

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Informática.



**UNIVERSIDAD
ANDRÉS BELLO**

**Evaluación de una red de alerta temprana mediante la utilización
de Redes de Sensores Inalámbricas WSN para la ayuda oportuna
en incendios forestales.**

Tesis de título para optar al grado de Ingeniero en Telecomunicaciones.

Matias Eduardo Bustamante Salgado.

Profesor Guía:

Ricardo Tello Guerra.

David Ruete Zúñiga.

Santiago de Chile, Abril 2018.

Agradecimientos & Dedicatoria;

A mi familia, amigos y en especial a mi padres Roxana & Jorge, que han hecho posible la elaboración de este proyecto.

A mis profesores guías, compañeros de clases, y todas las personas que conforman mi casa de estudios. Por sus enseñanzas y paciencia a lo largo de este grato proceso y experiencia académica.

ÍNDICE GENERALIZADO

PORTADA	1
DEDICATORIA	2
ÍNDICE GENERALIZADO	3
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	15
RESUMEN	17
ABSTRACT	17
I. INTRODUCCIÓN	18
1.1 Sobre las WSN.....	21
1.2 Motivación.....	23
II. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	25
2.1 Antecedentes actuales.....	25
2.2 Reforestación y explotación.....	32
2.3 Descripción de las etapas de la evolución forestal.....	33
2.4 Métodos de detección temprana más utilizados.	35
2.5 Análisis de la problemática.....	37
2.6 Descripción de las causas y sub-causas.....	39
III. OBJETIVOS	43
3.1 Objetivo general.....	43
3.2 Objetivos específicos.....	43
3.3 Matriz de métricas.....	44

3.4 Matriz de trazabilidad.....	45
3.5 Alcances y limitaciones.....	46
3.5.1 Alcances.....	46
3.5.2 Limitaciones.....	47
3.5.3 Supuestos.....	47
3.6 Hipótesis.....	48
IV. MARCO TEÓRICO.....	49
4.1 Definición sobre fuego.....	49
4.1.1 Definición de incendio forestal.....	50
4.1.2 Medios de transmisión del calor.....	51
4.1.3 Comportamiento de los incendios forestales.....	53
4.1.4 Velocidad de propagación del fuego.....	54
4.1.5 Tipos de incendios según medio de propagación.....	56
4.1.5.1 De suelo o subterráneos.....	56
4.1.5.2 De superficie.....	56
4.1.5.3 De Copas.....	57
4.1.6 Intensidad calórica.....	58
4.1.7 Índice de grado de peligro (IGP).....	59
4.2 Sensores.....	63
4.2.1 Sensores definición.....	63
4.2.2 Características de los sensores.....	68
4.2.3 Sensores de temperatura.....	69
4.2.4 Tipos de sensores y tecnologías (temperatura).....	70
4.2.4.1 Electromecánicos.....	70
4.2.4.2 Resistivos.....	71

4.2.4.3 Electrónicos.....	72
4.2.5 Sensores de humedad relativa.....	72
4.2.6 Tipos de sensores y tecnologías (HR).....	73
4.3 Fundamentos del viento.....	75
4.3.1 Origen del movimiento.....	76
4.3.2 Velocidad del viento.....	76
4.3.3 La dirección del viento.....	77
4.3.4 Vientos globales.....	79
4.3.5 Vientos locales.....	79
4.3.6 Anemómetro.....	83
4.3.6.1 Anemómetro ultrasónico.....	83
4.4 Redes de sensores inalámbricos (WSN-RSI).....	85
4.4.1 WSN Definición.....	85
4.4.2 Elementos de arquitectura física.....	87
4.4.3 Elementos adicionales.....	88
4.4.4 Esquema de software.....	89
4.4.5 Elementos de software WSN.....	90
4.4.5.1 Sistema operativo (SO) de microcódigo.....	90
4.5 Estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4 Zigbee.....	92
4.5.1 Capa física.....	94
4.5.2 Frecuencias de trabajo.....	94
4.5.3 Canales.....	97
4.5.4 Trama o Frame.....	99
4.5.5 Topología y tipo de nodos.....	100
4.5.6 Existen tres modelos de transferencia de datos.....	101

4.5.7 Transferencia de datos a un coordinador.....	102
4.5.8 Transferencia de datos desde un coordinador.....	103
4.6 Protocolos de enrutamiento.....	107
4.6.1 protocolos de encaminamiento para redes WSN.....	108
4.7 Banda ISM (Industrial, Scientific and Medical).....	117
4.8 Zona de Fresnel.....	118
V. ESTADO DEL ARTE / BENCHMARK / COMPARACIÓN.....	120
5.1 Bseed WATCH.....	120
5.1.1 Especificaciones técnicas.....	122
5.1.2 Ventajas.....	123
5.1.3 Desventajas.....	123
5.2 Fire Watch.....	123
5.3 Wi-Flip.....	126
5.4 Integra WildFire.....	130
VI. METODOLOGÍAS.....	133
6.1 Metodologías de trabajo.....	133
6.2 Metodología tradicional (cascada).....	135
6.2.1 Etapas método cascada.....	136
6.2.2 Resumen metodología cascada.....	138
6.2.3 Las ventajas de la metodología.....	138
6.2.4 Las desventajas de la metodología.....	138
6.3 Metodología de Gestión.....	139
6.3.1 PMBOK.....	139
6.3.2 Éxito en PMBOK.....	140
6.3.3 PMBOK reconoce 47 diferentes procesos.....	141

6.3.4 Áreas del conocimiento en PMBOK.....	142
6.3.5 Áreas involucradas en el proyecto.....	143
6.4 Sobre la planificación del proyecto.....	146
6.4.1 Definición de las actividades EDT.....	148
6.4.2 Actividades expresadas en fechas.....	152
6.4.3 Definición y tiempo de tareas.....	154
6.4.4 Carta Gantt del proyecto de investigación.....	155
6.5 Plan de trabajo general.....	156
VII. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	158
7.1 Requerimientos funcionales.....	158
7.2 Requerimientos no funcionales.....	162
7.3 Matriz de trazabilidad.....	165
VIII. ANÁLISIS DE DISTINTAS SOLUCIONES.....	166
8.1 Bluetooth.....	166
8.1.2 Topología.....	167
8.1.3 Especificaciones.....	167
8.1.4 Arquitectura de hardware.....	168
8.2 WIFI.....	169
8.2.1 Estándares IEEE 802.11.....	169
8.2.2 Canales.....	172
8.2.3 Topología.....	173
8.3 Tabla de comparaciones.....	174
8.4 Discusión.....	175

IX. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	176
9.1 Ubicación de la solución.....	176
9.1.1 Características geográficas y climáticas.....	177
9.1.2 Descripción del sistema físico natural de la zona.....	178
9.1.3 Factibilidad de instalación.....	179
9.1.4 Elevación y estructura del suelo.....	180
9.2 Topología de red.....	181
9.2.1 Topología propuesta.....	182
9.3 Análisis de requerimiento técnico y estructural.....	183
9.3.1 Componentes técnicos de la red.....	183
9.4 Descripción técnica de la red.....	184
9.4.1 Nodos sensores.....	184
9.4.2 Especificaciones.....	185
9.4.3 Router WSN.....	186
9.4.4 Características.....	186
9.4.5 Especificaciones.....	187
9.4.6 Anemómetro ultrasónico.....	188
9.4.7 Características.....	188
9.4.8 Especificaciones.....	189
9.4.9 Kit solar fotovoltaico & almacenamiento de energía.....	190
9.5 Requerimientos estructurales.....	191
9.6 Costos y cotización.....	192
9.6.1 Estimación de costos del proyecto.....	194
9.7 Propuesta para una implementación de una WSN.....	195
9.7.1 Presupuesto de enlace / Link Budget.....	195

9.7.2 Zona de Fresnel.....	198
9.7.3 Discusión.....	199
9.7.4 Estructura de red.....	200
9.8 Simulaciones.....	201
9.8.1 Simulación de enlace en Radio Mobile.....	201
9.8.2 Topología y proceso de configuración.....	203 a 207
9.8.3 Análisis de Potencia y zona de Fresnel.....	207 a 201
9.8.4 Gráfico de líneas.....	212
9.8.5 Gráfica radial.....	212
9.8.6 Comportamiento del Nodo Sensor.....	213
9.8.7 Mapa o diagrama de flujo del sistema.....	214
9.9 Análisis de transmisión o encaminamiento de datos.....	216
9.9.1 Descubrimiento de ruta AODV.....	217
9.9.2 Mantenimiento de rutas AODV.....	219
X. CONCLUSIONES.....	221
10.1 OE1.....	221
10.2 OE2.....	222
10.3 OE3.....	224
10.4 OE4.....	224
10.5 Gantt esperada & Gantt resultante.....	225
10.6 Matriz de métricas y objetivos específicos.....	227
ANEXO A.....	228
ANEXO B.....	233
XI. REFERENCIAS.....	236

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1; Logo institucional de la CONAF.....	19
Figura 2; Grafico de ocurrencia nacional histórica (CONAF).....	25
Figura 3; Ocurrencias y daño de IF entre 1964-2016 (CONAF 2018).....	26
Figura 4; Ocurrencia y daño decenio 2008-2017 (CONAF).....	27
Figura 5; Ocurrencia de IF de magnitud normal (CONAF).....	28
Figura 6; Ocurrencia de IF de Alta magnitud (CONAF).....	28
Figura 7; Distribución horaria de IF (CONAF).....	29
Figura 8; Causas de IF periodo 2003 – 2011 (RIAT U. Talca 2011).....	29
Figura 9; Causalidad de IF 2003-2011 (CONAF 2014).....	30
Figura 10; SIG de distribución de IF en nuestro territorio (CONAF).....	31
Figura 11; Diagrama de Ishikawa, Causas y efectos de la problemática.....	38
Figura 12; Variable claves, triangulo del fuego.....	50
Figura 13; Incendio forestal sin control.....	51
Figura 14; Medios o tipos de transmisión de calor.....	53
Figura 15; Estructura de la propagación del fuego.....	55
Figura 16; Aumento de la velocidad respecto a la pendiente del terreno.....	55
Figura 17; Incendios de suelo o subterráneos.....	56
Figura 18; Incendio de superficie.....	57
Figura 19; Incendio de copas.....	58
Figura 20; IGP utilizado en nuestro país.....	60
Figura 21; Comportamiento de un sensor.....	63
Figura 22; Dominio de datos.....	65
Figura 23; Representación de la segunda ley de Newton.....	69

Figura 24; Representación gráfica de la dirección del viento.....	78
Figura 25; Ejemplo velocidad del viento y dirección en los Hemisferios.....	78
Figura 26; Representación gráfica de la Rosas de los Vientos I.....	80
Figura 27; Representación gráfica final de la Rosa de los Vientos II.....	82
Figura 28; Representación de un Anemómetro Ultrasónico.....	83
Figura 29; Ecuación que describe el comportamiento del sistema.....	84
Figura 30; Ejemplo de tipos de Nodos y topologías full mesh-estrella mixta.....	86
Figura 31; Arquitectura general de hardware de un Nodo WSN.....	87
Figura 32; Esquema o arquitectura de software de un Nodo WSN.....	89
Figura 33, Logo o presentación de Zigbee Alliance.....	92
Figura 34; Estructura del estándar 802.15.4 Zigbee.....	93
Figura 35; Transición de datos binarios a señal modulada en IEE 802.15.4.....	96
Figura 36; Distribución de canales en el estándar IEEE 802.15.4.....	97
Figura 37, Niveles de interferencias al configurar la red WiFi.....	98
Figura 38; La estructura del frame o trama IEEE 802.15.4.....	99
Figura 39; Ilustración de una trama de datos 802.15.4.....	100
Figura 40; Topologías en WSN y Tipos de Dispositivos.....	101
Figura 41; Transferencia de dato a un coordinador.....	102
Figura 42; Trama de confirmación.....	103
Figura 43; Transferencia de datos desde un coordinador.....	104
Figura 44; Trama de confirmación.....	105
Figura 45; Estructura de acceso al canal es el CSMA/CA.....	106
Figura 46; Comportamiento de un protocolo de enrutamiento.....	108
Figura 47; Clasificación general de protocolos de enrutamiento en WSN.....	109
Figura 48; Abanico de frecuencias disponibles en ISM.....	117

Figura 49; Esquema del despeje de la Zona de Fresnel.....	118
Figura 50; Aplicativo de Bseed WATCH.....	120
Figura 51; Aplicativo de Bseed WATCH.....	121
Figura 52; Prototipo comercial de Bseed WATCH.....	122
Figura 53; Tipos de codificación de imágenes en el sistema.....	124
Figura 54; Comunicación vía cámaras y RF de Fire WATCH.....	125
Figura 55; Estructura física del dispositivo.....	125
Figura 56; Estructura del dispositivo WI-FLIP.....	127
Figura 57; Segmentación de humo, procesamiento y posterior alarma.....	128
Figura 58; Dos fotografías algoritmo de detección WI-FLIP.....	129
Figura 59; Dispositivos de campo del sistema, diferentes ángulos.....	131
Figura 60; Proceso de funcionamiento del sistema.....	132
Figura 61; Funcionamiento del sistema en el aire libre.....	132
Figura 62; Ventajas de la utilización de metodologías.....	133
Figura 63; Estructura secuencial de la metodología en cascada.....	135
Figura 64; ciclo de procesos del PMBOK.....	140
Figura 65; EDT estructura de desglose de trabajo.....	147
Figura 66; Topología Bluetooth, dispositivos y privilegios en la red.	167
Figura 67; Estructura física de Bluetooth.....	168
Figura 68; Canales de comunicación WIFI.....	172
Figura 69; Topología general de una red WIFI.....	173
Figura 70; Emplazamiento y faenas de la forestal Nilahue.....	177
Figura 71; Lugar de la instalación del sistema utilizando Google Earth.....	177
Figura 72; Lugar detallado del sistema utilizando Google Earth.....	179
Figura 73; Perfil de elevación en pendiente, utilizando Google Earth.....	180

Figura 74; Teselación con Triángulos Equiláteros.....	181
Figura 75, Ubicación geográficas de los Nodos, cobertura (400 metros).....	182
Figura 76, Topología utilizada en nuestro proyecto de investigación.....	183
Figura 77; Distribución y estructura de la instalación.....	183
Figura 78; Nodo Sensor de la marca Advantics CM5000 SMA.....	185
Figura 79; Router, SG-1000 Embedded PC & 802.15.4.....	186
Figura 80; Transductor de Dirección y Velocidad Viento Sónico.....	188
Figura 81; Panel Solar 30w & Batería 12v 30ah.....	190
Figura 82; Monopostes livianos utilizados en nuestras instalaciones.....	191
Figura 83; Estructura contraventada utilizada.....	192
Figura 84; Estructura para realizar una buena estimación de presupuesto.....	193
Figura 85; Estructura del cálculo de la zona de Fresnel.....	198
Figura 86; Territorio de estudio según la Topología de Malla utilizada.....	201
Figura 87; Grafico de patrón de cobertura de cada nodo.....	203
Figura 88 al 101; Configuración y pruebas con Radio Mobile.....	203 a 210
Figura 102; Grafico de niveles de potencia en Radio Link.....	212
Figura 103; Grafico radial de potencia, obtenidos en Radio Link.....	212
Figura 104; Diagrama de flujo del sistema de Alerta Temprana.....	214
Figura 105; Estado de alerta de la Red.....	215
Figura 106; Análisis utilizando IGP o datos meteorológicos.....	215
Figura 107; Modelo OSI de interconexión de sistemas.....	217
Figura 108 al 111; Comportamiento del protocolo AODV.....	217 a 220
Figura 112; Posibles Áreas adyacentes de interés para la escalabilidad.....	222
Figura 113; Carta Gantt esperada vs Gantt real.....	226
Figura 114; Perímetro formado por los Nodos vecinos alertados.....	229

Figura 115; Formación de perímetro inicial alrededor del Nodo.....	230
Figura 116; El perímetro se expande a medida que el fuego se expande.....	231
Figura 117; WRPlot View; Funcionamiento.....	233
Figura 118; Instalación en Windows del software WRPlot View.....	234
Figura 119; FarSite; Funcionamiento.....	235

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1; Resumen Catastro CONAMA-CONAF-BIRF tipos de bosques.....	35
Tabla 2; Tipos de métodos de detección temprana.....	36
Tabla 3; Matriz de métricas de Objetivos específicos.....	44
Tabla 4; Matriz de trazabilidad de Objetivos específicos.....	45
Tabla 5; Matriz de trazabilidad de Objetivos específicos.....	45
Tabla 6; Factor de estacionalidad de la vegetación IGP.....	61
Tabla 7; Factor de seguía IGP.....	62
Tabla 8; Tabla y definición de riesgos.....	63
Tabla 9; Clasificación de los sensores.....	66
Tabla 10; Sensores y métodos de detección más frecuentes.....	67
Tabla 11; Conversión entre unidades de velocidad.....	76
Tabal 12; Escala de medición de Beaufort.....	77
Tabla 13; Dirección de los vientos globales de acuerdo a Coriolis.....	79
Tabla 14; Datos para representación de la rosa de los vientos.....	81
Tabla 15; Tabla con datos de Rosa de los vientos.....	82
Tabla 16; Parámetros del estándar IEEE 802.15.4.....	96
Tabla 17; Diferencias entre las distintas metodologías.....	134
Tabla 18, Correspondencia entre los procesos del PMO.....	145
Tabla 19; Definición y tiempo de las tareas a realizar en el proyecto.....	154
Tabla 20; Carta Gantt esperada con las actividades de la EDT.....	155
Tabla 21; Requisitos funcionales vs cumplimiento de objetivos.....	165
Tabla 22; Estándares de comunicación IEE 802.11.....	171
Tabla 23; Comparación entre tecnologías propuestas.....	174

Tabla 24; Especificaciones técnicas del Nodo Sensor.....	185
Tabla 25; Especificaciones técnicas del Gateway.....	187
Tabla 26; Especificaciones técnicas de los Anemómetros.....	189
Tabla 27; Estimación de costos del proyecto.....	194
Tabla 28; Link Budget.....	196
Tabla 29; Nivel de señal en receptor.....	197
Tabla 30; Margen de tolerancia de la señal.....	197
Tabla 31; Ubicación geográfica específica de los Nodos, coordenadas.....	202
Tabla 32; Con los datos de Fresnel, distancia, Rx level, Radio Link.....	211
Tabla 33; Métricas REM con los valores obtenidos.....	227

RESUMEN

En la actualidad nuestro país experimenta temporadas de incendios forestales que han ido creciendo de manera exponencial a través de los años. Por lo que la cantidad de incendios forestales ha aumentado significativamente; en extensión y daños asociados a estos eventos, lo que conlleva a pérdidas monetarias, medioambientales, inclusive de vidas. Por lo que la prevención de estos se ha transformado en un tema de discusión importante en la actualidad. Para esto se propone un método de prevención usando redes de sistemas inalámbricos sensores (WSN Wireless Sensor Network), dispositivos capaces medir parámetros críticos que cambian o interactúan a la hora de generarse un incendio forestal. Además se hará un análisis completo de las WSN, con sus características principales, también se analizarán métodos de optimización para las comunicaciones con lo que se finalizara con una propuesta que recopile un método eficaz para la prevención de incendios forestales en un área determinada.

ABSTRACT

Currently, in our country, we are experimenting the season of forest fires that have been growing exponentially throughout the years. Why has the number of forest fires grown significantly; in extension and damages associated to these events, resulting in monetary, environmental lost and even death. Because the prevention of these has been transformed into a relevant subject of significant discussion. For this reason, a method of prevention has been suggested using wireless systems sensors (WSN Wireless Sensor Network), equipment with the capacity to measure critical parameters that change or interact at the time that a fire in the forest is generated. Also, there will be a complete analysis of the WSN, with its main characteristics, as well an analysis of optimized methods for the communications that would finalize the approach that assembles an effective method for the prevention of forest fires in a determined area.

I INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales (IF) en Chile, son una fuente de un sinfín de problemáticas relacionadas con el deterioro y alteración del medio ambiente, cambios en la forma de vida humana, así como también, son una fuente de pérdida económica bastante significativa, tanto para el estado como para entes privados (RIAT U. Talca 2011).

Se puede generalizar dichos eventos como de fuente antrópica o generados por acciones de negligencia humana (directa o indirectamente), siendo casi el 99% de ellos. El resto se debe a situaciones de carácter natural como; tormentas eléctricas, actividad volcánica, cambios bruscos de temperatura, choque de piedras silíceas (CONAF 2018).

La gran masa de incendios forestales en Chile se presenta en épocas estivales, que van desde octubre a principios de abril, siendo el rango horario entre 3 y 5 de la tarde el de mayor fluctuación y generación de incendios (CONAF 2018).

Es importante señalar que la actividad incendiaria en nuestro país presenta una distribución territorial determinada (no homogénea), siendo ciertos lugares focos propensos para estas actividades, ya sea por características territoriales-climáticas o factores inherentes al movimiento y expansión humana (CONAF 2018).

Chile es un país con una amplia superficie boscosa, posee una superficie estimada de bosque de **15,5** millones de hectáreas, de las cuales **13,4** son de bosque nativo y **2,1** son de plantaciones comerciales, lo que representa un **20,5** % de la superficie del territorio continental (CONAF 2018).

Económicamente, aporta al país el **3,1%** del PIB nacional. Chile es un país abiertamente económico, y principalmente mantiene su economía gracias a las exportaciones. El sector forestal exporta alrededor del **63%** de lo que produce

destacando celulosa, trozos para aserrar y para pulpa y madera aserrada, casi exclusivamente de pino radiata (RIAT U. Talca 2011).

Cada año se generan muchos de eventos de este tipo, del orden de miles. Afectando territorios nativos; como parques nacionales o monumentos naturales, comunidades o poblaciones humanas y *predios forestales privados*. Siendo de vital importancia crear métodos o sistemas de detección temprana para fortalecer la gestión de recursos humanos y económicos, así intentar batallar contra dichos eventos. (CONAF 2018).

La Corporación Nacional Forestal (CONAF) tiene dependencia del Ministerio de Agricultura que es la institución del Estado encargada de fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país. CONAF tiene como misión “Contribuir al desarrollo del país a través de la conservación del patrimonio silvestre y el uso sostenible de los ecosistemas forestales”. (CONAF 2017).



Existen una serie de métodos creados para la detección de incendios forestales a cargo casi en su totalidad y de forma oficial por CONAF, tanto para territorios nativos, así como también, brindan a apoyo a entes privados. Son los encargados a nivel forestal en nuestro país.

Cabe señalar que la sociedad privada (empresas madereras y/o forestales) posee métodos propios que trabaja en conjunto muchas veces (CONAF 2018).

Los principales métodos de detección temprana de incendios forestales utilizados en nuestro territorio, tienen un funcionamiento mecanizado ya

establecido y posicionado para trabajar en conjunto y dar soporte para la estimación “correcta” de los focos de origen del fuego. Es importante señalar que en su mayoría estos métodos operan con una mínima extensión de superficie, generalmente necesitan un área más o menos extensa (hectáreas) para dar cuenta del surgimiento de un IF (incendio forestal) (Ulibarry, P. G, & Cáceres, F 2017). Lo cual no deja de ser impactante para el medio ambiente.

Se puede mencionar brevemente que los sistemas de detección temprana dispuestos se pueden dividir en dos grupos, como lo son la **detección terrestre y la detección aérea**.

La detección terrestre hace referencia a los métodos usados para detectar IF en términos del uso del territorio. Se trata de técnicas terrestres de monitorización móvil o fija. Siendo la observación por medio de torres ubicadas de forma estratégica (bajo estudios de la topografía y clima del terreno), una de las formas más efectivas. Existe también la observación terrena móvil, que hace alusión al despliegue de todo tipo automóviles para la detección por caminos o senderos (CONAF 2018).

Estas metodologías presentan una gran cantidad de desventajas, por ejemplo; la observación por torres es viable y efectiva, pero necesita personal capacitado para operarlas y procesos ágiles para dar cuenta a las autoridades, también, tienen una visibilidad limitada y muchas veces traslapos con otras torres de vigilancia o montañas adyacentes (CONAF 2018).

