionestable = pos;
    pos = 9;
  }
  delay(100);
}
}
}
servo.write(posicionestable);
delay(1000);
}

void lectura() {          //Funcion para obtener las lecturas de los angulos del
MPU6050
// Leer las aceleraciones y velocidades angulares
sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
sensor.getRotation(&gx, &gy, &gz);

dt = (millis() - tiempo_prev) / 1000.0;
tiempo_prev = millis();

//Calcular los angulos con acelerometro
//float accel_ang_x = atan(ay / sqrt(pow(ax, 2) + pow(az, 2))) * (180.0 / 3.14);
float accel_ang_y = atan(-ax / sqrt(pow(ay, 2) + pow(az, 2))) * (180.0 / 3.14);

//Calcular ángulo de rotación con giroscopio y filtro complemento
//ang_x = 0.98 * (ang_x_prev + (gx / 131) * dt) + 0.02 * accel_ang_x;
ang_y = 0.98 * (ang_y_prev + (gy / 131) * dt) + 0.02 * accel_ang_y;

//ang_x_prev = ang_x;
ang_y_prev = ang_y;
}

```

B. Programación del Arduino NANO:

```

#include <Wire.h>
#include <HMC5883L.h>    //librería del magnetómetro
#include <Servo.h>      //librería del servomotor

Servo myservo;
int posa;
int pos = 0;
int i = 2;
float anguloestable;
int posicionestable;
int duracion;
HMC5883L compass;
float headingDegrees;
int potenciometro;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(2, OUTPUT);
  digitalWrite(2, HIGH);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(7, INPUT);
  myservo.attach(9);
  compass.begin();
  compass.setRange(HMC5883L_RANGE_1_3GA);
  compass.setMeasurementMode(HMC5883L_CONTINUOUS);
  compass.setDataRate(HMC5883L_DATARATE_30HZ);
  compass.setSamples(HMC5883L_SAMPLES_8);
  compass.setOffset(0, 0);
  calibracion();
}

void loop()
{
  while (digitalRead(3) == HIGH) {
    digitalWrite(2, LOW);
    lectura();
    Serial.print("Azimuth= ");
    Serial.print(headingDegrees);
    Serial.print(" AFijo= ");
    Serial.print(anguloestable);
    Serial.print(" EFijo= ");
    Serial.println(duracion);
    if (headingDegrees > (anguloestable + 5) && posicionestable < 150 ) {
      posicionestable++;
      myservo.write(posicionestable);
    }
  }
}

```

```

}
else {
  if (headingDegrees < (anguloestable - 5) && posicionestable > 30) {
    posicionestable--;
    myservo.write(posicionestable);
  }
}
digitalWrite(2, HIGH);
delay(50);
}
}

void calibracion() {
  while (i > 1) {
    pos = 30;
    while (pos <= 150) { //Movimiento horario hasta que la lectura
del potenciómetro sea mayor a 492
      lectura();
      Serial.print("Grados= ");
      Serial.print(headingDegrees);
      Serial.print(" Potenciómetro= ");
      Serial.println(potenciómetro); //Mostramos los valores del ángulo y
del potenciómetro
      myservo.write(pos);
      delay(100);
      pos ++ ;
      if (potenciómetro > 492) {
        i = 0;
        anguloestable = headingDegrees;
        posicionestable = pos;
        pos = 151;
      }
    }
  }
  if (potenciómetro <= 492) {
    pos = 150;
    while (pos >= 30) { //Movimiento anti horario hasta que la
lectura del potenciómetro sea mayor a 492
      lectura();
      Serial.print(" Grados= ");
      Serial.print(headingDegrees);
      Serial.print(" Potenciómetro= ");
      Serial.println(potenciómetro); //Mostramos dichos valores
      myservo.write(pos);
      pos--;
      if (potenciómetro > 492) {
        i = 0;
        anguloestable = headingDegrees;
        posicionestable = pos;
        pos = 29;
      }
    }
  }
}

```