En las detecciones áreas (aviones, satélites) se tiene disponibilidad para explorar el territorio de una forma más acabada y rápida pero ese esta en dependencia de los factores climáticos (visibilidad), el tiempo de demora (satélites), y los grandes costos asociados a estas actividades. Aparte de ser mecanismos súper limitados y escasos en nuestro país (Silva F. R. & Castillo M. E. 2015).

Como vemos existen métodos establecidos para otorgar una capacidad de reacción y detección de incendios, pero que en la práctica representan distintos

índices de efectividad, gestión y/o gastos asociados. También poseen variadas desventajas o puntos ciegos que imposibilitan un mayor porcentaje de acierto o efectividad (Schüler S. C. 2014), (CONAF 2018).

Como método de propondrá la creación de una alternativa de alerta temprana a las ya formuladas o funcionales en nuestro territorio nacional, así como también, estudiar la génesis y los factores medioambientales que generan IF. Para ello propongo la utilización de TICs (tecnologías de la información). Integrandos alguna tecnología o métodos tecnológicos nuevos sobre ciencias de la ingeniería. Para la agilización de los procesos, ayudar en la toma de decisiones y generar conocimientos nuevos.

Como alternativa viable para afrontar la problemática expuesta, una buena y factible solución sería la implementación de un prototipo de red que funcione con datos en tiempo real, escalable, con multisaltos de datos y auto configurable (Neelam, V., Vishwanathan, P., & Suman, S. 2013), (Reyes, J. S.) Siendo capaz de procesar información del medio ambiente donde sea desplegada y enviar la información rápidamente de forma inalámbrica (sincrónica o asincrónicamente) a una estación base (BS), donde pueda ser analizada y ayude al rápido despliegue de los entes relacionados.

1.1 SOBRE LAS WSN

El uso de esta tecnología trae la posibilidad de estudiar y controlar fenómenos de suma importancia en el mundo de la tecnología e ingeniería, obteniendo información fidedigna con bajo costo de implementación y una efectividad más que considerable (Neelam, V., Vishwanathan, P., & Suman, S. 2013).

Básicamente una WSN (Wireless Sensor Network) consiste en la unión de pequeños dispositivos electrónicos, formando sistemas embebidos llamados NODOS o MOTAS; dotados de comunicación, memoria y procesamiento, capaces de ejecutar tareas de censado y monitorización de un dispositivo y/o grupo crítico de dispositivos (clúster) o un territorio definido. Utilizando

comunicación inalámbrica por medio de técnicas de RF (Radio frecuencia) en bandas ISM (de libre uso) y un mínimo consumo energético. Este factor es de suma importancia.

Será entonces el consumo energético una limitante a la hora de *Tx/Rx* (enviar y recibir) y procesar los datos, ya que, la falta de fuentes energéticas (cableadas) al alcance de los dispositivos, obligan a ser dotados de alternativas, por ejemplo; **baterías o paneles solares.**

Los nodos sumados a un nodo principal coordinador o Router (Gateway) tienen la posibilidad de confeccionar una red ad hoc, (sin infraestructura física definida) y anexado a una gama amplísima de módulos sensores, permiten definir y crear una red inteligente, de bajo costo, consumo energético mínimo y altamente efectiva a la hora de estudiar un evento específico (Neelam V., Vishwanathan P., & Suman, S. 2013), (Reyes J. S.).

Finalmente, se acotará en el transcurso del presente trabajo a caracterizar de la forma más completa posible la estructura de los IF en Chile, su ocurrencia y problemáticas.

Seguidamente se contextualizará la aplicación tecnológica propuesta para ayudar en la detección de los mismos, mencionando de forma completa su estructura lógica y física, así como también, todo el conocimiento en la trato de la información que conlleva dicha tecnología.

Para finalizar con una completa propuesta (prototipo) de red alerta temprana bajo las características mencionadas y que pueda de forma efectiva ayudar al conocimiento de la propagación del fuego, organizando así un despliegue automatizado de la red para predecir su movimiento e informar de manera oportuna. Esto se llevará a cabo utilizando la información brindada por Forestal Nillahue, Pichilemu. Quienes accedieron a ser la fuente de estudio del presente trabajo y prestar como escenario probable sus instalaciones.

1.2 MOTIVACIÓN

- **Conservación de la naturaleza.**
- **Manejo sustentable de recursos naturales.**

Las zonas forestales son imprescindibles para la vida en el planeta. Además de ser parte fundamental en los ciclos de producción y distribución del agua, purifican el aire que se respira al capturar bióxido de carbono y liberar oxígeno. También regulan la temperatura y la humedad, con lo que se equilibra el clima; proporcionan alimento, medicina y refugio a los seres vivos; y son fuente de materia prima en muchas actividades humanas.

Estos procesos vitales se ven amenazados por diversos factores ajenos a las actividades forestales como: *la degradación de suelos, la deforestación, la tala inmoderada, los fuegos no controlados que están relacionados con otras actividades como la agricultura, la ganadería y el desarrollo urbano.* (CONAFOR 2010).

El fuego puede tener una influencia positiva en la Naturaleza, pues ayuda a mantener la biodiversidad. Pero cuando se utiliza de forma irresponsable o se produce por alguna negligencia, puede convertirse en un incendio forestal de consecuencias devastadoras para el medio ambiente, incluso para la salud y seguridad de las personas.

- **Vanguardia tecnológica e investigación.**

El despliegue de una red de sensores inalámbricas (WSN o RSI), tecnología de la cual me siento bastante interesado, por su gran abanico de aplicaciones contra problemáticas de diferente índole, su interesante funcionamiento técnico y la cantidad de estudio científico para aplicaciones actuales y a futuro.

Dicho sistema ideado de forma correcta podría apoyar significativamente y trabajar en conjunto con los métodos ya existentes, logrando una solución

pionera y con mayores tasas de efectividad. En comparación con la información meteorológica normal y los datos básicos de los recursos forestales, el sistema puede hacer una evaluación rápida de un peligro potencial de incendio. Además de poder predecir su expansión y poder ayudar a tomar decisiones críticas cuando este hecho ocurra.

Las aplicaciones de una WSN son bastante amplias, dependiendo de su estructura general, topología y aplicaciones protocolares, podemos estudiar o crear soluciones en campos como, la Agricultura de precisión, Control en Ganadería, Riesgos o eventos medioambientales, Domótica, Internet de las cosas (IoT), Control de procesos industriales, Aplicaciones en el área de Salud, entre otras aplicaciones (Ramos V., De Miguel-Bilbao S., & García J. 2013), (González A. J. 2009).

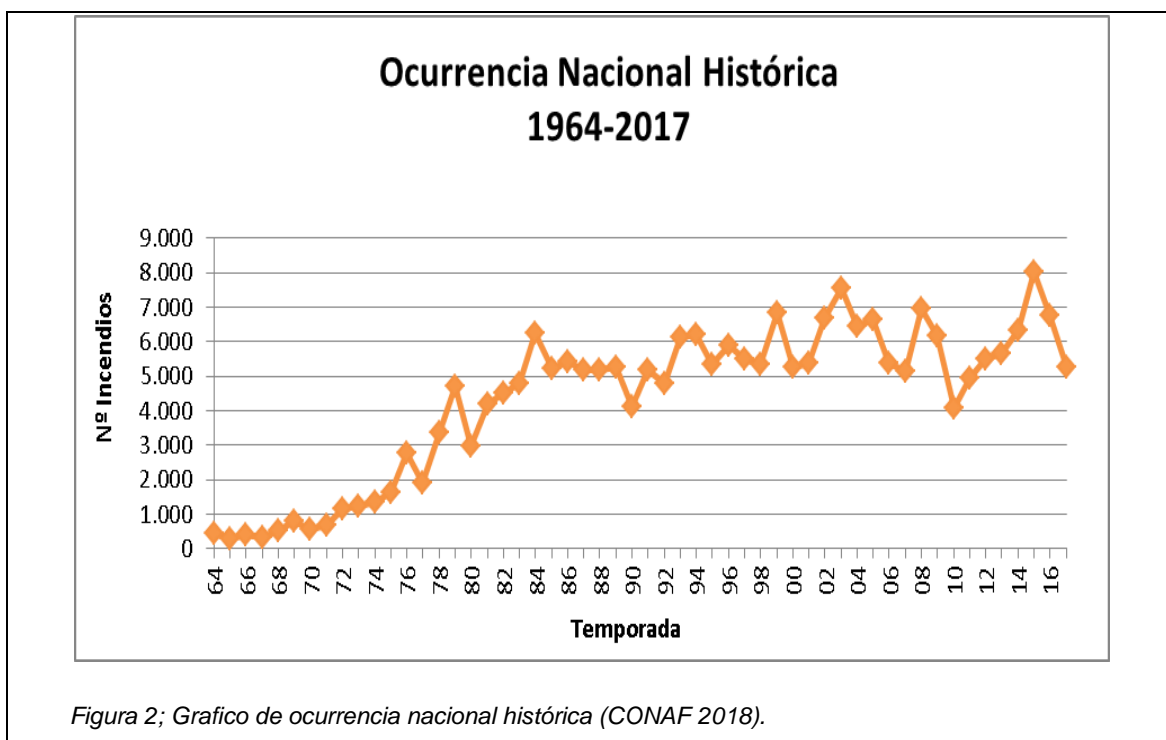
II IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

2.1 ANTECEDENTES ACTUALES

En Chile se generan alrededor de **5.500** incendios forestales en promedio al año, (6.784 en 2015-2016). Siendo su mayor incidencia durante los meses de Enero y Febrero. (CONAF 2018).

Anualmente en Chile se pierden en promedio **50** mil hectáreas producto de los incendios forestales en épocas estivales.

Se puede mencionar a demás, que desde mediados de la década del 60s los incendios se han multiplicado de forma más o menos exponencial siendo hoy en día, casi un **90%** más de ocurrencias.(CONAF 2018).

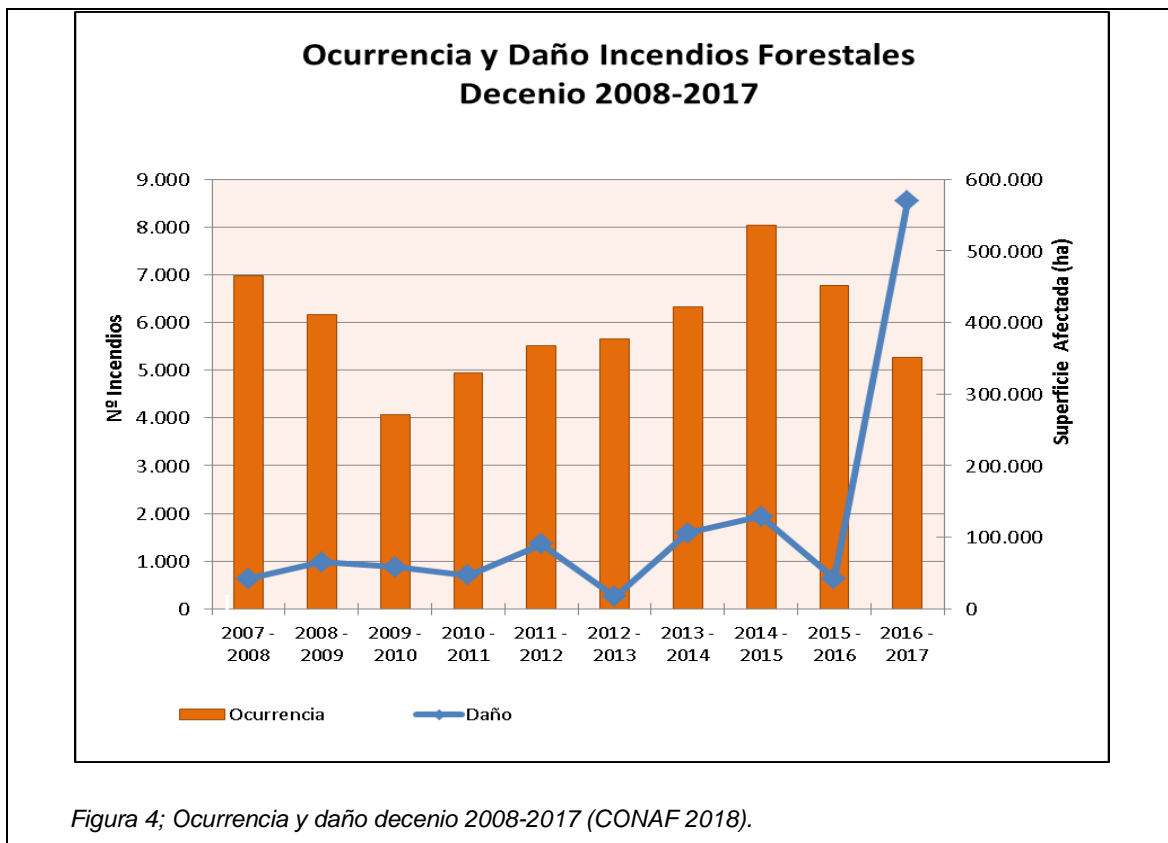


CORPORACION NACIONAL FORESTAL
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS FORESTALES
Estadísticas - Septiembre 2017

Ocurrencia y Daño Histórico Nacional de Incendios Forestales
1964 -2016

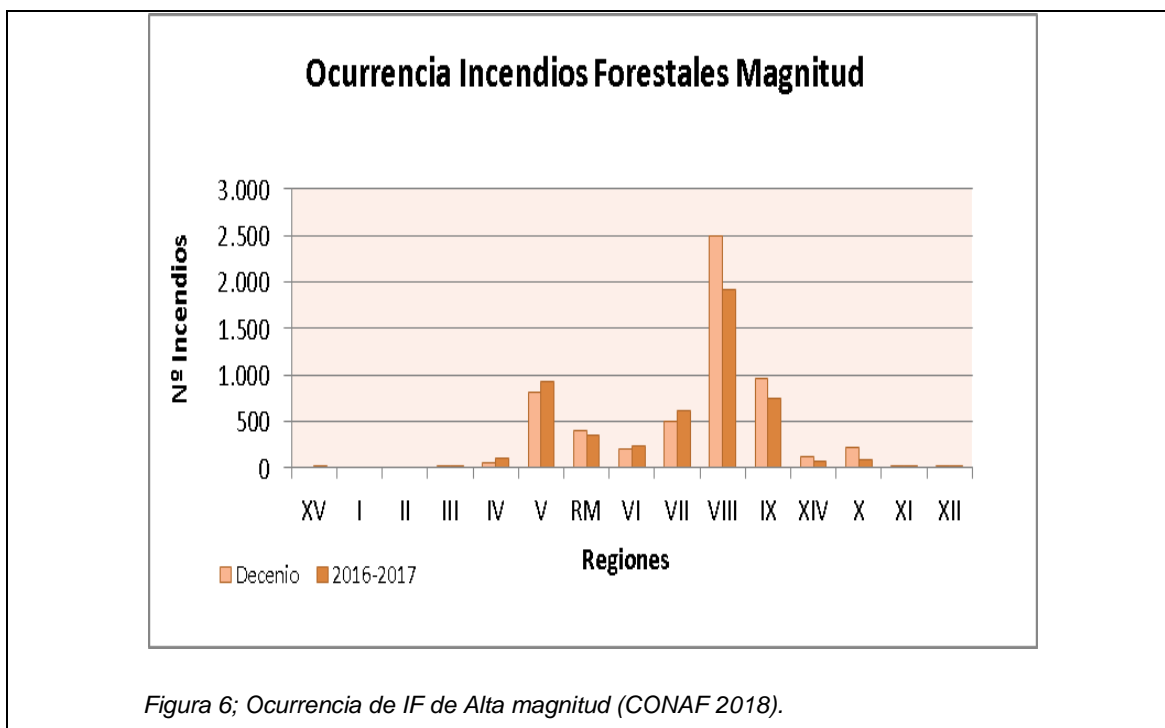
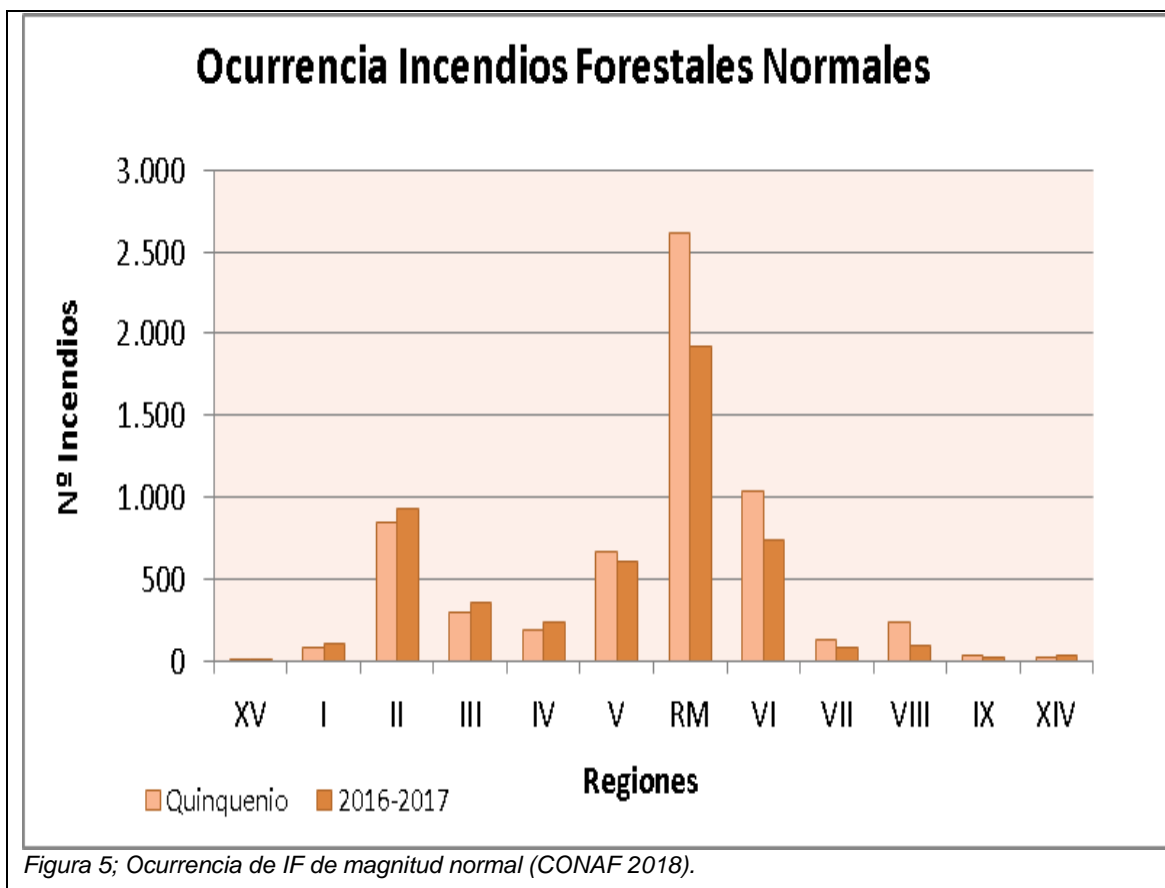
Nº	TEMPORADA	Denominación	NÚMERO DE INCENDIOS	SUPERFICIE AFECTADA (ha)	SUPERFICIE PROMEDIO (ha/inc.)
1	1963 - 1964	64	435	19.600	45,1
2	1964 - 1965	65	269	17.200	63,9
3	1965 - 1966	66	396	19.900	50,3
4	1966 - 1967	67	307	15.820	51,5
5	1967 - 1968	68	507	61.314	120,9
6	1968 - 1969	69	807	34.747	43,1
7	1969 - 1970	70	551	16.725	30,4
8	1970 - 1971	71	669	22.603	33,8
9	1971 - 1972	72	1.172	81.570	69,6
10	1972 - 1973	73	1.214	42.763	35,2
11	1973 - 1974	74	1.332	19.162	14,4
12	1974 - 1975	75	1.630	9.604	5,9
13	1975 - 1976	76	2.785	24.266	8,7
14	1976 - 1977	77	1.909	26.458	13,9
15	1977 - 1978	78	3.380	29.963	8,9
16	1978 - 1979	79	4.718	76.215	16,2
17	1979 - 1980	80	2.977	22.535	7,6
18	1980 - 1981	81	4.197	32.056	7,6
19	1981 - 1982	82	4.520	26.842	5,9
20	1982 - 1983	83	4.782	45.748	9,6
21	1983 - 1984	84	6.252	80.191	12,8
22	1984 - 1985	85	5.223	47.572	9,1
23	1985 - 1986	86	5.421	67.414	12,4
24	1986 - 1987	87	5.195	97.055	18,7
25	1987 - 1988	88	5.202	85.837	16,5
26	1988 - 1989	89	5.245	88.062	16,8
27	1989 - 1990	90	4.116	25.545	6,2
28	1990 - 1991	91	5.194	50.273	9,7
29	1991 - 1992	92	4.788	24.224	5,1
30	1992 - 1993	93	6.118	49.981	8,2
31	1993 - 1994	94	6.214	65.606	10,6
32	1994 - 1995	95	5.356	26.174	4,9
33	1995 - 1996	96	5.886	40.081	6,8
34	1996 - 1997	97	5.493	43.592	7,9
35	1997 - 1998	98	5.332	90.887	17,0
36	1998 - 1999	99	6.831	101.691	14,9
37	1999 - 2000	00	5.252	17.183	3,3
38	2000 - 2001	01	5.376	10.921	2,0
39	2001 - 2002	02	6.701	90.069	13,4
40	2002 - 2003	03	7.572	41.988	5,5
41	2003 - 2004	04	6.430	50.687	7,9
42	2004 - 2005	05	6.653	65.300	9,8
43	2005 - 2006	06	5.397	19.349	3,6
44	2006 - 2007	07	5.143	43.404	8,4
45	2007 - 2008	08	6.976	42.063	6,0
46	2008 - 2009	09	6.157	64.875	10,6
47	2009 - 2010	10	4.069	58.364	14,3
48	2010 - 2011	11	4.952	47.040	9,5
49	2011 - 2012	12	5.509	90.279	16,4
50	2012 - 2013	13	5.651	17.109	3,0
51	2013 - 2014	14	6.335	105.992	16,7
52	2014 -2015	15	8.048	128.654	16,0
53	2015 - 2016	16	6.784	42.097	6,2
54	2016 - 2017	17	5.274	570.197	108,1
TOTALES			234.702	3.134.848	
PROMEDIO (1964/2017)			4.346	58.053	13,4
TOTAL QUINQUENIO (2012/2016)			32.327	384.132	
PROMEDIO QUINQUENIO (2012/2016)			6.465	76.826	11,9
TOTAL DECENIO (2008/2017)			59.755	1.166.672	
PROMEDIO DECENIO (2008/2017)			5.976	116.667	19,5
DESVEST (2008/2017)			1.136	162.826	4,7
PROMEDIO +1 DESVEST			7.111	279.493	24,2
PROMEDIO -1 DESVEST			4.840	46.150	14,9

Figura 3; ocurrencia y daño histórico nacional de IF entre 1964-2016 (CONAF 2018).



Se pueden apreciar claramente que las alarmantes cifras vienen en aumento conforme el paso del tiempo y las nuevas décadas que se hacen presentes. Teniendo que de forma presurosa gestar nuevas metodologías para afrontar los desafíos en materia de accidentes forestales (CONAF 2017), (Barría, F. 2017).

Se logra desprender también, que el mercado territorio Chileno es proporcional también a los incendios forestales que se generan en él. Por ejemplo, en el norte grande del país la ocurrencia es bastante baja, casi despreciable. Pero, en el centro (V Región) y Sur medio (VII, VIII y IX Región) la ocurrencia es altamente mayor.



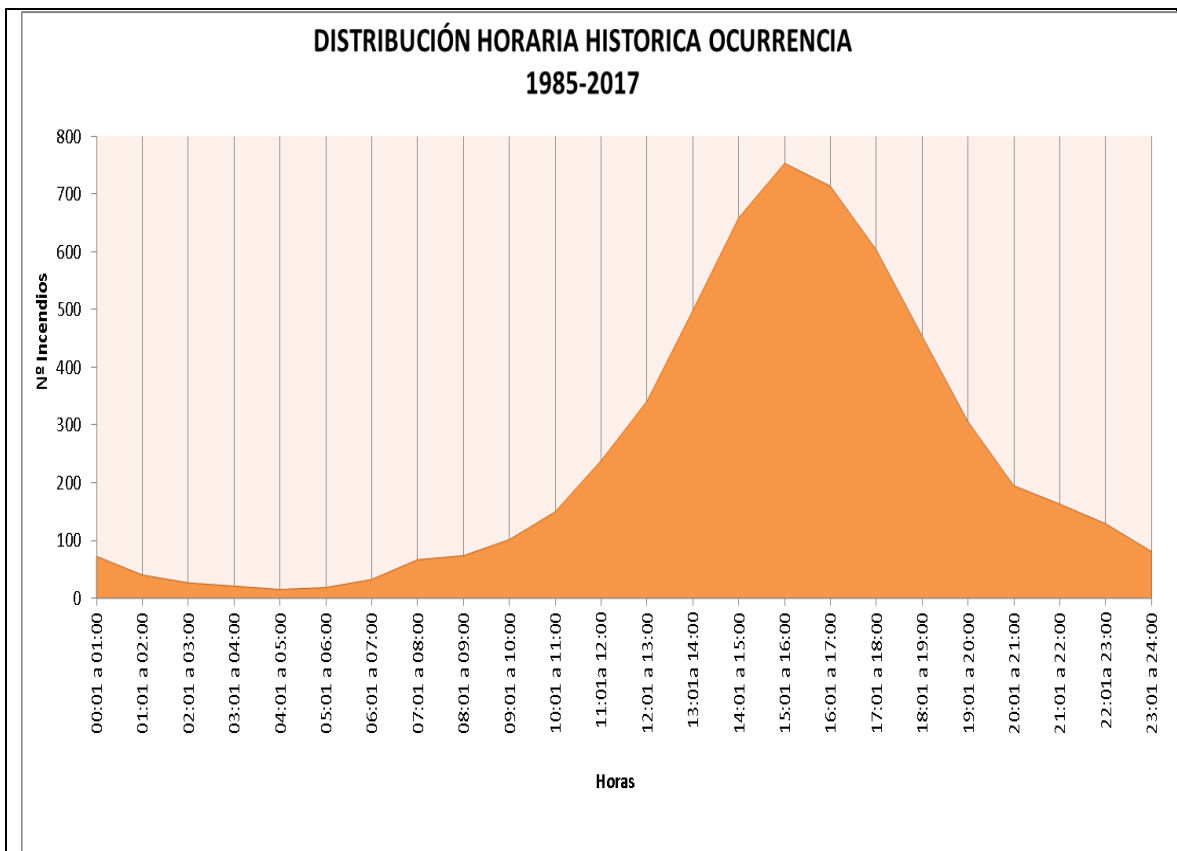


Figura 7; Distribución horaria de IF (CONAF 2018).

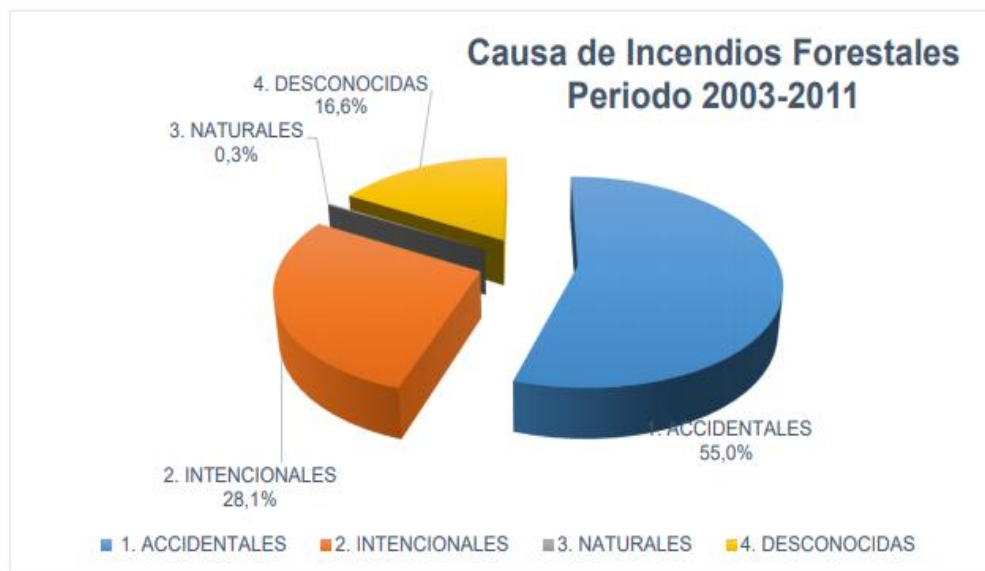


Figura 8; Causas de IF periodo 2003 – 2011 (RIAT U. Talca 2011).

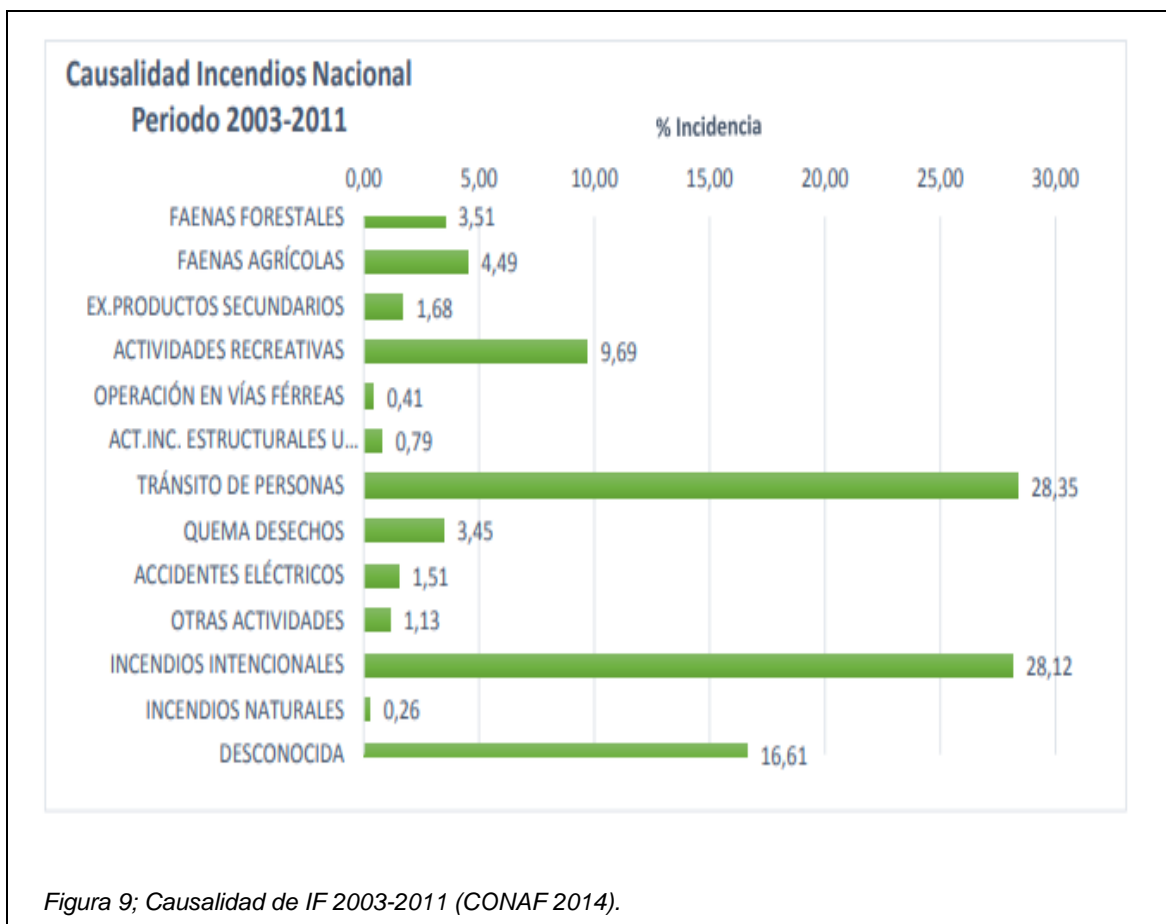




Figura 10; SIG con información alarmante de distribución de IF en nuestro territorio (CONAF 2018).

2.2 REFORESTACIÓN Y EXPLOTACIÓN COMO UNO DE LOS ACTORES PRINCIPALES

El monocultivo forestal existente en Chile se extiende por amplias comarcas por casi todo el territorio nacional, como se comentó anteriormente, representa hoy el **3.1% del PIB nacional** y es el segundo sector de exportaciones renovables (RIAT U. Talca 2011).

Las masivas plantaciones que se extienden desde la región de **O'Higgins** hasta **Los Ríos**, se caracterizan por ser de tipo homogéneas, es decir reemplazan la materia nativa por especies exóticas casi *exclusivamente de Pinus Radiata (Pino) y Eucalyptus Globulos (Eucalipto)*, especies emblemáticas que comenzaron a plantarse a principios de los 70s después del muy cuestionado decreto **Nro. 701** y que según distintos expertos en el tema, son uno de los factores más importantes en la gestación y propagación de los IF (Barría F. 2017).

Existen muchos puntos de vista para afrontar el análisis de las causas y su implicancia en el tema.

Antiguamente el material forestal que se extendía por nuestro territorio era de carácter endémico o nativo, siendo este, compuesto por una gran cantidad de especies vegetales de distintas características; usos de suelo, humedad, estructura física, etc.

Las reservas de agua y la estructura radicular de los bosques eran armónicas o proporcionales a la cantidad de material orgánico que habitaba en él. Por tanto, la incidencia era bastante menor, las cuencas hídricas subterráneas no estaban del todo consumidas. La expansión era mucho más lenta y controlable de un IF. Existía una mixtura que generaba humedad natural constante que suprimía o retrasaba la expansión.

Por ejemplo, en el sector **Río Maule-Cobquecura**, en la costa en la Región del Maule, en el año 2000 ya existían más de 200 mil hectáreas de plantaciones forestales que desde 1975 habían sustituido 63 mil hectáreas de bosque nativo. Es decir, 53% por ciento. Esta es una situación que se repite en otras regiones del país como Biobío y La Araucanía.

“El eucalipto es muy inflamable, al igual que el pino, que es una conífera que produce mucha resina, muy inflamable y que produce incendios de mayores temperaturas y más voraces. Ambos tipos de árboles contienen en su estructura química compuestos que se llaman metabolitos secundarios, que producen fenoles, mentoles y otros compuestos que son inflamables” (Urquiza C., & Barrios C. 2017).

En muchos lugares los monocultivos colindan con bosque nativo y no hay barrera para la propagación.

“En general cuando tienes masas de bosque muy homogénea, consumen agua a la misma tasa. Los árboles son como bombas de chupar agua. El proceso de evapotranspiración es mucho más fuerte en una plantación forestal que en un lugar cubierto con bosque nativo. Esto se ve cuando hay grandes extensiones de monocultivos” (Barría F. 2017).

Una buena noción podría ser, el caracterizar la explotación forestal chilena con etapas que surgen desde la colonización. Abriendo el sector agrícola y ganadero, generando así la primera gran deforestación nacional.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DE LA EVOLUCIÓN FORESTAL (ADAPTADO DE KIMMINS, 1997)

- *Explotación*: Consiste en la explotación no regulada de bosque, que conduce con el tiempo a escasez de madera, leña y otros bienes. Aquí no hay silvicultura ni manejo forestal.
- *Regulación*: Se institucionalizan mecanismos políticos y legales, se establecen regulaciones para controlar la tasa y los patrones de explotación forestal, de modo de asegurar el abastecimiento futuro de productos forestales.
- *Manejo Forestal Sustentable*: Esta incluye un enfoque ecológico en la aplicación de la silvicultura y el manejo forestal, tanto de los bosques nativos como de las plantaciones. Si bien el principal objetivo sigue siendo el producir madera, esto se hace de modo ambientalmente correcto, y asegurando un abastecimiento sostenido de madera y otros bienes y servicios de los bosques.

Quizás estas podrían ser buenas razones teóricas para obtener un patrón o dar características generales para determinar algunas de las altas ocurrencias en ciertas regiones de nuestro territorio.

Como ya se ha podido apreciar los incendios forestales y sus métodos de prevención son una problemática que incluye a todos los estamentos que conforman una nación y debe ser abordado desde múltiples puntos de vista (Salinas R. T., García G. A, & Henríquez N. C 2016).

Región	Bosque Nativo		Bosque Mixto		Plantación Forestal	
	Superficie (ha)	% del total	Superficie (ha)	% del total	Superficie (ha)	% del total
I	7299,8	0,1%	0,0	0,0%	26975,2	0,5%
II	0,0	0,0%	0,0	0,0%	3411,2	0,0%
III	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%
IV	1610,0	0,0%	64,7	0,0%	1839,9	0,0%
V	95312,9	5,9%	149,6	0,0%	65012,8	4,1%
RM	93454,0	6,0%	72,7	0,0%	4884,1	0,3%
VI	118013,2	7,2%	1464,4	0,1%	100743,6	6,2%
VII	370329,9	12,2%	12292,2	0,4%	413335,5	13,6%
VIII	786207,6	21,2%	38294,2	1,0%	939420,2	25,3%
IX	908501,1	28,5%	19074,1	0,6%	359906,2	11,3%
X	3608873,0	54,0%	15272,5	0,2%	196356,6	2,9%
XI	4815532,3	45,0%	914,1	0,0%	7108,8	0,1%
XII	2625468,7	19,9%	27,02	0,0%	10,47	0,0%
TOTAL	13.430.602,5	17,8%	87.625,4	0,1%	2.119.004,5	2,8%

Tabla 1; Resumen Catastro CONAMA-CONAF-BIRF respecto a distribución por tipos de bosques.

2.4 MÉTODOS DE DETECCIÓN TEMPRANA MÁS UTILIZADOS

La detección de incendios forestales, es el conjunto de recursos, procedimientos y actividades para descubrir, localizar y reportar en el menor tiempo un incendio a la Central de Coordinación (CENCOR) de CONAF o las brigadas forestales privadas respectivamente, a fin de que éstas decidan el despacho de los recursos necesarios.

La detección debe ser rápida, con un mínimo de tiempo transcurrido desde el inicio del fuego. Además, debe aportar la mayor cantidad de información acerca de las características del incendio y del sector en el cual se propaga, para facilitar la toma de decisiones. (CONAF 2017).

En la práctica los métodos utilizados en la actualmente presentan un sinfín de desventajas, en temas importantes como; el costo de operación, la capacidad y tiempo de detección, los procesos y protocolos de seguridad, etc. Todo ello

genera problemáticas asociadas a la escasa integración de tecnología. En la Tabla 2 se pueden apreciar las principales desventajas.

Método de detección	Principio	Tipo	Ventajas	Desventajas
Torres de observación.	Terrestre	Fija	<p>Tiempo de respuesta aceptable.</p> <p>Visibilidad extensa (20 Km o más).</p> <p>Económicamente Viable.</p>	<p>Necesidad de una cantidad mínima de hectáreas para detectar eventos.</p> <p>Torres con visibilidad limitada y traslapes con otras instalaciones.</p> <p>Operarios con falta de capacitación y cartografía del terreno.</p>
Despliegue de Brigadistas (a pie o vehículo).	Terrestre	Móvil	<p>Acción relativamente rápida, de primer contacto.</p> <p>Costos intermedios de operación.</p> <p>Información acabada específica de los eventos.</p>	<p>Despliegue limitado de recursos.</p> <p>Puntos ciegos sin acceso.</p> <p>Lentitud de monitoreo y ataque al fuego.</p>
Aviones Monitores - Helicópteros	Aérea	Móvil	<p>Velocidad intermedia de detección y ataque al fuego.</p> <p>Amplia capacidad de detección.</p> <p>Representan una solución importante y final al ataque del fuego.</p>	<p>Solución con altos costos de operación.</p> <p>Visibilidad limitada con los constantes cambios climáticos.</p> <p>Maquinaria escaza en entes privados y estatales en nuestro país.</p>
Sistemas Televisivos	Aérea	Móvil & Fija	<p>Observaciones con amplia capacidad territorial.</p> <p>Buena velocidad de procesamiento y envío de datos.</p>	<p>Instalaciones escasas en nuestro territorio y requiere de inversiones grandes.</p> <p>Método limitado a áreas adyacentes y propensas a los cambios climáticos.</p>
Observación Satelital	Aérea	Móvil	<p>Estudio de cambios en la condición de la vegetación.</p> <p>Buena efectividad de monitoreo.</p> <p>Tecnología con información de importancia</p>	<p>Lentitud de operación.</p> <p>Propensa a los cambios climáticos.</p> <p>Tecnología con altos costos de operación.</p>

Tabla 2; Tipos de métodos de detección temprana más habituales, ventajas y desventajas de funcionamiento.

2.5 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

En esta etapa del trabajo, es necesario caracterizar la problemática de forma general para finalizar después por las causas más ínfimas.

Se necesitará entonces revisar distintos puntos para la identificación de la problemática/s como:

- Necesidades insatisfechas.
- Limitaciones en los procesos.
- Recursos no utilizados.
- Complementar o reinventar las inversiones.
- Reaccionar a presiones políticas o sociales.
- Capacidad local de reacción.
- Estudios medioambientales.

Según el criterio general de mi investigación, puedo inferir como principal problemática o consecuencia general a la insuficiente integración de infraestructura tecnológica (TICs) de los entes pertinentes, para lograr una efectiva prevención y monitoreo de IF. Es decir de forma sintética y más breve; ***Insuficiencia en el monitoreo y detección de IF.***

Se podría describir el problema global (consecuencia), como la tardía metodología (procesos) general en términos de detección y monitoreo, para la actuación y toma de decisiones. Todo esto atribuible a falencias en los sistemas de detección, la falta de integración de tecnología (TICs, SIG, WSN, etc.) y capacitación en el área.

Una buena opción para esta parte del proyecto sería utilizar el diagrama de Ishikawa. “El diagrama de Ishikawa es un mapa mental de causa/efecto. Es utilizado para plantear ideas en forma de causa (causa principal encerrada en un rectángulo y sub causas o espina del pez), las cuales se traducirán en los

problemas a solucionar que dan origen a los objetivos específicos del nuestro proyecto.

Es en este contexto donde las WSN toman una gran importancia, puesto que, con una correcta integración de dicha tecnología podríamos montar una red que cumpla con todos los requerimientos necesarios para censar el ambiente y posteriormente dar información y/o conocimiento importante a la hora de prever y actuar.

Asumiendo la gran gama de problemáticas que se podrían presentar en la presente investigación, tales como; la distribución de la red en proporción al territorio a cubrir, la correcta efectividad de la toma de variables, las zonas o puntos donde la señal debería penetrar y la elección de los métodos correctos para encaminar la data. Se propone el análisis por medio del Diagrama Ishikawa.

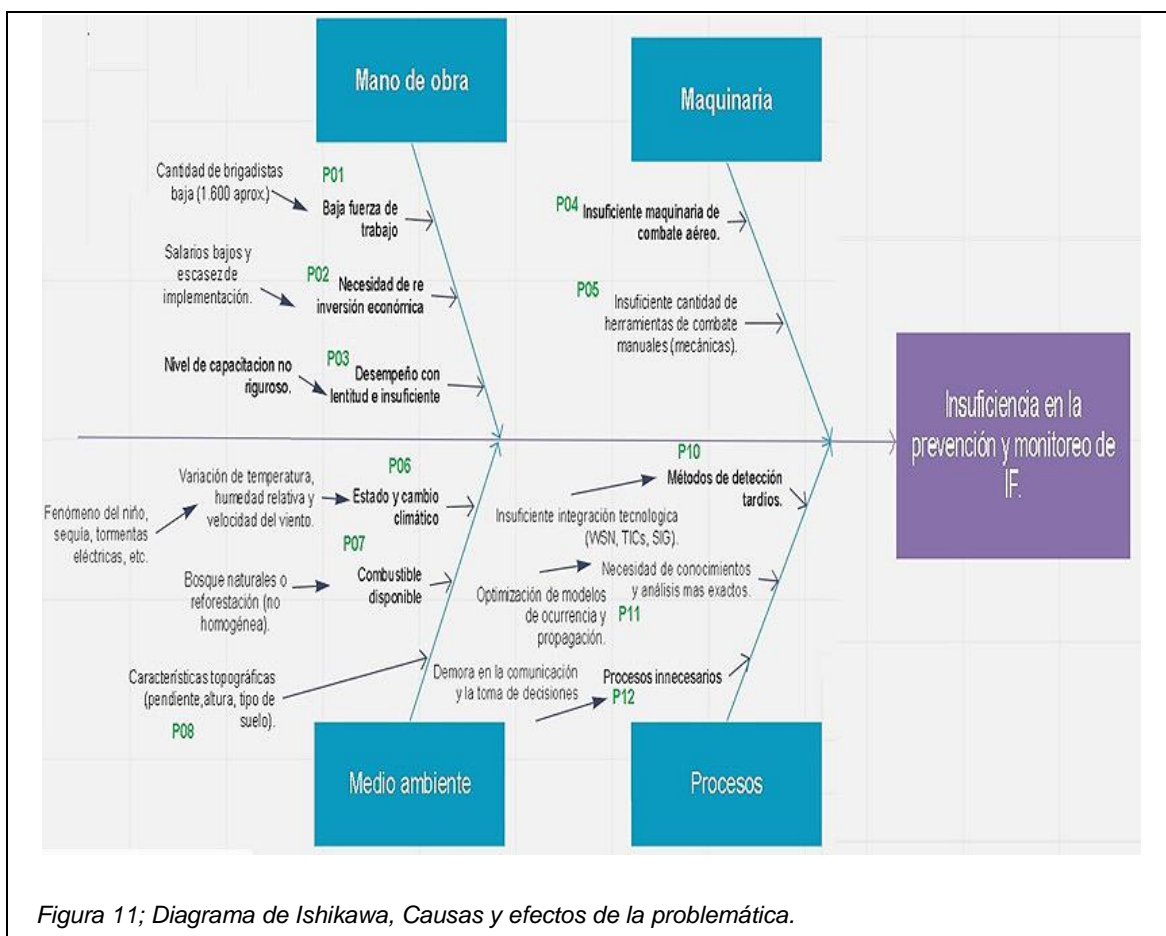


Figura 11; Diagrama de Ishikawa, Causas y efectos de la problemática.

2.6 DESCRIPCIÓN DE LAS CAUSAS Y SUB-CAUSAS

a. MANOS DE OBRA:

Causas que generan problemáticas respecto al desempeño de la fuerza de trabajo que poseen las entidades pertinentes y las consecuencias directas que provocan en el desempeño de la organización.

P01: Cantidad insuficiente de brigadistas y/o personal dedicado.

Hace referencia a la falta de compromiso de las autoridades para generar más puestos de trabajos fijos para futuros brigadistas, aumentando quizás el presupuesto económico anual de los trabajadores.

Cabe señalar que CONAF cuenta con 1.600 brigadistas aproximadamente, muchos contratados y capacitados de forma rápida para afrontar las etapas estivales. Es muy probable que la cantidad de fuerza de trabajo no sea suficiente muchas veces para batallar contra estos eventos. Recordemos que los bosques Chilenos ocupan un 20% del territorio continental (Retamal V., R., & La Tercera. 2017).

P02: Necesidad de Inversión económica.

Tiene que ver con la inversión económica para fortalecer las condiciones laborales de los trabajadores de manera general, atendiendo a problemáticas variadas; problemas salariales, de implementación (vestimenta reciclada), cantidad de horas trabajadas (10 a 12 horas), seguridad laboral y seguros en caso de pérdidas vitales (T13 2018).

P03: Capacitación del personal.

Se necesita contar con personal altamente capacitado. Igualmente otorgar capacitaciones en tiempo y complejidad a la altura de los problemas que trataran los trabajadores.

b. MAQUINARIA:

Hace referencia a la maquinaria e implementación dispuesta para combatir incendios forestales.