```

        delay(100);
    }
}
}
delay(5000);
while (potenciometro < 1000) { //esperamos que el servomotor superior se
caibre mayor a 1000
    duracion = pulseIn(7, HIGH);
    duracion = map(duracion, 0, 120, -89, 89);
    Serial.print("Grados= ");
    Serial.println(duracion);
    digitalWrite(2, LOW);
    potenciometro = analogRead(A0);
}
digitalWrite(2, HIGH);
delay(1000);
}

void lectura() { //Funcion que obtiene la lectura del
magnetometro
    Vector norm = compass.readNormalize();
    float heading = atan2(norm.YAxis, norm.XAxis);
    float declinationAngle = (4.0 + (26.0 / 60.0)) / (180 / M_PI);
    heading += declinationAngle;
    if (heading < 0)
    {
        heading += 2 * PI;
    }
    if (heading > 2 * PI)
    {
        heading -= 2 * PI;
    }
    headingDegrees = heading * 180 / M_PI;
    potenciometro = analogRead(A0); //LECTURA DEL POTENCIOMETRO
}

```

C. Programación de la APP en MIT App Inventor 2:

The screenshot shows the MIT App Inventor 2 Designer interface for the 'ANTENA' app. The top bar includes the app name 'ANTENA', screen management options ('Screen1', 'Add Screen...', 'Remove Screen'), and tabs for 'Designer' and 'Blocks'. The interface is divided into four main panels:

- Palette:** A list of UI components categorized into 'User Interface' (Button, CheckBox, DatePicker, Image, Label, ListPicker, ListView, Notifier, PasswordTextBox, Slider, Spinner, TextBox, TimePicker, WebViewer), 'Layout', 'Media', 'Drawing and Animation', and 'Sensors'.
- Viewer:** A central preview window showing a mobile app interface. It features a status bar with signal, Wi-Fi, and battery icons, and a time of 9:48. The app content includes a title 'ACCESO', a password field with an 'INGRESAR' button, another password field, and two buttons labeled 'Cambiar Contraseña' and 'Restaurar Contraseña'. A 'Non-visible components' section is visible at the bottom.
- Components:** A tree view showing the hierarchy of components on the screen: 'Screen1' contains 'DisposiciónTabular1' (with 'CampoDeContraseña1' and 'Botón1'), 'DisposiciónTabular2' (with 'CampoDeContraseña2', 'Botón2', and 'Botón3'), and 'TinyBD1'.
- Properties:** A panel for configuring the selected component (Screen1). Properties include 'AboutScreen', 'AlignHorizontal' (Left), 'AlignVertical' (Top), 'AppName' (ANTENA), 'BackgroundColor' (White), 'BackgroundImage' (None), 'CloseScreenAnimation' (Default), 'Icon' (antena.png), 'OpenScreenAnimation' (Default), 'ScreenOrientation' (Unspecified), and 'Scrollable' (checked).

The screenshot shows the MIT App Inventor 2 Designer interface for the 'ANTENA' app, specifically the 'Blocks' view for 'Screen2'. The top bar is identical to the previous screenshot. The interface is divided into three main panels:

- Blocks:** A list of available blocks categorized into 'Built-in' (Control, Logic, Math, Text, Lists, Color, Variables, Procedures), 'Screen2' (SelectorDeLista1, Etiqueta1, Botón1, ClienteBluetooth1, Reloj1), and 'Any component'.
- Viewer:** A central area for building logic blocks. The logic is as follows:
 - when SelectorDeLista1 BeforePicking:** do set SelectorDeLista1 Elements to ClienteBluetooth1 AddressesAndNames
 - when SelectorDeLista1 AfterPicking:** do set SelectorDeLista1 Selection to call ClienteBluetooth1 Connect address SelectorDeLista1 Selection
 - when Reloj1 Timer:** do if ClienteBluetooth1 IsConnected then if call ClienteBluetooth1 BytesAvailableToReceive > 0 then set Etiqueta1 text to call ClienteBluetooth1 ReceiveText numberOfBytes call ClienteBluetooth1 BytesAvailableToRe
 - when Botón1 Click:** do close application
- Media:** A panel for managing media files, showing 'antena.png' and an 'Upload File...' button.

At the bottom of the Viewer, there are warning icons (0) and a 'Show Warnings' button.