“Las acciones básicas de extinción para romper el Triángulo del Fuego (oxígeno, temperatura, combustible disponible) se realizan con herramientas y equipos. El éxito de la supresión o combate de incendios forestales, entre otros factores, va a depender por lo tanto de la disponibilidad, tipo, cantidad y calidad de las herramientas y equipos empleados” (CONAF 2017).

Algunos ejemplos son; Azahacha o Pulaski, Hachas, Rozón de un filo y de doble filo, Rastrillo segador, Rastrillo McLeod, etc.

P04: Herramientas mecánicas insuficientes.

Los trabajadores en innumerables oportunidades se han manifestado en contra de las organizaciones, repudiando la falta de herramientas manuales, mecánicas y la constante reutilización de las mismas sin hacerles mantención (T13 2018).

P05: Maquinaria de combate aérea insuficiente.

Cabe señalar también que la capacidad aérea es limitada e insuficiente si se quiere. (6 aviones, 1 helicóptero) para cubrir todo el territorio. Siendo de vital importancia el apoyo privado o de otros estados (USA, Rusia), (CONAF 2017).

c. MEDIO AMBIENTE:

Factor clave de los IF son las características medio ambientales. Generalmente la estructura y propagación del fuego estará determinada por la humedad relativa, temperaturas, combustibles y complejidad del área. Por ejemplo, la topografía del lugar dictara mucho en el tiempo de ejecución.

P06: Estado y cambio climático.

El clima es otro de los factores fundamentales en la distribución de los IF, estructura la dirección de propagación, el tiempo de crecimiento, así como también, es clave en determinar la capacidad de los métodos de detección que dependen muchas veces de las variables climáticas.

P07: Combustible disponible.

Determinará de forma directa la estructura de los incendios, dependiendo de donde se encuentre el adecuado combustible. Se podrán dar incendios en las copas, en el suelo o el subsuelo de materia boscosa. Entonces, será determinante en la magnitud.

P08: Topografía del lugar.

Factor determinante a la hora del tiempo de combate y la estimación de los recursos de combate. Por ejemplo, en un área cordillerana selvática, será bastante más complicado que en una planicie o predio agrícola.

d. PROCESOS:

Métodos o procesos internos de las organizaciones para la toma de decisiones y factor crítico en el tiempo de respuesta.

P09: Métodos de alerta temprana usados.

Como ya es sabido los métodos tecnológicos actuales de monitoreo y detección de IF son escasos y poseen múltiples falencias. La idea es lograr integrar mayor tecnología a través del tiempo lograr ser un país pionero en cuidado medio ambiental. Este punto es de fundamental importancia, puesto que, aquí radica gran parte del trabajo investigativo. La propuesta definitiva se relaciona de forma directa con apoyar a los sistemas actuales implementando WSN.

P10: Necesidad de conocimientos y análisis más exactos:

La Integración de TICs; SIG, WSN y otras tecnologías.

Este punto describe la falta de integración de tecnologías y formas más acabadas de tratar la información. Una buena alternativa podrían ser los SIG, sistemas de información georreferenciada, por ejemplo. Si bien es posible que ya se encuentren integrados en ciertas áreas, es fundamental levantar mayor información territorial, para gestionar sistemas más robustos y obtener información mucho más acabada (modelos de propagación IF), así como también conocer la evolución temporal del territorio. Para la toma de dediciones críticas.

P11: Procesos “Cuello de botella” o demoras en tiempo de respuesta por procesos innecesarios.

Básicamente se podría ganar mucho más tiempo en la toma de decisiones y monitorización, si se reestructuraran los protocolos o procesos internos de la organización en la toma de decisiones. Aplicando métodos prácticos de optimización y estudio (Mendoza Olavarria, S. H 2009).

III OBJETIVOS

“Los objetivos generales y específicos de un proyecto son herramientas de trabajo para cumplir con el propósito principal del proyecto en sí. Todas estas metas han de ser coherentes con la estrategia y la misión de la organización”. (Sinnaps 2017).

3.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un prototipo de red de Alerta Temprana para incendios forestales. Aplicable a territorios variables, escalable y utilizando comunicación inalámbrica. Apoyando así a los métodos existentes y favoreciendo la toma de decisiones.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Crear un modelo red WSN prototipo, adaptable a diferentes geografías, escalable e inteligente para una instalación de Forestal Nilahue de 170 Hectáreas.

OE2: Proponer un método de rutas dinámicas para la red, así transmitir la información a una central de monitoreo vía radio frecuencia en la banda 2,4 GHz con un 50% de mayor velocidad que los métodos actuales.

OE3: Evaluar la distribución geográfica de los Nodos en el predio forestal, para asegurar una correcta línea de vista (LOS) y despeje de la primera Zona de Fresnel ($\geq 60\%$) utilizando simulación con Radio Mobile.

OE4: Ubicar los Nodos a aproximadamente de 300 a 400 metros de distancia y lograr alcanzar niveles señales entre -45 y -75 dBm para así tener un enlace óptimo, haciendo uso de las ecuación correspondiente y Radio Mobile.

3.3 MATRIZ DE MÉTRICAS

Un buen elemento para medir la calidad de los objetivos, es elaborando una matriz de métricas, la cual incluye a todos los objetivos específicos con sus respectivas unidades, las cuales, en este caso, corresponden a ecuaciones matemáticas. De igual manera, se añade el valor actual de las métricas (VAM) y los criterios de éxito de estas mismas (CEM).

	Métrica/Unidad	VAM	CEM
OE0 1	Cubrir área de 170 hectáreas.	Área actual de trabajo: 0 metros.	Área esperada de trabajo: ≥ 170 hectáreas. Perímetro: ≥ 5.900 metros.
OE0 2	Tiempo de respuesta promedio en Áreas Forestales superior a 30 minutos.	Tiempo de Respuesta: ≥ 30 min.	Tiempo de Respuesta: ≤ 15 min.
OE0 3	Despejar Zona de Fresnel o buscar zona elevada. $r = 17,32x \left(\frac{d}{4f}\right)^{\frac{1}{2}}$	Obstrucción de primera zona de Fresnel mayor a 40%	Obstrucción de primera zona de Fresnel inferior a 20%
OE0 4	Potencia Recibida $Pr = Pt + Gt + Gr - Lb$	Se desconoce actualmente.	Potencia Recibida (Pr) entre los -45 a los -70 dBm

Tabla 3; Matriz de métricas de Objetivos específicos.

3.4 MATRIZ DE TRAZABILIDAD

Finalmente, para validar los objetivos específicos, se elabora una matriz de trazabilidad, la cual contrasta los objetivos específicos versus sus problemas y causas.

En esta matriz se muestra gráficamente cómo los objetivos específicos planteados resuelven los problemas encontrados en la definición del problema.

	P01	P02	P03	P04	P05	P06
OE01	X	X	X	X	X	X
OE02	X		X		X	
OE03			X			X
OE04			X			X

Tabla 4; Matriz de métricas de Objetivos específicos.

	P07	P08	P09	P10	P11
OE01	X	X	X	X	
OE02			X	X	X
OE03	X	X	X		X
OE04		X	X		X

Tabla 5; Matriz de métricas de Objetivos específicos.

3.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

3.5.1 Alcances.

En el presente trabajo se realizará la construcción de un modelo red de sensores inalámbricas (WSN) para obtener una aplicación correcta y efectiva la hora de alertar sobre un incendio forestal.

Una de las ideas principales necesidades de la red es lograr un correcto desempeño tomando en cuenta las características geográficas y medioambientales del terreno teórico donde debería aplicarse.

Para ello se definirá la calidad de los enlaces de acuerdo al despeje de la Zona de Fresnel y al uso de Presupuesto de Enlace (Link Budget). Utilizaremos Radio Mobile (Radio Link) para simulaciones y evidenciar lo anterior.

Dicho esto, se proyectará la idea a un determinado lugar del cual se obtuvo bastante información, allí se instalará una red inalámbrica de sensores WSN, con sus respectivas estructuras (mono postes, antenas) y una cantidad determinada de sensores (21 Nodos) *CM5000 SMA Advantics* en cada una de las estructuras. Utilizaremos sensores *Sensirion® SHT11*, de temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento (Anemómetro).

Se recopiló información de Forestal Nilahue, ubicada en Pichilemu en la Región de O'Higgins. Ellos accedieron a prestar información estratégica de su emplazamiento y todo lo relacionado en el entendimiento del contexto de estudio. Empresa cliente de WOM S.A quienes fueron mi nicho de práctica profesional. Entonces en el presente trabajo se utilizará como ejemplo espacial dicho terreno ubicado en Alto Colorado comuna de Pichilemu.

Como método tentativo para realizar simulaciones se podrían utilizar algunos softwares computacionales como Radio Mobile, FarSite (Simulador de incendios), WRPlot (Rosa de los vientos, Propagación), softwares de los cuales

se podrán guiar para el entendimiento de las redes, incendios y evaluaciones de la velocidad / dirección de viento.

3.5.2 Limitaciones.

El proyecto no incluye la implementación de la red en las zonas descritas, más bien es de carácter teórico e informativo. La idea es generar conocimiento en el área de estudio y proponer una metodología sistemática para aportar en la detección.

Las limitaciones económicas y territoriales no permiten que se pueda escalar para crear una red extensa o simular montando la red en un lugar más complejo como una reserva o bosque nativo. Por tanto se limitará a crear una red que cubra 170 hectáreas con cierta pendiente (100 metros) cordillerana y cercana a la costa (Forestal Nilahue).

Es importante señalar que este proyecto no pretende ser la solución final para esta problemática. Lo que se busca desarrollar es solamente un prototipo de un sistema de alerta de incendios forestales, en apoyo a los métodos más usados y efectivos. Favoreciendo la toma de decisiones.

Por lo que sus alcances se limitan a ser el primer paso de cara al largo camino por recorrer hasta llegar a un sistema que pueda ser comercializado

3.5.3 Supuestos del alcance.

Se necesita dar por manifiestos los eventuales escenarios en donde se ubicaría nuestra solución tecnológica, se deberá conocer la estructura física del fuego y las variables determinantes a la hora de entender la problemática. Seguidamente se necesitará también entender el funcionamiento y los tipos de sensores existentes en el mercado necesarios para este proyecto.

Para determinar la estructura de la comunicación y asignar distintas técnicas de trata de la información se usará el modelo de referencia OSI; modelo de

interconexión de sistemas abiertos mencionado en el Marco Teórico. Así podremos definir las capas inferiores de la pila por medio del estándar IEE 802.15.4 Zigbee, que utilizan las (LR-WPAN) low rate wireless personal área network. Logrando el correcto entendimiento de dicha tecnología.

Se creará una red que sea capaz de comunicarse usando una topología definida (malla) y dotada de inteligencia (protocolos de enrutamiento AODV) para comunicar los paquetes y auto configurarse cuando sea necesario.

3.6 HIPÓTESIS

Mediante la implementación de una red de dispositivos sensoriales de bajo costo y mínimo consumo de energía en un área forestal, se obtendrán datos de variables ambientales como temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, variables que permitirán determinar el estado climático del área monitoreada en diferentes periodos de tiempo, para de esta forma captar los cambios bruscos de temperatura, presencia de humo, lo que permitirá disponer de una alerta temprana de un posible incendio forestal.

IV MARCO TEÓRICO

Para desarrollar esta etapa en el proyecto se optará por el siguiente enfoque:

- Primero se caracterizará el fuego y lo determinante en su estructura.
- Seguidamente se hablará sobre los sensores que debieran ser usados para la solución propuesta.
- Posteriormente se discutirán conceptos básicos sobre las WSN y finalmente nociones sobre el viento.

4.1 DEFINICIÓN SOBRE FUEGO

El fuego o combustión es una rápida reacción química de oxidación de carácter exotérmico (liberación de energía), autoalimentado, con presencia de un combustible en fase sólida, líquida o gaseosa. Químicamente es un proceso de reacción rápida, fuertemente exotérmica de oxidación-reducción, en la que participa una sustancia combustible (liberadora de energía) y una comburente (favorece la combustión), que se produce en condiciones energéticas favorables y en la que se desprende calor, radiación luminosa, humo y gases de combustión (Blanco J. García D., & Castellnou M. 2008).

La llama es la parte visible del fuego. Si es lo suficientemente caliente, los gases pueden ionizarse (cargarse eléctricamente) para producir plasma (estado de la materia). Dependiendo de la sustancia encendida, y las impurezas externas, el color de la llama y la intensidad del fuego serán diferentes.

Los incendios comienzan cuando algún material inflamable y/o un material combustible, en combinación con una cantidad suficiente de un oxidante tal como el oxígeno u otro compuesto rico en oxígeno, es expuesta a una fuente de calor, y es capaz de sostener una tasa de oxidación rápida la cual produce una

reacción en cadena. Esto comúnmente se llama “triángulo del fuego” (Blanco J., García, D. & Castellnou M. 2008).

El fuego no puede existir sin todos estos elementos en su lugar y en las proporciones adecuadas. Por ejemplo, un líquido inflamable se comenzará a quemar sólo si el combustible y el oxígeno están en las proporciones adecuadas.

Algunas mezclas de oxígeno-combustible pueden requerir un catalizador (factor externo), una sustancia que no está implicada directamente en cualquier reacción química durante la combustión, pero que permite que los reactivos (participantes de la reacción química) se quemen más fácilmente.

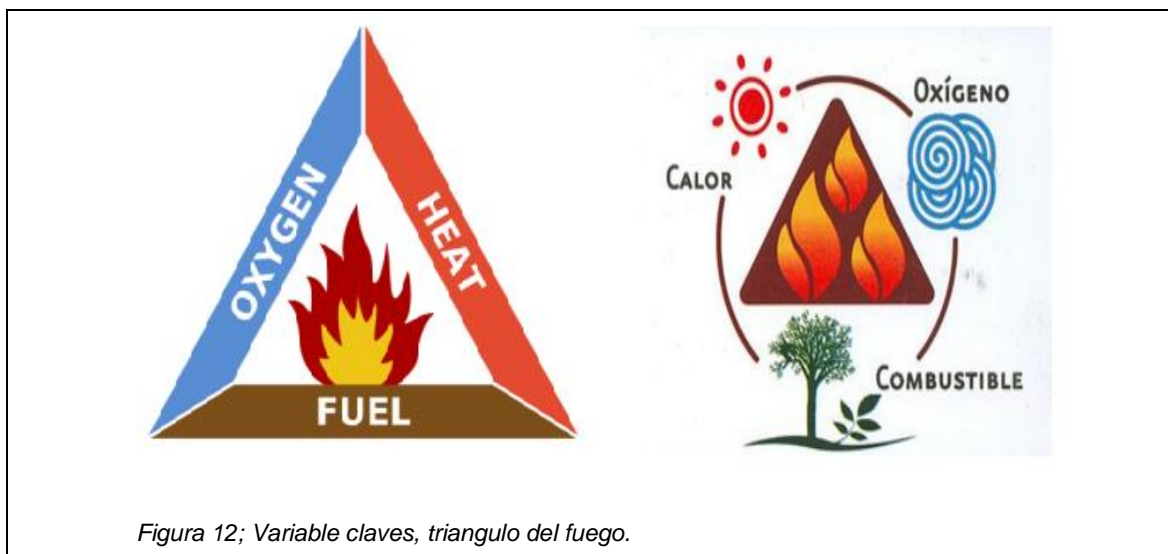


Figura 12; Variable claves, triángulo del fuego.

4.1.1 Definición de incendio forestal.

Un incendio forestal es un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. Es decir, es el fuego que quema árboles, matorrales y pastos. Es un fuego injustificado y descontrolado en el cual los combustibles son materiales

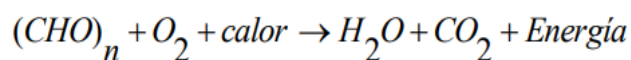
vegetales y que, en su propagación puede destruir ganado, viviendas, como también vidas humanas.



Figura 13; Incendio forestal sin control.

En los incendios forestales el combustible que tiene capacidad de inflamarse es la vegetación. Dicha vegetación está compuesta básicamente por celulosa, hemicelulosa y lignina, compuestos orgánicos formados por cadenas de Carbono (C) con Oxígeno (O) e Hidrógeno (H), también llamados polímeros.

La combustión con llama de esta vegetación se puede expresar químicamente mediante la ecuación:



4.1.2 Medios de transmisión del calor.

a. Convección:

El Calor de convección, proviene del aire circundante, producido por el calor formado como consecuencia de la quema de fluidos.

Si en un lugar determinado la masa de aire existente se calienta, alcanzando mayor temperatura que las masas que la rodean, tiene tendencia a elevarse

debido a su menor densidad, siendo sustituida por otras masas frías que al calentarse, a su vez, también se elevarán, originándose unas corrientes ascendentes de aire caliente, que transportará el calor.

El aire puede calentarse como consecuencia del calentamiento del suelo por las altas temperaturas o por el calor desprendido por un incendio y las corrientes de aire formadas desecarán los combustibles que encuentren a su paso favoreciendo la propagación del fuego.

La transmisión del calor por convección tiene especial importancia en la rapidez del avance del incendio ladera arriba y en el paso del fuego del soto bosque (vegetación de suelo) a las copas de los árboles.

b. Conducción:

El Calor conductivo, es el producido por el contacto directo con superficies calientes, tales como metales y otros elementos de similares características.

En este caso el calor se transmite en el interior de un cuerpo sin que haya desplazamiento de las moléculas que lo componen.

Esta forma de transmisión tendrá lugar cuando exista contacto entre las plantas y hace también que se quemen los materiales leñosos (raíces, troncos, ramas, etc.) que componen la vegetación.

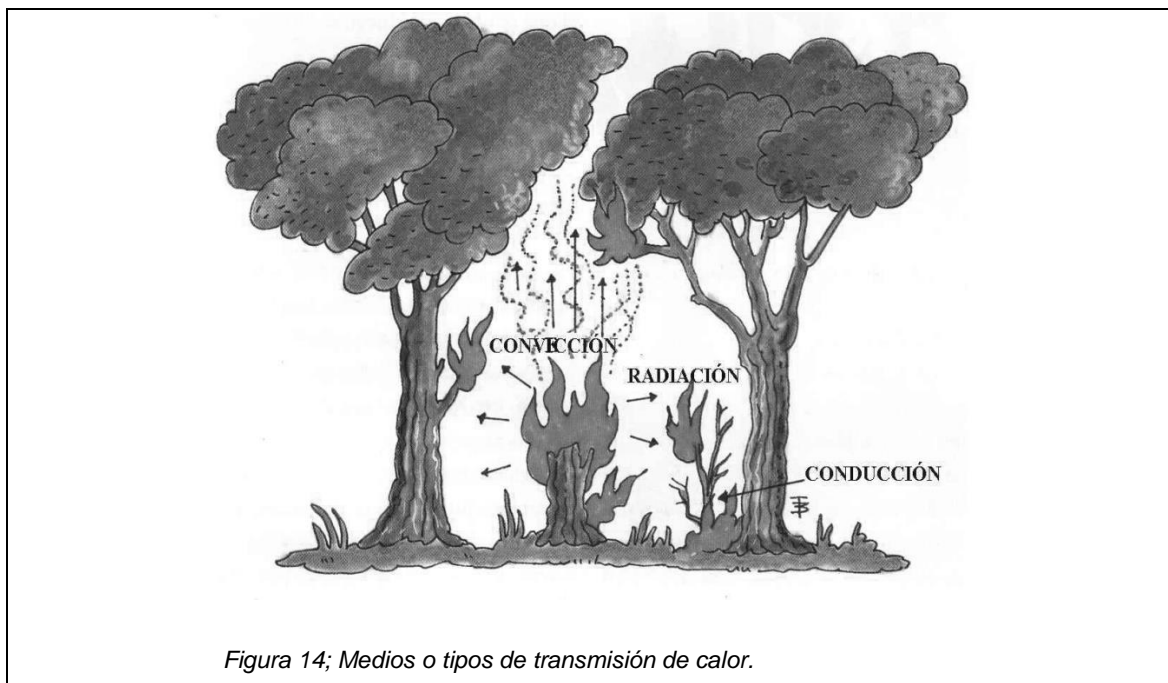
c. Radiación:

El Calor radiante, tiene su ejemplo válido en el transmitido por el rayo generado por el sol, o una fuente de calor en un incendio, donde todo el calor es absorbido por la masa y no por el aire circundante.

En la radiación el calor pasa a través del aire sin que exista movimiento del mismo y sólo tiene lugar a cortas distancias.

Por ello, en los incendios forestales la propagación por radiación afecta únicamente a los combustibles que es tan próximos a los que están ardiendo.

En el caso de los fuegos forestales consideraremos como de riesgo alto el calor de convección y el de radiación y como de riesgo bajo o sin riesgo el calor de conducción.



4.1.3 Comportamiento de los incendios forestales.

En general se puede afirmar que el término “comportamiento” es sumamente amplio, puesto que incluye una gama muy variada de efectos, existiendo algunos difíciles de identificar y cuantificar.

Entre los fenómenos físicos que normalmente se describen están básicamente: Intensidad Calórica, Velocidad de Propagación, Altura de las llamas, características de la fase gaseosa, inflamabilidad, ignición, características de la Columna de Convección, efectos de turbulencias, etc.

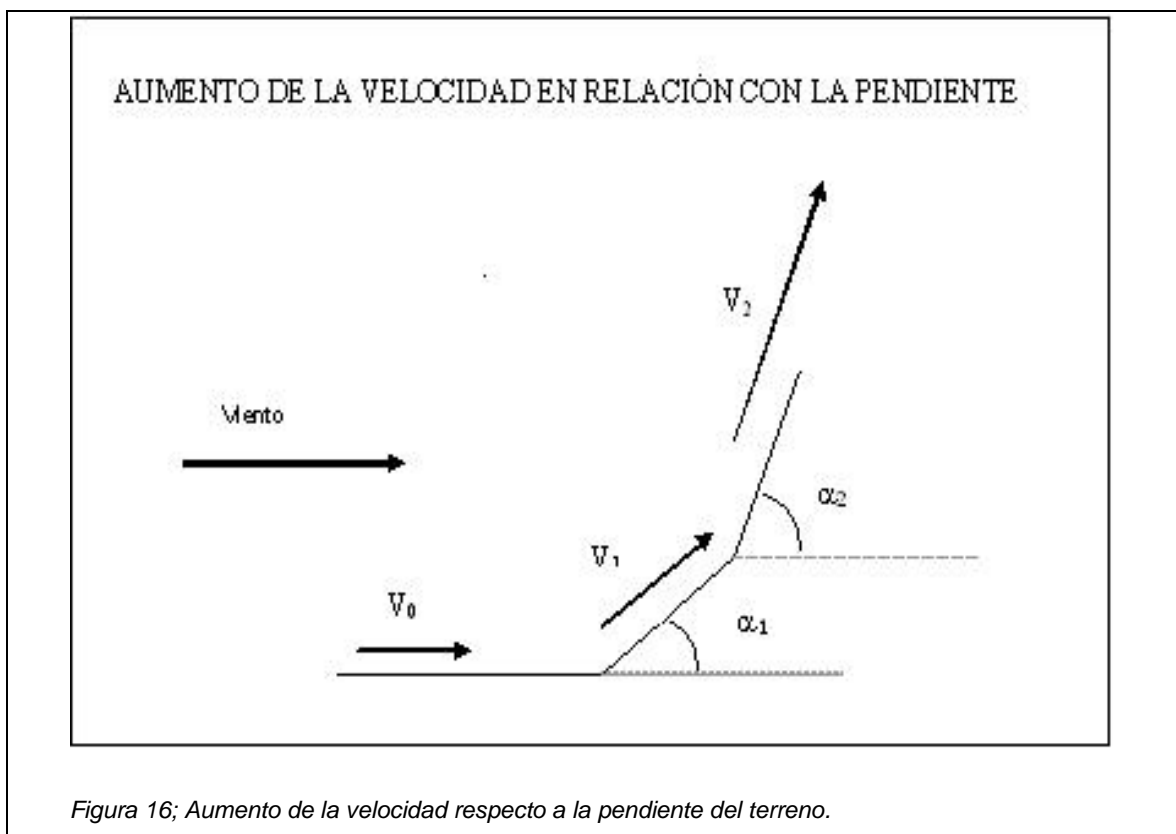
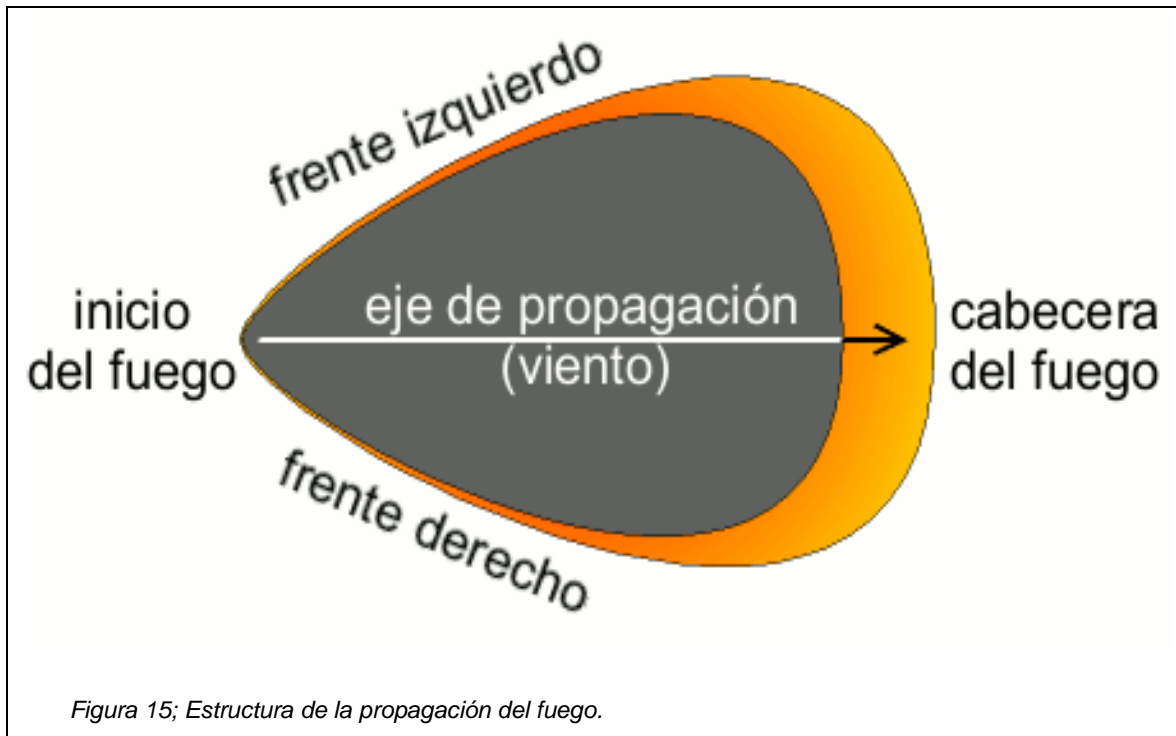
De todos los aspectos precedentemente señalados, son dos los que usualmente se emplean para describir el Comportamiento. Velocidad de Propagación e Intensidad Calórica (Domingo A. G. 2011), (Blanco J., García D. & Castellnou M. 2008).

4.1.4 Velocidad de propagación del fuego.

Es el rango de incremento o expansión de un incendio, medido en forma lineal (metros por minuto, metros por segundo o kilómetros por hora), o bien en términos dimensionales (metros cuadrados por minuto o hectárea por hora). Es común la determinación de la velocidad de propagación en base el incremento en perímetro por unidades de tiempo (metros por hora o kilómetros por día). Esta forma de determinar la velocidad de propagación es importante para conocer la carga de trabajo que se requiere en la construcción de las líneas de control.

La velocidad de propagación varía según el tipo de incendio en desarrollo. Un incendio subterráneo puede desplazarse a un rango de pocos metros al día, en cambio uno superficial, que consume hojarascas o hierbas asociadas, lo puede hacer a un ritmo de 50 a 200 metros por hora (en terrenos planos y sin influencia del viento). Tanto los incendios subterráneos como los superficiales pueden ser predecibles en lo que refiere a su velocidad de propagación, siempre que sea conocido el tipo de combustible por el cual se están desplazando, la pendiente, los efectos del viento y otros agentes climáticos que afecten el Comportamiento (Blanco J., García D. & Castellnou M. 2008).

La situación es poco predecible cuando se presentan incendios de copa o aéreos, que en algunos casos pueden propagarse a velocidades de 5, 10 o más kilómetros por hora, especialmente cuando producen efectos de turbulencia (movimientos bruscos) con una columna de convección de desplazamiento errático.



4.1.5 Tipos de incendios según medio de propagación.

4.1.5.1 De suelo o subterráneos:

El fuego se propaga por la materia orgánica en descomposición y las raíces. Casi siempre se queman despacio y en combustión incandescente (poca o ausencia de llama) al no disponer de suficiente oxígeno.

Si bien se inician a raíz de los siniestros convencionales, afectan a la materia orgánica acumulada y su propagación es lenta pero peligrosa: aunque no produce llamas visibles, la temperatura puede rondar los 600° C. Lo anterior hace que su extinción sea compleja, ya que, la forma más efectiva de apagarlos es mediante lluvias, las cuales escasean en algunas zonas (Blanco J., García D. & Castellnou M. 2008), (Ramos Marín C. R. 2016).



Figura 17; Incendios de suelo o subterráneos.

4.1.5.2 De superficie:

Este incendio consume cualquier tipo de material combustible que se encuentre situado inmediatamente debajo de la copa de los árboles. Éste estrato comprende mayoritariamente hojarasca, ramas muertas, agujas, troncos caídos, restos de talas, vegetación herbácea y matorrales.

El comportamiento de un incendio de superficie es muy distinto en función de la tipología de la vegetación involucrada. Incendios en prados, pastizales, zonas de matorral y sotobosque (matas y arbustos) forman parte de esta categoría. En

el curso de su propagación, el incendio de superficie puede llegar a quemar arbustos, matorrales altos y árboles pequeños (Blanco J., García D. & Castellnou M. 2008).



Figura 18; Incendio de superficie.

4.1.5.3 De Copas:

Cuando el avance del fuego se manifiesta consumiendo las copas de los árboles facilitado por la fuerza del viento, mayor en altura que a nivel de matorral, estaremos ante lo que se denomina fuego de copas , este se desarrolla normalmente mucho más rápido que el originado en superficie y es por tanto mucho más peligroso.

- **Antorcheo o Coronamiento:** Paso de fuego de superficie a fuego de copas, pero solo de forma puntual en algunos pies.
- **Copas pasivo:** Es el fuego que avanza por las copas de los árboles acoplado y dependiente de un fuego de superficie, si se extingue este se detiene el de copas.
- **Copas activo:** Es el fuego que avanza por las coronas de los árboles independientemente de la superficie. Solo se puede atacar de forma indirecta y suele necesitar un viento mayor de 30 km/h y proximidad de copas (alta densidad aparente de copas y largas copas), (Ramos Marín C. R. 2016).



Figura 19; Incendio de copas.

4.1.6 Intensidad calórica.

Es una forma de determinar o cuantificar el potencial de peligrosidad que puede representar un área cualquiera susceptible a la ignición y propagación del fuego.

La intensidad calórica es definida como la "tasa de liberación de energía, o tasa de liberación calórica por unidad de tiempo y por unidad de longitud del frente del incendio". Matemáticamente se puede expresar que:

$$I = H \times W \times r$$

En donde " I " representa a la Intensidad Calórica, expresada en Kilocalorías/segundo/metro de frente de avance; " H " representa el Poder Calórico del Combustible, expresado Kilocalorías/kg de Material; " W " es el Peso del Combustible Disponible, expresado en Kg de materia seca/metro cuadrado; y " r " a la velocidad de propagación del fuego expresado en metros/segundo.

a) Combustible Disponible: Es la cantidad material vegetal que se quema en un incendio. Se mide en kilogramos por metros cuadrados, o bien en Toneladas por Hectárea.

b) Combustible Total: Es la cantidad de material vegetal que se puede quemar en condiciones óptimas durante el desarrollo de un incendio forestal. Se le expresa en las mismas unidades indicadas para el Combustible Disponible.

c) Energía del Combustible: Es el monto de energía, medida en kilocalorías por metro cuadrado, que puede ser liberada cuando se quema el combustible disponible.

d) Tasa de Combustión: Es la tasa de desprendimiento calórico por unidad de superficie que se está quemando por cada unidad de tiempo. Comúnmente se le expresa en kilocalorías por segundo y por metro cuadrado de superficie de combustible que se quema.

4.1.7 Índice de grado de peligro (IGP).

Las características climáticas son fundamentales a la hora de entender la probabilidad de generación de un IF, afectan directamente a la iniciación y la propagación. Como métodos de prevención y estudio de la ocurrencia son importantes las estimaciones medioambientales respecto del terreno en estudio así podemos crear índices para diferenciar cada zona.

CONAF posee un índice propio llamado IGP en el cual intenta recolectar datos medioambientales para estudiar si existen condiciones propicias para un IF. El cual fue propuesto en el año 1990 por académicos de la U. Austral.

El IGP es la combinación de factores fijos y variables medioambientales, que serán protagonistas en la estructura de un IF. Entre los factores fijos o que cambian muy poco tenemos la topografía del lugar, la cual determina las características del suelo y las diferentes especies vegetales presentes allí.

Entre los factores variables tenemos los fenómenos climáticos, los cambios de temperatura, el comportamiento de la humedad relativa. Variables que van

cambiando a lo largo del tiempo y dependen de factores como la lluvia por ejemplo.

El IGP utilizado por CONAF en Chile se basa principalmente en condiciones meteorológicas, por lo tanto, para aplicar la respectiva fórmula, se utilizan datos de temperatura del aire, de humedad del ambiente y de velocidad del viento. Se incorporan a la fórmula otros dos datos más, que se extraen de tablas anteriormente preparadas y que se refieren al estado del contenido de humedad de la vegetación, desde la primavera hasta el otoño, y al efecto de las lluvias de los días anteriores.

Se definieron 15 zonas definitivas de riesgo, de acuerdo a los factores determinantes antes mencionados.

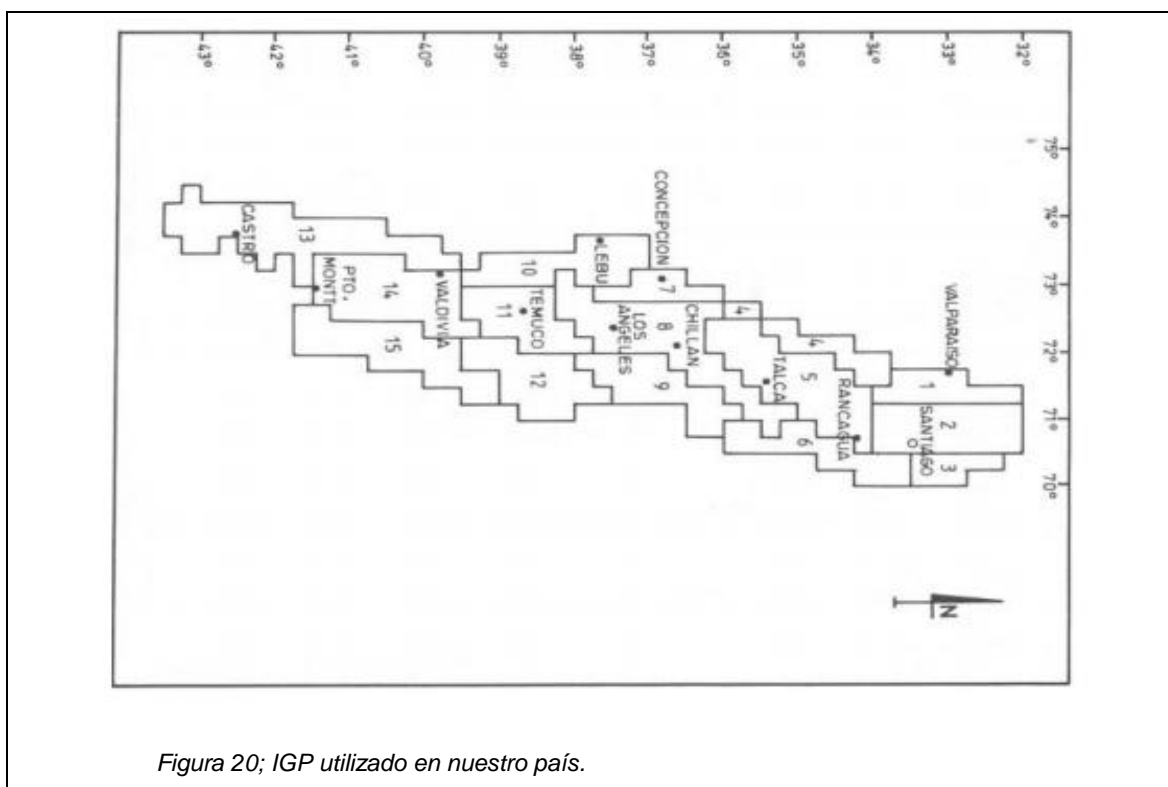


Figura 20; IGP utilizado en nuestro país.

Las pruebas estadísticas efectuadas demostraron que la función que representaba con una mayor confiabilidad al riesgo de incendios forestales en Chile correspondía a una regresión lineal múltiple, con cinco variables

independientes (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, factor sequía y factor estacionalidad), (Valdivia Arredondo 2014).

La fórmula respectiva es:

$$Y = 17,7 + 1,17T - 0,44HR + 0,35VV + 18,7FF - 0,27FS$$

Y = Probabilidad de ocurrencia diaria, (0 a 100); T = Temperatura del aire en C°; HR = Humedad relativa %; VV = Velocidad del viento; FE = Factor de estacionalidad de la vegetación; FS = Factor de sequedad.

Período	Factor de estacionalidad									
	Zonas de riesgo									
	1	2	4	5	7	8	10	11	13	14
Noviembre										
1 - 15	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
16 - 30	2.5	1.2	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Diciembre										
1 - 15	3.0	1.5	1.0	1.0	2.0	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0
16 - 31	3.0	2.0	1.0	1.2	2.5	1.2	1.5	1.2	1.0	1.0
Enero										
1 - 15	3.0	2.0	1.0	1.5	3.0	1.5	1.5	1.5	1.2	1.0
16 - 31	3.0	1.5	1.0	1.5	3.0	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2
Febrero										
1 - 15	3.0	1.5	1.2	1.5	3.0	2.0	2.0	1.5	1.2	1.5
16 - 29	3.0	1.5	1.2	1.5	3.0	2.0	1.5	1.5	1.2	1.5
Marzo										
1 - 15	2.5	1.5	1.2	1.2	3.0	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5
16 - 31	2.5	1.5	1.2	1.2	2.5	1.5	1.2	1.0	1.0	1.2
Abril										
1 - 15	2.0	1.2	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
16 - 30	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabla 6; Factor de estacionalidad de la vegetación IGP.

Monto de agua caída (mm)	Factor de sequía en los días siguientes (mm)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
> 70	70.0	58.2	47.4	37.7	28.9	21.4	14.8	9.3	4.8	1.3	0.5
70.0 - 58.3	58.2	47.4	37.7	28.9	21.4	14.8	9.3	4.8	1.3	0.5	0.5
58.2 - 47.5	47.4	37.7	28.9	21.4	14.8	9.3	4.8	1.3	0.5	0.5	0.5
47.4 - 37.8	37.7	28.9	21.4	14.8	9.3	4.8	1.3	0.5	0.5	0.5	0.5
37.7 - 29	28.9	21.4	14.8	9.3	4.8	1.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
28.9 - 21.5	21.4	14.8	9.3	4.8	1.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
21.4 - 14.9	14.8	9.3	4.8	1.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
14.8 - 9.4	9.3	4.8	1.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
9.3 - 4.9	4.8	1.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4.8 - 1.4	1.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
1.3 - 0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabla 7; Factor de sequía IGP.

Categorías de riesgo	Rango de valores de índice
Nulo	< 25
Bajo	26 – 40
Medio	41 – 55
Alto	56 – 70
Extremo	> 70

Tabla 8; Tabla y definición de riesgos.

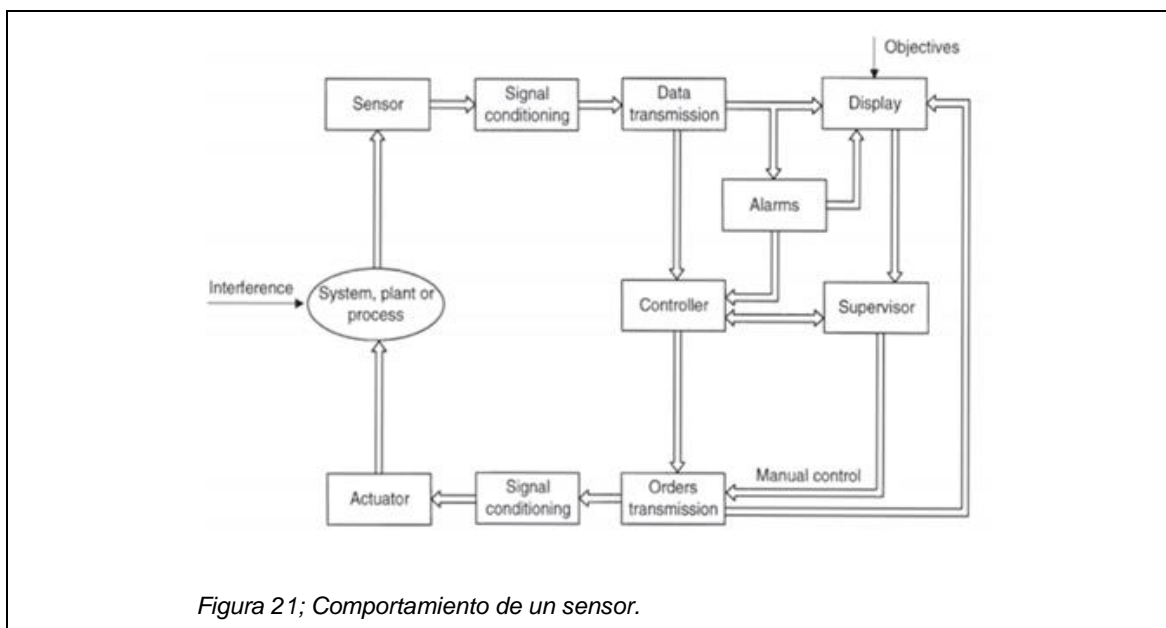
Los usos del IGP van desde su difusión por los medios para que las personas tomen las precauciones necesarias al manipular el fuego en zonas de vegetación; pasando por su utilidad para que CONAF tenga preparados sus recursos de combate del fuego para una rápida respuesta; así como también para suspender quemas controladas ya programadas si es que las condiciones meteorológicas no son adecuadas.

4.2 SENSORES

4.2.1 Sensores definición.

Un sistema es una combinación de elementos, subsistemas o partes necesarias para realizar una o más funciones. La labor de un sistema de medición es asignar un valor numérico a una propiedad de un objeto o evento con el fin de describirlo de manera objetiva (independiente del observador) y empírica (basada en un experimento).

Las relaciones entre las cantidades deben ser las mismas que las relaciones entre las propiedades descritas, por ejemplo, si un determinado objeto tiene una propiedad más grande que la misma propiedad en otro objeto, entonces el resultado numérico tras la medición debe ser mayor en el primer objeto comparado con el segundo. Los objetivos de realizar una medición pueden ser variados, por ejemplo, el monitoreo de un proceso (medir la temperatura ambiente) o el control de un proceso (controlar el nivel de agua de un tanque). La figura 21 muestra las funciones y el flujo de datos de un sistema de medición y control.



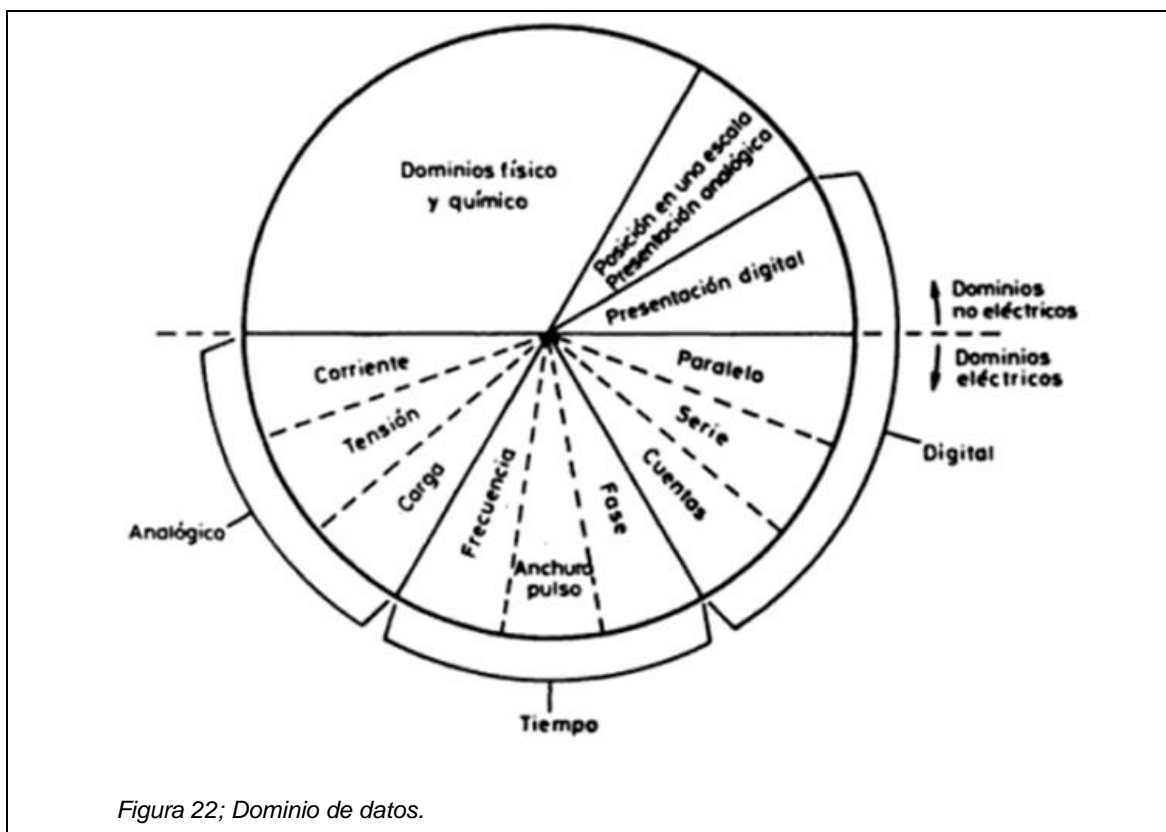
En general, además de la adquisición de información realizada por el sensor, una medición requiere procesar esa información y que el resultado sea presentado de forma perceptible por los sentidos humanos.

El primer elemento de un sistema de medición es el que mide la magnitud de interés y suele ser un *transductor*. Este convierte la energía de una forma física en otra forma distinta. También se le denomina *sensor*, debido a la capacidad que ofrece de “percibir”, tras el procesamiento oportuno, fenómenos que de otra forma serían inaccesibles a nuestros sentidos.

Sensor y *transductor* son a veces considerados sinónimos, sin embargo, *sensor* sugiere la extensión de nuestra capacidad para adquirir información sobre parámetros físicos no percibidos por los sentidos humanos. Por otro lado, *transductor* implica que el parámetro de entrada y salida no son el mismo. Un *sensor* puede no ser un *transductor* (Pallas Areny 4ta edición).

Un *sensor* entonces es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida.

Actualmente el término *sensor* se emplea para designar el transductor de entrada, y el término *actuador* o *accionamiento* para designar el transductor de salida. Los primeros pretenden la obtención de información, mientras que los segundos buscan la conversión de energía.



El dominio analógico es, en general, el más susceptible a interferencias eléctricas. En el dominio temporal, la variable codificada no se puede medir, es decir, convertir al dominio de números, de forma continua, sino que hay que esperar un ciclo o la duración de un pulso, En el dominio digital, la obtención de número es inmediata (Pallas Areny 4ta Edición).

La estructura de un sistema de medida refleja, pues, las conversiones entre dominios que se realizan, e influye particularmente en ella el que se trate de una medida directa o indirecta.

Una medida física es directa cuando se deduce información cuantitativa acerca de un objeto físico o acción mediante comparación directa con una referencia. A veces se puede hacer simplemente de forma mecánica, como en el caso de una balanza clásica.

En las medidas indirectas la cantidad de interés se calcula a partir de otras medidas y de la aplicación de la ecuación que describe la ley que relaciona dichas magnitudes. Los métodos empleados suelen ser siempre eléctricos. Es el caso, por ejemplo, de la medida de potencia transmitida por un eje a partir de la medida del par y de la medida de su velocidad de rotación.

<i>Criterio</i>	<i>Clases</i>	<i>Ejemplos</i>
Aporte de energía	Moduladores Generadores	Termistor Termopar
Señal de salida	Analógicos Digitales	Potenciómetro Codificador de posición
Modo de operación	De deflexión De comparación	Acelerómetro de deflexión Servoacelerómetro

Tabla 9; Clasificación de los sensores.

Cuadro 1.2 Sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes.

		Magnitudes									
Sensores	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza	Humedad		
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magnetorresistencias		Galgas + masa- resorte	RTD Termistores	Potenciómetros + tubo Bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas + voladizo Termistores	Potenciómetro + flotador Termistores LDR	Galgas	Humistor		
Capacitivos	Condensador diferencial				Condensador variable + diafragma		Condensador variable	Galgas capacitivas	Dieléctrico variable		
Inductivos y electromagnéticos	LVDT Corrientes Foucault Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVDT + masa-resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotámetro Ley Faraday	LVDT + flotador Corrientes Foucault	Magneto-elástico LVDT + célula carga			
Generadores			Piezoeléctricos + masa-resorte	Termopares Piroeléctricos	Piezoeléctricos	Vórtices		Piezoeléctricos			
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos Fotoeléctricos	Codificadores incrementales		Osciladores de cuarzo Diodo Transistor Convertidores T/I	Codificador + tubo Bourdon				SAW		
Ultrasonidos	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo tránsito Vórtices	Reflexión Absorción				

Tabla 10; Sensores y métodos de detección más frecuentes (Pallas Areny 4ta Edición).

4.2.2 Características de los sensores.

Cuando se diseñan sistemas de adquisición de datos con computadora, hay aspectos a cerca de los sensores que es necesario tener en cuenta:

La naturaleza de la señal que el sensor / transductor genera: voltaje, rango de amplitud, respuesta en frecuencia, precisión necesaria, determinan el tipo de acondicionamiento de señal, convertidor A/D y cualquier otro hardware a utilizar:

- La influencia de las señales de ruido así como los efectos de carga del hardware de adquisición de datos sobre el sensor.
- La calibración del sensor con respecto a la variable física. Si la respuesta del sensor a los cambios de la variable física es lineal o no. Una calibración mal hecha va a producir mediciones erróneas.
- La interdependencia entre los distintos componentes del sistema de adquisición de datos, por ejemplo un sensor muy bueno, con un pobre convertidor A/D no sirve de casi nada.
- La precisión del sensor, esto es la capacidad de medir el mismo valor repetidas veces en idénticas condiciones.
- El tiempo de respuesta del sensor, es decir, el tiempo requerido para responder a un cambio brusco de la variable que está siendo censada.
- El coeficiente de temperatura del sensor, el cual viene dado por el cambio que se produce en la respuesta del sensor debido al cambio en la temperatura a la cual se encuentra, por ejemplo el aumento en las corrientes de fuga y el voltaje offset de un amplificador, el aumento de la corriente en la oscuridad de un fotodiodo.
- La histéresis de un sensor, la cual se define como la dependencia de la salida del sensor de la respuesta anterior. Esta es muy común en sistemas magnéticos y mecánicos.

Existen varias formas de clasificar los sensores, por ejemplo se pueden clasificar por el principio físico de funcionamiento (inductivo, capacitivo, termoelectrónico o resistivo etc.), por la variable física medida (temperatura, presión, posición etc.) por la capacidad de generar energía (activos) o de necesitar de un circuito de excitación (pasivos).

4.2.3 Sensores de temperatura.

Ya que la temperatura puede tener un efecto significativo sobre los materiales y los procesos a nivel molecular, es la variable más medida y detectada de todas.

La temperatura se define como un grado específico de calor o frío con referencia a una escala específica. También se puede definir como la cantidad de energía térmica en un objeto o sistema. La energía térmica está directamente relacionada con la energía molecular (vibraciones, la fricción y la oscilación de las partículas dentro de una molécula): cuanto mayor sea la energía térmica, mayor será la energía molecular.

Los sensores de temperatura detectan un cambio en un parámetro físico, tales como la resistencia o la tensión de salida que corresponde a un cambio de temperatura (Pallas Areny 4ta Edición).

Hay dos tipos básicos de detección de la temperatura.

Medición por contacto de la temperatura requiere el sensor esté en contacto físico directo con el medio u objeto percibido. Puede ser utilizado para controlar la temperatura de los sólidos, líquidos o gases a través de una gama de temperaturas muy amplia.

Medición sin contacto interpreta la energía radiante de una fuente de calor en forma de energía emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético. Este método puede ser usado para monitorear sólidos y líquidos no reflectantes.

4.2.4 Tipos de sensores y tecnologías (temperatura).

Los sensores de temperatura constituyen tres familias:

- *ELECTROMECÁNICOS, RESISTIVOS, Y ELECTRÓNICOS.*

4.2.4.1 Electromecánicos.

a. Termostatos bimetálicos:

Son exactamente lo que el nombre implica: dos metales diferentes unidos entre sí bajo calor y presión para formar una única tira de material. Mediante el empleo de las diferentes tasas de expansión de los dos materiales, la energía térmica se puede convertir en movimiento electro-mecánico. Hay dos tecnologías de termostatos bimetálicos básicos: de acción rápida y de creeper.

El dispositivo de acción rápida utiliza un disco bimetálico formado para proporcionar un cambio casi instantáneo del estado (abierto para cerrarlo y cerrado para abrirlo).

El estilo creeper utiliza una tira bimetálicos para abrir lentamente y cerrar los contactos. La velocidad de apertura está determinada por el bimetálico elegido y la tasa de cambio de temperatura de la aplicación. Los termostatos Bi-metal también están disponibles en las versiones ajustables. Al girar un tornillo, un cambio en la geometría interna se lleva a cabo que cambia el punto de ajuste de temperatura.

b. Los termostatos de Bulbo y capilares:

Hacen uso de la acción capilar de expansión o contracción de fluido para hacer o romper un conjunto de contactos eléctricos. El fluido está encapsulado en un tubo de depósito que puede ser situado de 150 mm a 2000 mm desde el conmutador. Esto permite un poco más altas temperaturas de funcionamiento que la mayoría de los dispositivos electro-mecánicos. Debido a la tecnología

utilizada, la acción de conmutación de estos dispositivos es lenta en comparación con los dispositivos de acción rápida.

4.2.4.2 Resistivos.

a. Termistores:

Termistores (o resistencias sensibles al calor) son dispositivos que cambian su resistencia eléctrica en función de su temperatura. Por lo general consisten en una combinación de dos o tres óxidos de metal que son sinterizados en un material de base de cerámica y tienen hilos conductores soldados a una oblea semiconductora o chip, que están cubiertas con epoxi o vidrio. Los termistores están disponibles en dos tipos diferentes: *coeficiente de temperatura positivo (PTC)* y *el coeficiente de temperatura negativo (NTC)*. Dispositivos de PTC exhiben un cambio positivo o aumento de la resistencia al aumentar la temperatura, mientras que los dispositivos de NTC exhiben un cambio negativo o disminución de la resistencia cuando aumenta la temperatura. El cambio en la resistencia de los dispositivos de NTC suele ser bastante grande, proporcionando un alto grado de sensibilidad. También tienen la ventaja de estar disponible en muy pequeñas configuraciones para una respuesta térmica muy rápida.

b. RTD (dispositivos de temperatura resistivos):

Como los termistores, emplean un cambio en la resistencia eléctrica para medir o controlar la temperatura. Los RTD consisten en un elemento de detección, los cables de conexión entre el elemento y el instrumento de medición, y un soporte para el posicionamiento del elemento en el proceso. El elemento sensor de metal es una resistencia eléctrica que cambia la resistencia con la temperatura.

El elemento por lo general contiene una bobina de alambre o película conductora con conductores grabados o cortadas en ella. Por lo general se ocupa cerámica y se sella con cemento de cerámica o de vidrio. El elemento

sensor debe ser posicionado donde se puede alcanzar la temperatura de proceso de forma rápida.

Los dispositivos con cables deben estar asegurados adecuadamente en aplicaciones de alta vibración y choque. Los cables de extensión entre el elemento y el instrumento permiten medir resistencia a grandes distancias.

4.2.4.3 Electrónicos.

a. Los sensores de silicio:

Hacen uso de las propiedades macroscópicas de resistencia eléctrica de los materiales semiconductores, en lugar de la unión de dos áreas de diferentes dopados. Especialmente a bajas temperaturas, los sensores de silicio proporcionan un aumento casi lineal en la resistencia en función de la temperatura o un coeficiente de temperatura positivo (PTC). Los dispositivos de tipo IC puede proporcionar una lectura digital directa de la temperatura, así que no hay necesidad de un convertidor A / D.

4.2.5 Sensores de humedad relativa.

La humedad se define como el contenido de vapor de agua en el aire u otros gases. La humedad se mide generalmente en términos de humedad absoluta (la relación de la masa de vapor de agua por el volumen de aire o de gas), el punto de rocío (la temperatura y la presión a la que un gas comienza a condensarse en un líquido), y la humedad relativa, o HR (la relación del contenido de humedad del aire en comparación con el nivel de humedad saturada a la misma temperatura o presión).

Los sensores de humedad de conductividad térmica, también conocidos como sensores de humedad absolutos, son capaces de medir la humedad absoluta usando un sistema que emplea dos termistores en una conexión de puente, incluso a altas temperaturas o en ambientes contaminados.

4.2.6 Tipos de sensores y tecnologías (HR).

Desarrollos recientes en la tecnología de semiconductores han hecho posibles sensores de humedad que son altamente precisos, duraderos, y económicos. Los sensores de humedad más comunes son **capacitivos, resistivos, y de conductividad térmica**. Las siguientes secciones explican cómo se construye y se utiliza para medir la humedad en cada tipo de sensor.

a. Capacitivos:

Los sensores capacitivos HR se utilizan ampliamente en aplicaciones de telemetría industrial, comercial, y clima. Ellos dominan tanto las mediciones atmosféricas como de procesos y son los únicos tipos de dispositivos de medición de HR de rango completo capaces de funcionar con precisión de 0% de humedad relativa.

Debido a su efecto a bajas temperaturas, se utilizan a menudo en amplios rangos de temperatura sin compensación de temperatura activa. En un sensor HR capacitivo, el cambio en la constante dieléctrica es casi directamente proporcional a la humedad relativa en el medio ambiente. La variación típica en capacitancia es de 0.2 – 0.5 pF para variaciones del 1% de HR. Su capacitancia varía entre los 100 y 500 pF a un 50% de HR con una temperatura de 25°C.

Estos sensores tienen bajo coeficiente de temperatura y pueden funcionar a altas temperaturas hasta de 200°C. Son capaces de recuperarse por completo de la condensación y resisten vapores químicos. El tiempo de respuesta oscila de 30 a 60 segundos para que un cambio de paso HR 63%.

b. Resistivos:

Los sensores de humedad resistivos miden el cambio de impedancia, que por lo general tiene una relación exponencial inversa a la humedad. Típicamente, se

mide el cambio de impedancia de un medio tal como un polímero conductor, sal, o sustrato tratado.

El sensor está protegido en una carcasa de plástico. La intercambiabilidad es mejor que el 3% en el rango de 15-95% de HR, mientras que la precisión es de $\pm 2\%$. El tiempo de recuperación para los sensores resistivos desde la condensación completa a un 30% de HR es de unos pocos minutos. La salida de tensión es directamente proporcional a la humedad relativa del ambiente cuando se utiliza un acondicionador de señal.

Para la mayoría de los sensores resistivos, el tiempo de respuesta es de 10 a 30 segundos para un cambio 63%, mientras que el rango de impedancia varía de 1 k Ω por 100 M Ω .

c. Conductividad térmica:

Los sensores de humedad de conductividad térmica, también conocida como sensores de humedad absolutos) miden la humedad absoluta mediante el cálculo de la diferencia entre la conductividad térmica del aire seco y vapor de agua que contiene aire.

Estos sensores se construyen utilizando dos elementos termistor de coeficiente de temperatura negativa en un circuito puente DC. Uno de los elementos está sellado en nitrógeno seco, mientras que la otra está expuesta al medio ambiente. La diferencia en la resistencia entre los dos termistores es directamente proporcional a la humedad absoluta.

4.3 FUNDAMENTOS DEL VIENTO

Es el movimiento del aire causado por el calentamiento diferencial de la superficie terrestre y la atmósfera, que presenta variaciones significativas en el tiempo y en el espacio.

Viento se refiere específicamente al movimiento horizontal de las parcelas de aire (que alcanzan grandes distancias y pueden persistir en diferentes escalas de tiempo), puesto que los movimientos verticales son limitados por el espesor de la Capa Límite Planetaria (CLP ó PBL por sus siglas en inglés).

Es una magnitud vectorial caracterizada por tener velocidad y dirección (variable), con un desplazamiento determinado por la acción de diferentes fuerzas sobre las parcelas de aire, especialmente por las diferencias de presión.

La velocidad se define como la magnitud que determina la fuerza del vector y la dirección del viento, determina la orientación del vector (dirección desde la que este sopla).

Al descomponer el vector viento; se obtienen las componentes zonal (positivo - proveniente del occidente, negativo - proveniente del oriente) y meridional (positivo - proveniente del sur, negativo - proveniente del norte), que representan el movimiento del viento a lo largo de los paralelos y de los meridianos, respectivamente. (UAAAN MX), (IDEAM CO).

4.3.1 Origen del movimiento.

El movimiento de un cuerpo en un sistema de coordenadas determinado, que resulta de la acción de una fuerza sobre su masa, genera una aceleración. Con respecto al tema la segunda ley de Newton expresa que:

Dónde F representa la fuerza que actúa sobre un cuerpo de masa m, y a es la aceleración resultante (proporcional a la fuerza).

$$F_{x, y, z} = M(\text{masa})_{u, v, w} * A(\text{aceleración})_{x, y, z}$$

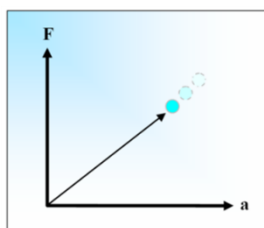


Figura 23; Representación de la segunda ley de Newton.

4.3.2 Velocidad del viento.

Se mide preferentemente en náutica en nudos, pero también aplican las medidas de tiempo-espacio y mediante la escala Beaufort. Esta escala comprende 12 grados de intensidad creciente que describen el viento a partir del estado de la mar.

Esta descripción es inexacta pues varía en función del tipo de aguas donde se manifiesta el viento.

m/s	kt	mph	ft/s	km/h
1.000	1.944	2.237	3.281	3.600
0.514	1.000	1.151	1.688	1.852
0.447	0.869	1.000	1.467	1.609
0.305	0.592	0.682	1.000	1.097
0.278	0.540	0.621	0.911	1.000

Tabla 11; Conversión entre unidades de velocidad.

Grado	Término Descriptivo	Velocidad Km/h	Características para la estimación de la velocidad
0	Calma	0 - 1	El humo se eleva verticalmente
1	Ventolina o brisa suave	2 - 6	Su dirección la indica el curso que sigue el humo. Incapaz de mover la veleta
2	Viento suave	7 - 12	Se siente en la cara, susurra entre las hojas, mueve la veleta.
3	Viento leve	13 - 18	Mueve constantemente las hojas y ramas pequeñas, despliega banderas.
4	Viento moderado	19 - 26	Levanta polvo y papeles sueltos, mueve las ramas
5	Viento regular	27 - 35	Agita algo los árboles pequeños, levanta olas pequeñas en los cuerpos de agua interiores
6	Viento fuerte	36 - 44	Mueve las ramas mayores, hace caer los alambres telegráficos
7	Viento muy fuerte	45 - 54	Mueve los árboles por completo; se hace difícil andar contra el viento.
8	Temporal	55 - 65	Quiebra las ramas pequeñas de los árboles e impide generalmente andar
9	Temporal fuerte	66 - 77	Causa averías leves en las estructuras (chimeneas) y arranca las tejas de los techos
10	Temporal muy fuerte	78 - 90	Arranca los árboles, causa averías considerables en las estructuras
11	Tempestad	92 - 204	Ocasiona grandes estragos en un área extensa
12	Huracán	Más de 104	Causa muchos estragos y destrucciones.

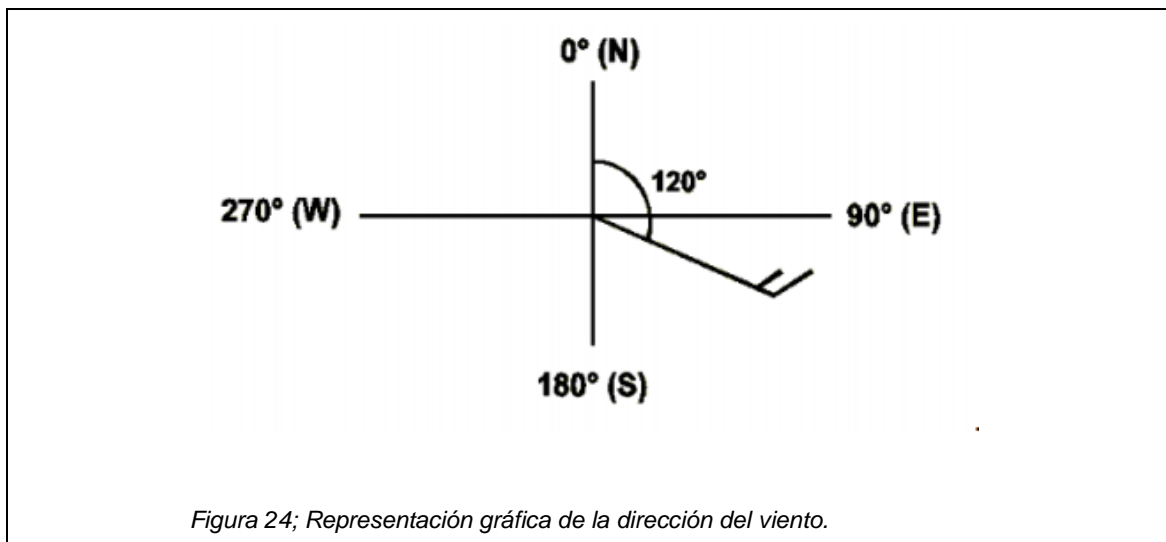
Tabal 12; Escala de medición de Beaufort.

- **¿Cómo se representa el viento en un gráfico?**

Existen dos formas de representar el viento en un gráfico con vectores y flechas con barbas.

4.3.3 La dirección del viento.

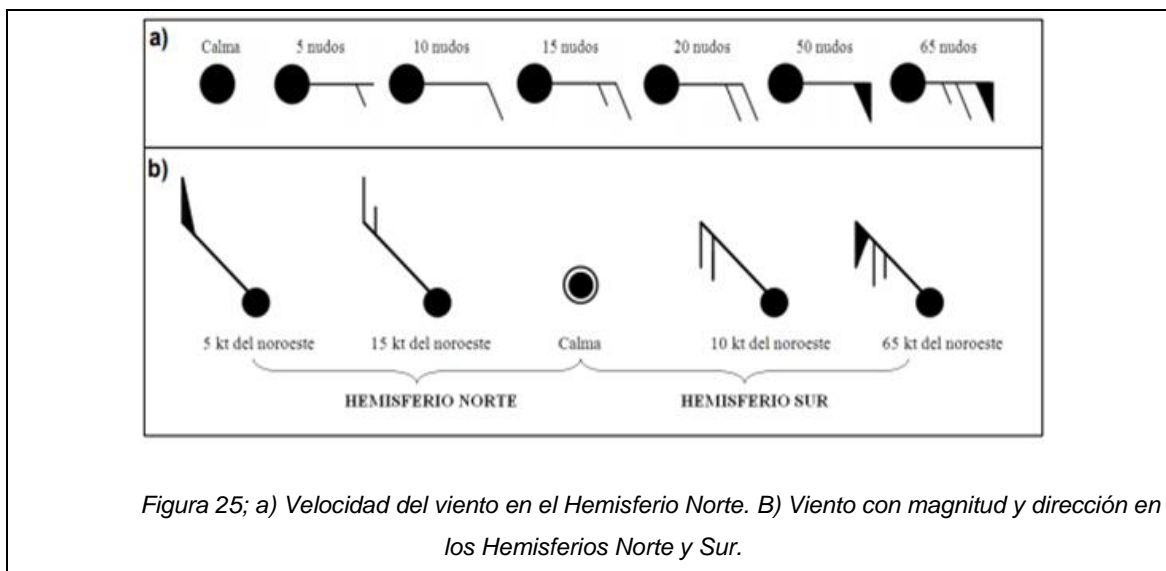
Se representa en grados de 0° a 360° como se muestra en la siguiente figura 24. En esta, 0° grados corresponde al Norte, 90° al Este, 180° al Sur, 270° al Oeste y 360° grados nuevamente al Norte. En la Figura se ha representado el viento con una dirección de 120° grados (aprox. del sureste), la punta de la flecha indica de donde viene el viento y las barbas como se verá a continuación la magnitud del viento, en este caso 15 nudos.



Con el fin de facilitar la lectura del viento en los mapas, se ha implementado la representación de este vector, en donde la longitud está asociada con la velocidad, y el sentido con la dirección de donde viene. La representación del viento, por tanto, se realiza mediante el uso de flechas, barbas y banderolas de la siguiente manera:

Flechas: Dirección. Número de Banderolas y/o barbas. Velocidad del viento.

La banderola equivale a 50 kt (25 m/s), una barba corresponde a 10 kt (5 m/s), mientras que media barba corresponde a 5 kt (2,5 m/s).



4.3.4 Vientos globales.

El viento surge en el ecuador y se mueve hacia el norte y el sur en las más altas capas de la atmósfera. Aproximadamente a los 30° de latitud en ambos hemisferios, la fuerza Coriolis impide al aire moverse más lejos (UAAAN MX.).

En esta latitud hay un área de alta presión, cuando el aire baja nuevamente. Al elevarse el aire en el ecuador, se tiene un área de baja presión cercana a la superficie terráquea que atrae vientos del norte y el sur. En los polos se tiene alta presión dado el enfriamiento del aire.

Teniendo en cuenta la fuerza Coriolis, se puede entonces hacer una tabla como la siguiente para concentrar las direcciones de los vientos globales:

Direcciones de vientos globales	
Latitud	Dirección
90 - 60 °N	NE
60 - 30 °N	SW
30 - 0 °N	NE
0 - 30 °S	SE
30 - 60 °S	NW
60 - 90 °S	SE

Tabla 13; Dirección de los vientos globales de acuerdo a Coriolis.

4.3.5 Vientos locales.

La dirección del viento no siempre obedece a las direcciones de vientos globales, ya que, la geografía local puede modificar las direcciones de la tabla anterior.

La topografía y fisiografía (Descripción de la Tierra y de los fenómenos localizados en ella) propias de cada región suelen producir vientos locales.

Algunos resultan de los vientos globales, que sufren alteraciones por las montañas, otros son verdaderamente locales y son causados por el sistema diario de corrientes en chorro que suben y bajan de los valles.

Por lo general, el viento es más fuerte durante el día que durante la noche. Esto se debe principalmente a que las diferencias de temperatura tienden a ser mayores durante el día. El viento es también más turbulento y tiende a cambiar más su dirección en el día que durante la noche. Sin embargo, los vientos más fuertes usualmente provienen de una dirección particular.

Para representar la distribución de las velocidades y la frecuencia de la variación en la dirección del viento, se usa un gráfico llamado *Rosa de los Vientos*.

La valoración de la dirección del viento a lo largo del tiempo, puede ser consolidada y expresada en una rosa de vientos, con el fin de analizar la procedencia del viento durante un periodo de tiempo determinado.

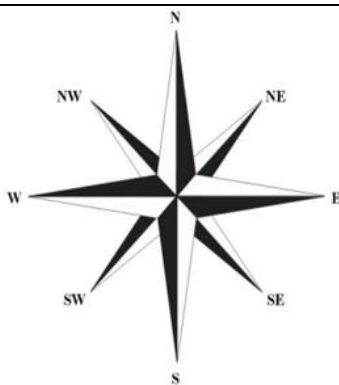


Figura 26; Representación gráfica de la rosas de los vientos.

Este gráfico consta de las siguientes partes:

- Un círculo dentro del cual se indica la frecuencia relativa de las calmas observadas.
- Un haz de líneas rectas que se originan en el centro del círculo y cuyos diversos grosores y colores representan las distintas velocidades del viento

registradas. La longitud de estas líneas representa la frecuencia de vientos provenientes de una misma dirección.

- Un conjunto de círculos concéntricos con el primero. Estos círculos son una graduación auxiliar para la medición de las longitudes de las líneas rectas.
- El gráfico se complementa con una escala o leyenda que explica el simbolismo de los grosores de las líneas

A manera de ejemplo se usarán los datos de la siguiente tabla para representarlos en una rosa de los vientos:

Dirección	Vel. 1 a 3 m/s	Vel. de 4 a 7 m/s	Vel. de 8 a 12 m/s	Vel de 13 a 20 m/s	Vel. > 20 m/s
N	10	17	37	18	2
NE	18	13	12	1	0
E	12	18	20	8	0
SE	1	2	9	6	2
S	1	6	22	6	1
SW	2	8	28	14	1
W	0	4	15	20	11
NW	0	5	18	60	25

Tabla 14; Datos para representación de la rosa de los vientos.

Considerando que se observó calma en 63 ocasiones durante este muestreo, se tiene entonces un total de 516 observaciones. (Los datos de la tabla son frecuencias. Por ejemplo, el primer dato en la tabla es 10: esto significa que se observó 10 veces viento del Norte con velocidad entre 1 y 3 metros/segundo). Los datos deberán ser transformados a frecuencias relativas o porcentajes. El

10 equivale entonces a 1.9 %, el 17 a 3.3, etc. De esta manera, se tiene una nueva tabla:

Dirección	Vel. 1 a 3 m/s	Vel. 4 a 7 m/s	Vel. 8 a 12 m/s	Vel. 13 a 20 m/s	Vel. > 20 m/s
N	1.9	3.3	7.2	3.5	0.4
NE	3.5	2.5	2.3	0.2	0
E	2.3	3.5	3.9	1.5	0
SE	0.2	0.4	1.7	1.2	0.4
S	0.2	1.2	4.3	1.2	0.2
SW	0.4	1.5	5.4	2.7	0.2
W	0	0.8	2.9	3.9	2.1
NW	0	1.0	3.5	11.6	4.8

Tabla 15; Nueva tabla con datos actualizados previos a la representación gráfica.

La rosa de los vientos también suele representarse uniendo los puntos que representan las frecuencias, según se puede apreciar en la siguiente ilustración:

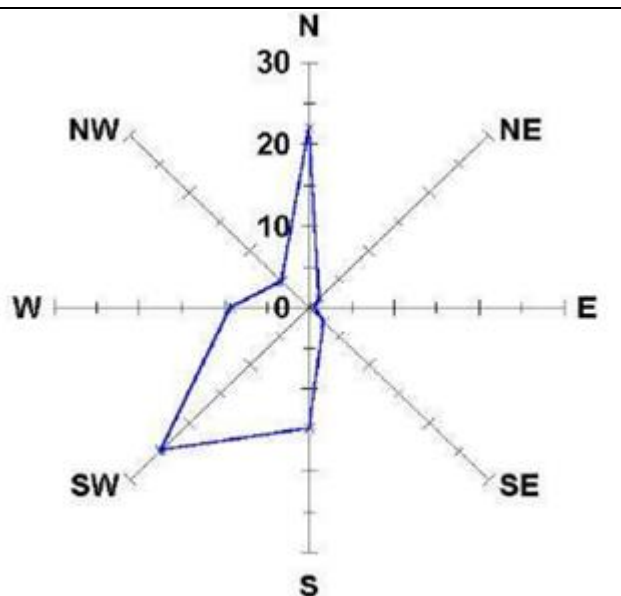


Figura 27; Representación gráfica final de la Rosa de los Vientos.

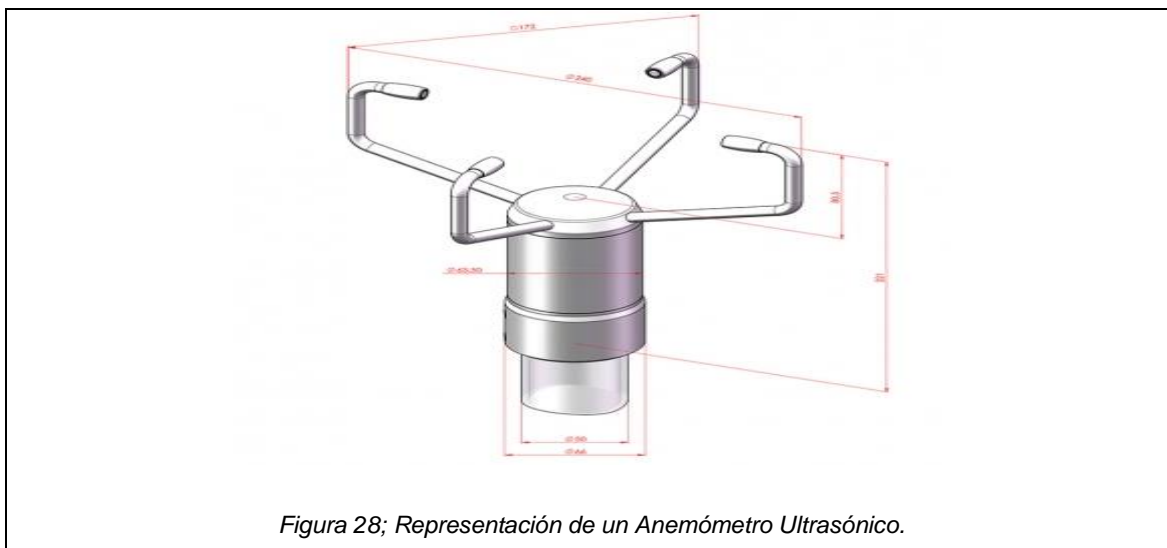
Como se mencionó existen instrumentos para medir las componentes del viento, así serían de gran ayuda en el diseño del sistema, ya que, conociendo estas variables podríamos obtener información adecuada para crear modelos de propagación e información acabada para la detección.

4.3.6 Anemómetro.

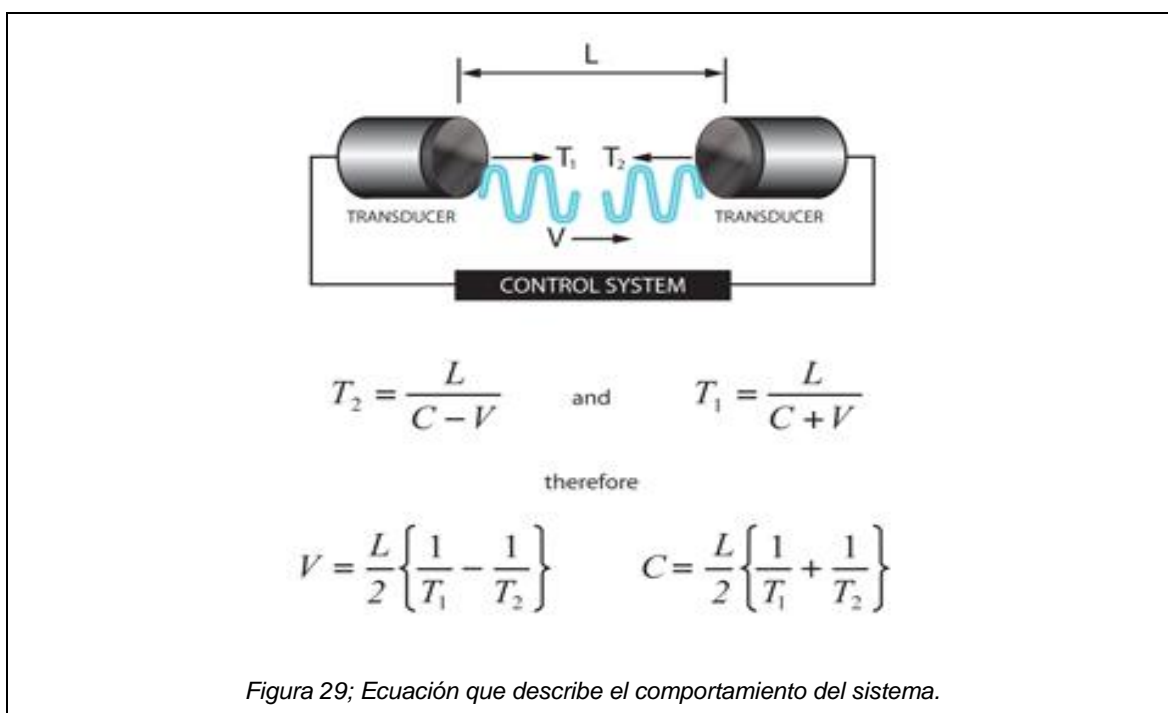
Es el instrumento que se utilizan generalmente para la medición de la velocidad del viento en superficie. Este formado por un molinete de tres brazos (cada 120°) que gira sobre un eje vertical (con el viento) y activa un contador que con base al número de revoluciones, determina la velocidad. Existen diferentes tipos de instrumentos, como los de empuje, a presión y ultrasónicos.

4.3.6.1 Anemómetro ultrasónico.

Un anemómetro ultrasónico mide el tiempo necesario para que un pulso de sonido ultrasónico (Ondas no audibles 20 000 Hz) viaje desde el transductor norte al transductor sur, y lo compara con el tiempo para que un pulso viaje desde el transductor S hasta el N. Del mismo modo, los tiempos se comparan entre el oeste y el este, y los transductores este y oeste.



Si, por ejemplo, sopla un viento del Norte, entonces el tiempo que toma el pulso para viajar de N a S será menor que de S a N, mientras que los tiempos de W a E y de E a W serán los mismos. La velocidad y la dirección del viento se pueden calcular a partir de las diferencias en los tiempos de vuelo en cada eje. Este cálculo es independiente de factores como la temperatura.



Donde; **L**: Distancias entre las fases del transductor; **C**: Velocidad del sonido. **V**: Velocidad del flujo de gas; **T1** y **T2**: Tiempo de transmisión de ultrasonido.

Su construcción presenta una amplia gama de aplicaciones en meteorología, protección del medio ambiente y aplicaciones industriales, por ejemplo, estaciones meteorológicas automáticas, aeropuertos, buques de investigación, plantas industriales, sistemas móviles, etc.

4.4 REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN - RSI)

4.4.1 WSN Definición.

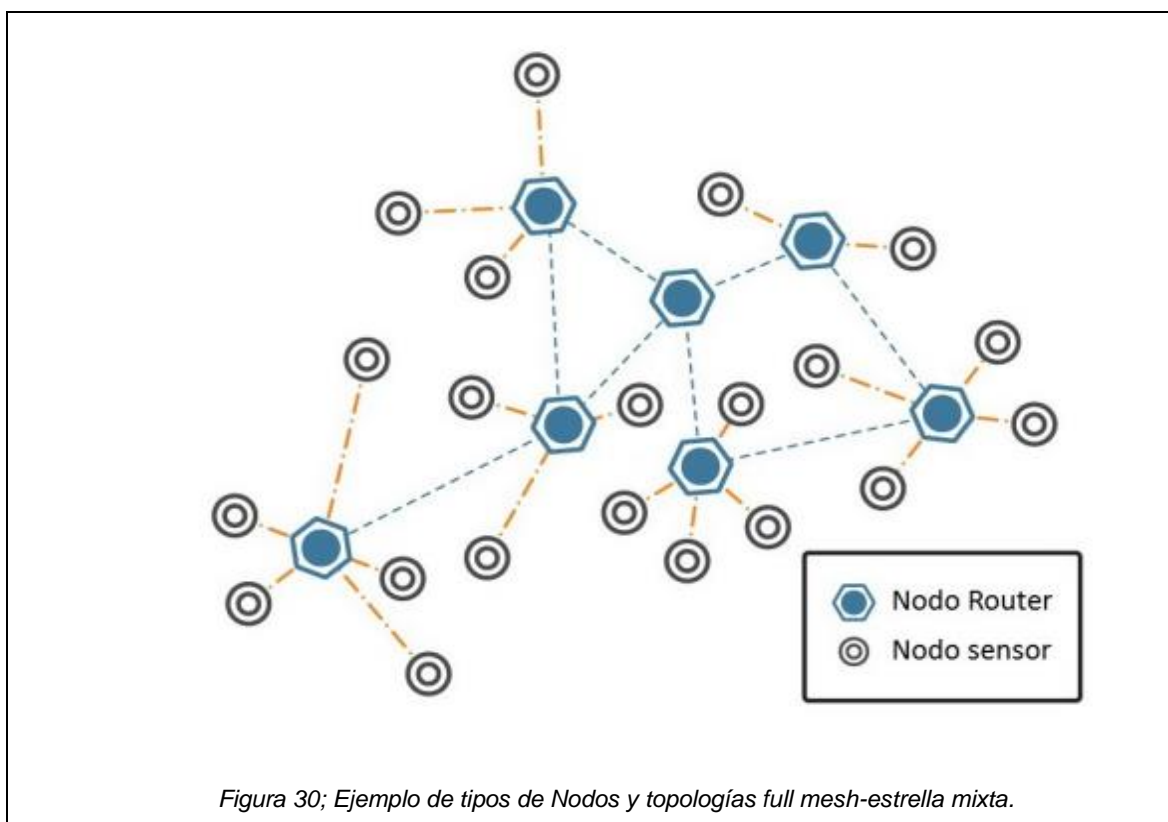
En los últimos años ha habido importantes avances en comunicaciones inalámbricas y diseño de electrónica de bajo consumo. Estos avances han permitido la investigación en redes de sensores pequeños e inalámbricos. Cuando estos sensores están desplegados en un área geográfica amplia, pueden recolectar y juntar información sobre los fenómenos circundantes y colaborar de una manera eficiente para procesar dicha información formando una red de comunicación distribuida, llamada Wireless Sensor Network (WSN).

Una WSN, es un conjunto de elementos autónomos o nodos interconectados de manera inalámbrica, que colaboran con el objetivo de satisfacer una idea o función requerida. Estas redes están formadas por un grupo de sensores que poseen ciertas capacidades para la detección o medición de factores físicos y que también poseen capacidades de comunicación inalámbricas las cuales permiten formar redes ad-hoc sin infraestructura física entre ellas (cables) o un administrador central (Pakdaman M. 2014).

Se caracterizan por su facilidad de implementación y despliegue en terreno y por poseer la ventaja de ser auto configurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores que posee cada nodo.

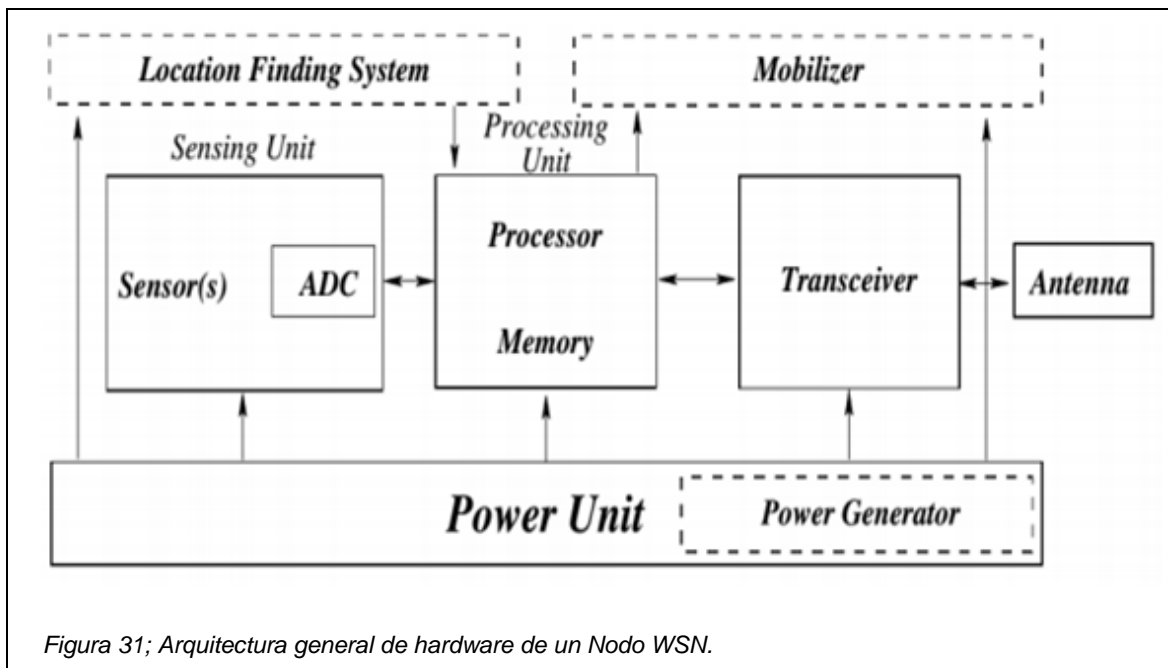
Una aplicación WSN puede contar hasta con miles de nodos desplegados. Los nodos constantemente monitorean condiciones físicas o ambientales como temperatura, sonido, presión, etc., y cooperan para pasar las observaciones monitoreadas a través de la red a un sistema central en un proceso llamado fusión de datos (Barrera D. 2015).

La fusión de datos es el proceso de integración y acumulación de información proveniente de múltiples sensores de la red en un resultado global ubicado en un sistema central. La información censada (adquirida por el sensor) será transmitida junto con los sellos de tiempo (timestamps) indicando el tiempo en el cual el evento de interés ocurrió para que su fusión sea posible. Por lo tanto, para lograr una fusión de datos es esencial tener un tiempo común y único en la red (Ray, B. 2018), (Pakdaman M. 2014).



Un sensor inalámbrico se compone generalmente de cuatro componentes básicos:

- Unidad de *Medición o Detección*.
- Unidad de *Procesamiento*.
- Unidad de *Transceptor*.
- Unidad de *Potencia*.
- Además, componentes adicionales también pueden ser integrados en el nodo sensor dependiendo de la aplicación.



4.4.2 Elementos de arquitectura física.

- a. **Unidad de medición o detección:** La unidad de detección es el componente principal de un nodo sensor inalámbrico que lo distingue de cualquier otro sistema embebido (incrustado o empotrado) con capacidades de comunicación. La unidad de detección puede incluir generalmente varios sensores, que proporcionan las capacidades de recopilación de información del mundo físico. Cada sensor es responsable de reunir información de un tipo determinado, tales como la temperatura, la humedad o la luz, y por lo general se compone de dos subunidades: un sensor y un convertidor analógico a digital (ADC). Las señales analógicas producidas por el sensor basadas en el fenómeno observado o monitoreado se convierten en señales digitales por el ADC y luego son enviadas a la unidad de procesamiento.
- b. **Unidad de Procesamiento:** La unidad de procesamiento es el controlador principal del nodo de sensores inalámbricos, a través del cual se gestiona todos los demás componentes. La unidad de procesamiento puede consistir en una memoria o puede estar asociada con una unidad

pequeña de almacenamiento integrada la placa. La unidad de procesamiento gestiona los procedimientos que permiten al nodo sensor realizar operaciones de detección, ejecutar los algoritmos asociados, y colaborar con los otros nodos a través de la comunicación inalámbrica.

- c. **Unidad Transceptora:** La comunicación entre dos nodos de sensores inalámbricos se efectúa por las unidades transceptoras. Una unidad transceptora ejecuta los procedimientos necesarios para convertir los bits a transmitir en ondas de radiofrecuencia y recuperarlos en el otro extremo. Esencialmente el sistema está conectado a la red a través de esta unidad.
- d. **Unidad de potencia:** Uno de los componentes más importantes de un nodo sensor inalámbrico es la unidad de potencia. Por lo general, se utiliza energía de batería, pero otras fuentes de energía también son posibles. Cada componente del nodo sensor inalámbrico es alimentado a través de la unidad de potencia y la limitada capacidad de esta unidad requiere un funcionamiento energéticamente eficiente de las tareas realizadas por cada componente.

4.4.3 Elementos adicionales.

- a. **Sistema de Localización:** La mayor parte de las aplicaciones de redes de sensores, tareas de detección, y técnicas de enrutamiento necesitan conocimiento de la ubicación física de un nodo. Por lo tanto, es común que un nodo sensor esté equipado con un sistema de localización. Este sistema puede consistir en un módulo GPS para un nodo sensor de gama alta o puede ser un módulo de software que implementa los algoritmos de localización que proporcionan información de su ubicación a través de cálculos distribuidos.
- b. **Movilizador:** Un movilizador puede ser necesario a veces para mover nodos de sensores cuando sea necesario para llevar a cabo las tareas asignadas. El soporte de movilidad requiere amplios recursos

energéticos y debe proporcionarse de manera eficiente. El movilizador también puede funcionar en estrecha interacción con la unidad de detección y el procesador para controlar los movimientos del nodo sensor.

- c. **Generador de energía:** Mientras la energía de la batería se utiliza principalmente en los nodos de sensores, un generador de energía adicional se puede utilizar para aplicaciones en las que alargar la vida útil de la red de sensores sea esencial.

Para aplicaciones exteriores, las celdas solares se utilizan para generar energía. Del mismo modo, distintas técnicas de recolección o generación de energía pueden ser utilizadas como la energía térmica, Cinética, y la energía de las vibraciones.

4.4.4 Esquema de software.

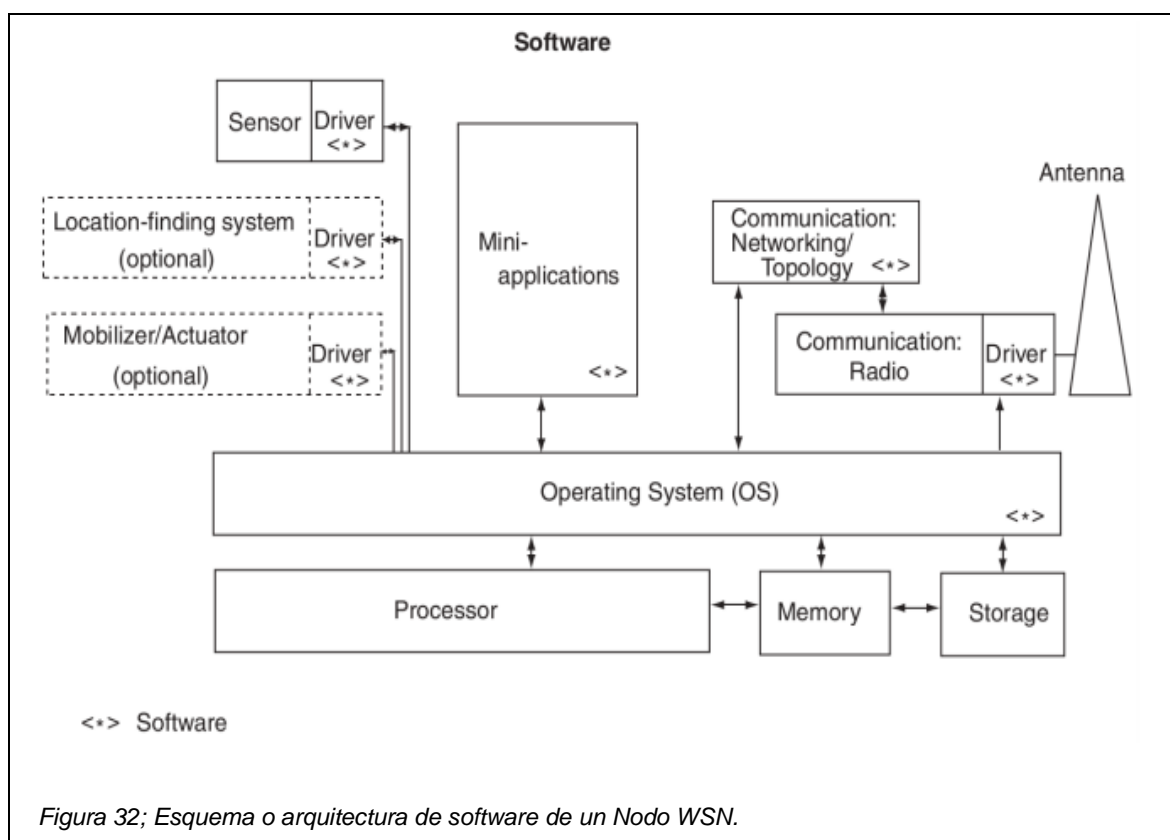


Figura 32; Esquema o arquitectura de software de un Nodo WSN.

4.4.5 Elementos de software WSN.

4.4.5.1 Sistema operativo (SO) de microcódigo (también llamado como middleware).

Este es el software más común en las placas de las WSN, es usado por todos los módulos de software residente en el nodo para dar soporte a varias aplicaciones.

Como es generalmente el caso, el propósito de un sistema operativo es el aislar o proteger el software de la funcionalidad a nivel de máquina del microprocesador. Es deseable tener sistemas operativos abiertos diseñados específicamente para WSN; estos SO generalmente utilizan una arquitectura que permite una rápida implementación con un mínimo tamaño del código.

TinyOS y Contiki son un ejemplo de sistema operativo comúnmente usado.

a. Controladores de sensores

Existen módulos de software que gestionan funciones básicas de los sensores; Estos sensores pueden ser del tipo modular/plug-in, y dependiendo del tipo y sofisticación, la configuración y ajustes apropiados deben ser cargados al o en el sensor (los controladores protegen o aíslan el software de la aplicación de la funcionalidad a nivel de máquina del sensor u otro periférico).

b. Procesadores de comunicación

Este código gestiona las funciones de las comunicaciones, incluyendo el enrutamiento, buffering (memoria temporal) de paquetes y envío de estos, topología de mantenimiento, control de acceso al medio (Por ejemplo, mecanismos de contención, mecanismos de Espectro ensanchado por secuencia directa (direct sequence spread spectrum o DSSS)

c. Controladores de comunicación (Codificación y Capa Física)

Estos módulos de software gestionan los detalles del canal de transmisión del enlace de radio, incluyendo temporización y sincronización, codificación de la señal, recuperación de bit, conteo de bit, niveles de señal y modulación.

d. Pequeñas aplicaciones de procesamiento de datos

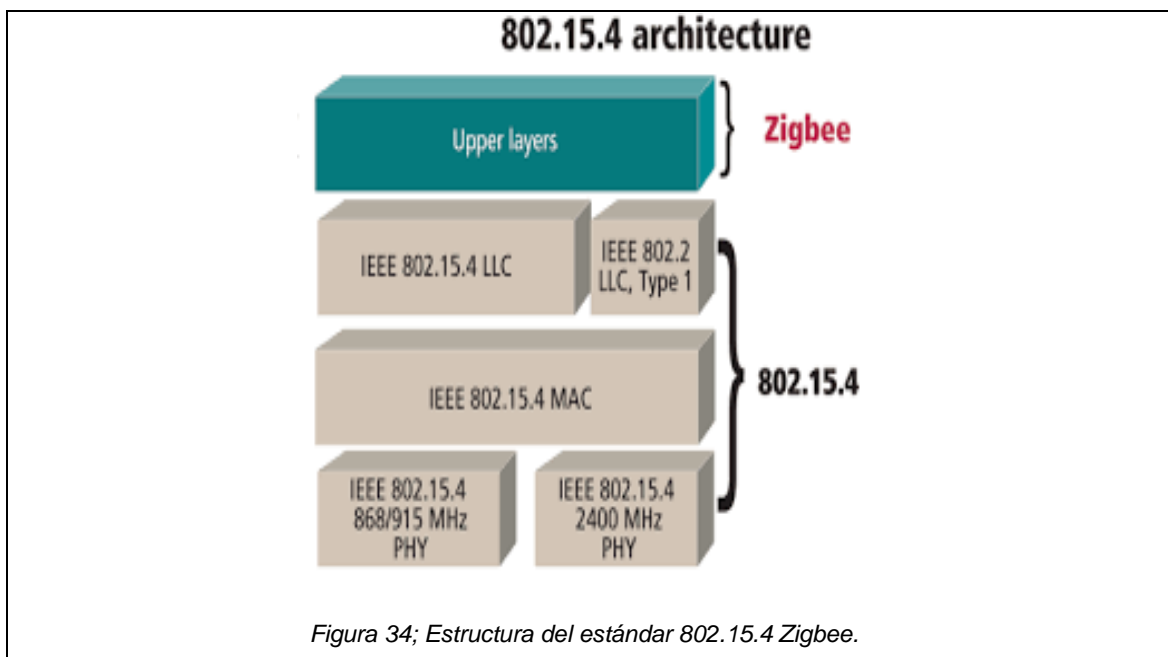
Estos son aplicaciones numéricas, procesadoras de datos, almacenadoras de nivel de señal y manipuladoras de datos, u otra aplicación básica que sea soportada a nivel de nodo para procesamiento en la red.

4.5 ESTÁNDAR DE COMUNICACIONES IEEE 802.15.4 ZIGBEE



El estándar de comunicaciones para las redes inalámbricas es el estándar IEEE 802.15.4 Cita. Es un estándar que define el nivel físico; capa física (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) o subcapa de enlace, de redes inalámbricas de área personal Wireless personal area network (WPAN) con tasas bajas de transmisión de datos (Low Rate -WPAN).

La arquitectura del estándar está definida por capas. Cada capa es responsable de los servicios ofrecidos a capas superiores. El esquema de capas se basa en el modelo de referencia para la interconexión de sistemas abierto (OSI por sus siglas en inglés) de la organización internacional para la estandarización (ISO por sus siglas en inglés), (IEEE Computer Society & LAN/MAN Standards Committee 2011).



Entre sus características más importantes se pueden mencionar la flexibilidad de red, el bajo consumo de energía y la sencillez tecnológica.

El estándar 802.15.4 permite comunicación inalámbrica entre dispositivos de bajo costo y de baja velocidad. Se pueden alcanzar una tasa de transmisión de datos de 20 a 250 Kbps en un rango de 10 a 450 metros y mayor distancia en ISM 900/800. El objetivo de esta tecnología no es poder alcanzar mayores tasas de transferencia de datos, sino permitir que los transmisores de los sensores consuman poca energía.

Las comunicaciones se pueden realizar en una de tres bandas de radio frecuencia de uso no regulado (ISM). A diferencia de otros protocolos inalámbricos de baja tasa de transmisión de datos (low-rate) como Bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency Hopping), sino que realiza todas sus comunicaciones a través de una única frecuencia.

El estándar IEEE 820.15.4 incluye una capa llamada capa física (PHY), que define las frecuencias de radio (RF) que se utilizan para los enlaces de comunicación, además de los mecanismos de control de bajo nivel, también

incluye a la subcapa MAC que proporciona acceso al canal físico, a través de diferentes tipos de transferencia.

Las capas superiores del modelo OSI, corresponde a la capa de red y la capa de aplicación, estas capas se modelan de acuerdo a protocolos o estándares tales como; Zigbee, Z-wave, Lorawan, Digimesh, 6LoWPAN, MiWi, Dash7, entre otros (IEEE Computer Society, & LAN/MAN Standards Committee 2011).

4.5.1 Capa física.

La capa física es la responsable de difundir la información por el medio de transmisión. Especifica las propiedades físicas y eléctricas de los componentes del hardware, la velocidad de transmisión y si la comunicación es unidireccional o bidireccional. El IEEE 802.15.4 ofrece dos opciones de PHY (capa física) que combinan con el MAC para permitir un amplio rango de aplicaciones en red.

Ambas PHYs se basan en métodos de secuencia directa de espectro extendido (DSSS). Se utiliza DSSS debido a los bajos costes de implementación digital en circuitos integrados, y ambas comparten la misma estructura básica de paquetes low-duty cycle (ciclo de trabajo) con operaciones de bajo consumo de energía.

4.5.2 Frecuencias de trabajo.

La principal diferencia entre ambas PHYs radica en la banda de frecuencias. La PHY de los 2.4 GHz, especifica operación en la banda industrial, médica y científica (ISM), que prácticamente está disponible a nivel mundial, mientras que la PHY de los 868/915 MHz especifica operaciones en la banda de 865 MHz en Europa y 915 MHz en la banda ISM en Estados Unidos. Mientras que la movilidad entre países no se anticipa para la mayoría de las aplicaciones de redes en las casas, la disponibilidad internacional de la banda de los 2.4 GHz

ofrece ventajas en términos de mercados más amplios y costos de manufactura más bajos.

Por otro lado las bandas de 868 MHz y 915 MHz ofrecen una alternativa a la congestión creciente y demás interferencias (microondas, etc.) asociadas a la banda de 2.4 GHz. Y mayores rangos por enlace debido a que existe menores pérdidas de propagación. Existe una segunda distinción de las características de la PHY es el rango de transmisión. La PHY de 2.4 GHz permite un rango de transmisión de 250 kb/s, mientras que la PHY de los 868/915 MHz ofrece rangos de transmisión de 20 kb/s y 40 kb/s respectivamente.

Este rango superior de transmisión en la PHY de los 2.4 GHz se atribuye principalmente a un mayor orden en la modulación, en la cual cada símbolo representa múltiples bits. Los diferentes rangos de transmisión se pueden explotar para lograr variedad de objetivos o aplicaciones. Por ejemplo la baja densidad de datos en la PHY de los 868/915 MHz se puede ocupar en lograr una mayor sensibilidad y mayores áreas de cobertura, con lo que se reduce el número de nodos requeridos para cubrir un área geográfica, mientras que el rango superior de transmisión en la PHY de los 2.4 GHz se puede utilizar para conseguir *throughput* (volumen de información neto que fluye en el sistema) mayores y poca latencia (suma de retardos temporales).

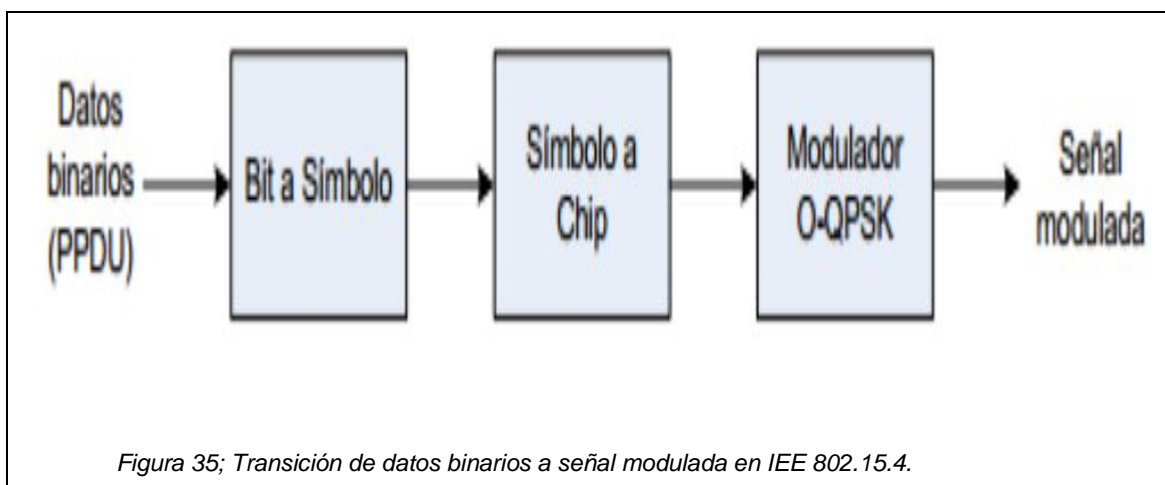
Se espera que en cada PHY se encuentren aplicaciones adecuadas a ellas y a sus rangos de transmisión.

La capa Física del estándar IEEE 802.15.4 especifica cuatro bandas de frecuencia, con sus modulaciones y factores de ensanchado correspondientes, que se pueden apreciar en la Tabla 16.

PHY (MHz)	Banda de frecuencia	Parámetros de propagación		Parámetros de datos		
		Chip Rate (Kchips/s)	Modulación	Bit Rate (Kb/s)	Symbol Rate (Ksímbolos/s)	Symbols
868/915	868-868,6	300	BPSK	20	20	Binary
	902-928	600	BPSK	40	40	Binary
868/915 (opcional)	868-868,6	400	ASK	250	12,5	20-bit PSSS
	902-928	1600	ASK	250	50	5-bit PSSS
868/915 (opcional)	868-868,6	400	O-QPSK	100	25	16-ary ortogonal
	902-928	1000	O-QPSK	250	62,5	16-ary ortogonal
2450	2400-2483,5	2000	O-QPSK	250	62,5	16-ary ortogonal

Tabla 16; Frecuencias, modulaciones y parámetros de ensanchado del estándar IEEE 802.15.4.

Las bandas de frecuencia disponibles se regulan a nivel regional. En general, la banda de 2400-2483,5 MHz es la única disponible (de la Tabla 16) a nivel mundial sin necesidad de licencias y sin limitaciones de aplicación y ciclo de trabajo. Estas consideraciones la han llevado a ser seleccionada como la banda principal del protocolo IEEE 802.15.4.



4.5.3 Canales.

En el IEEE 802.15.4 se definen 27 canales de frecuencia entre las tres bandas (Ilustración 36). La PHY de los 868/915 MHz soporta un solo canal entre los 868 y los 868.6 MHz , y diez canales entre los 902.0 y 928.0 MHz. Debido al soporte regional de esas dos bandas de frecuencias, es muy improbable que una sola red utilice los 11 canales. Sin embargo, las dos bandas se consideran lo suficientemente cercanas en frecuencia que se puede utilizar el mismo hardware para ambos y así reducir costos de manufactura. La PHY de los 2.4 GHz soporta 16 canales entre los 2.4 y los 2.4835 GHz con un amplio espacio entre canales (5 MHz) esto con el objetivo de facilitar los requerimientos de filtrado en la transmisión y en la recepción.

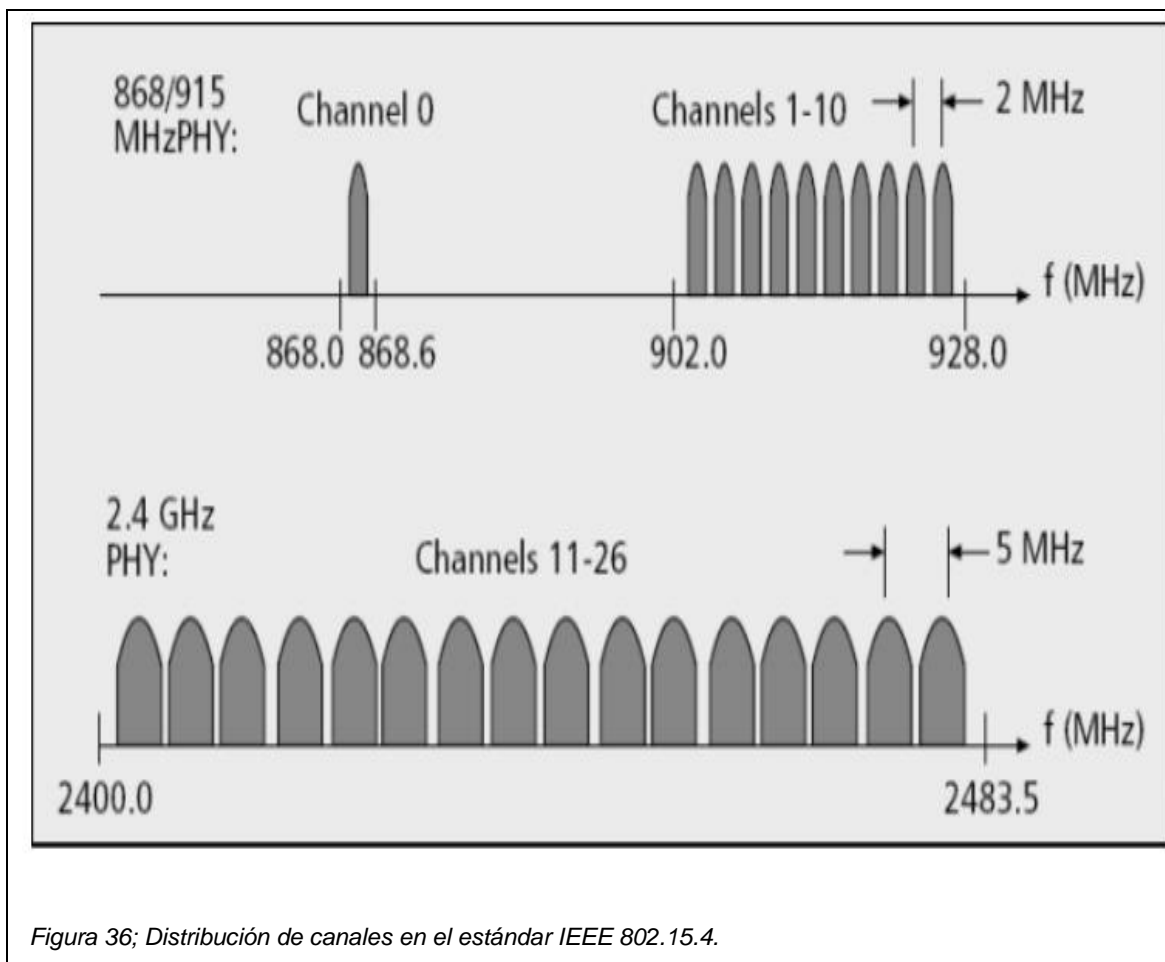


Figura 36; Distribución de canales en el estándar IEEE 802.15.4.

Los 27 canales disponibles en las bandas obligatorias se numeran del 0 a 26 siguiendo el esquema:

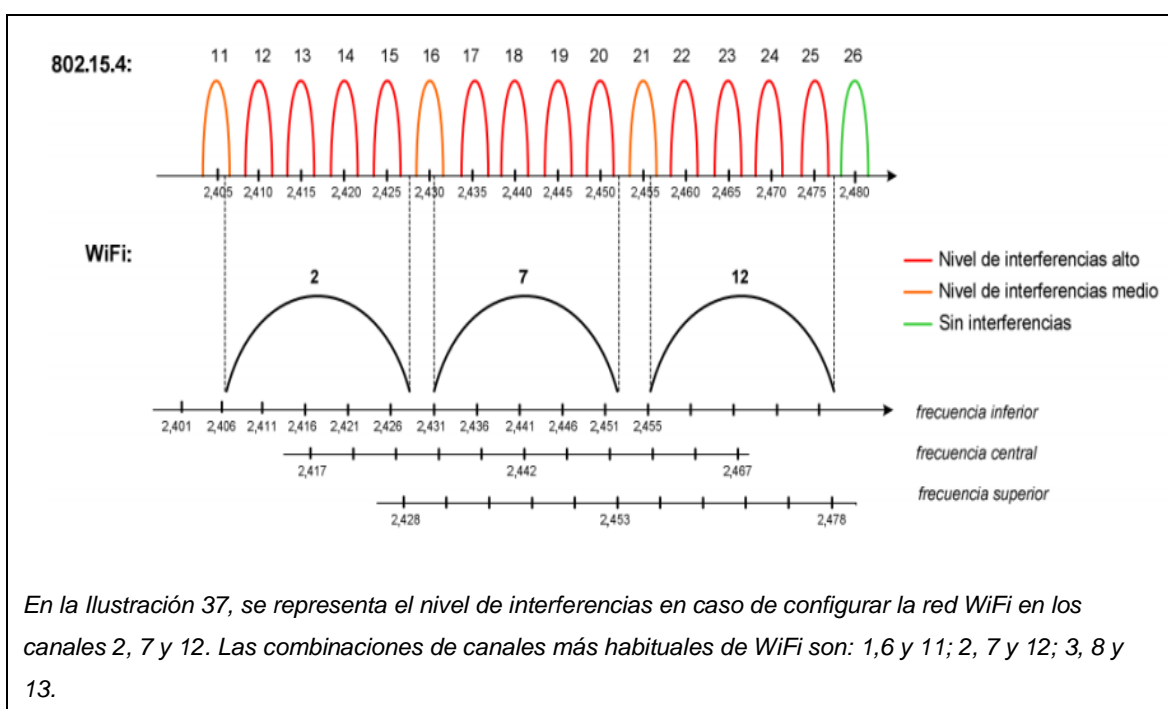
$$F_c = 868,3 \text{ MHz}, \quad \text{para } k = 0$$

$$F_c = 906 + 2 * (k - 1) \text{ MHz}, \quad \text{para } k = 1, 2, \dots, 10$$

$$F_c = 2405 + 5 * (k - 11) \text{ MHz}, \quad \text{para } k = 11, 12, \dots, 26$$

La K representa número del canal.

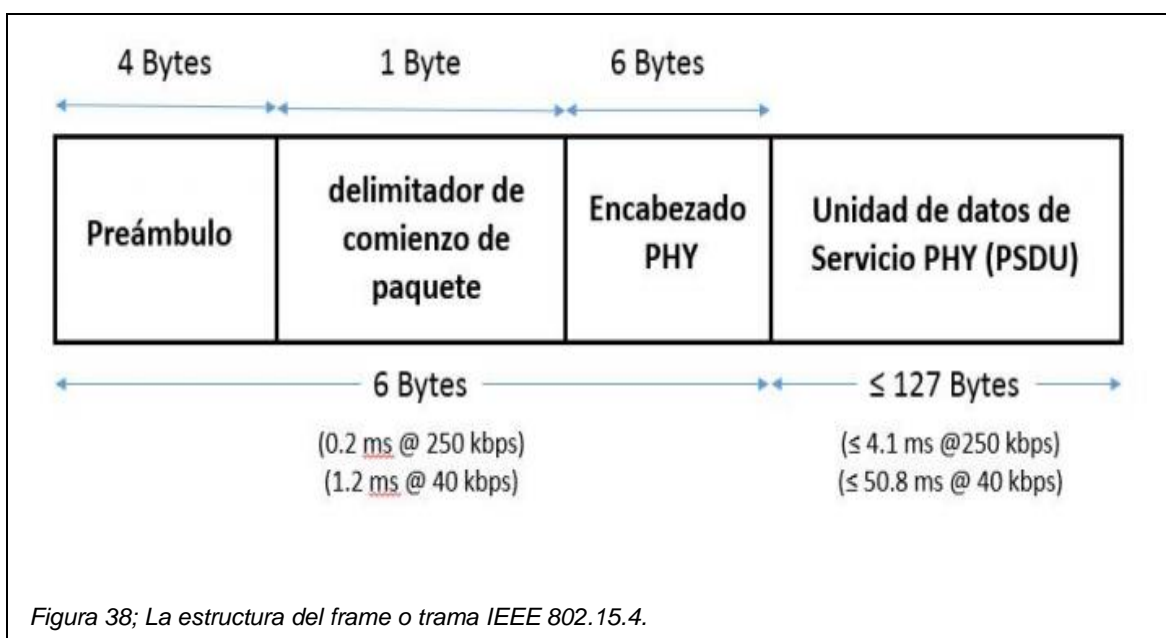
Sobre la frecuencia y la distribución de los canales debe hacerse una mención especial para una situación de coexistencia de redes IEEE.15.4 y WiFi. Ambos estándares comparten parte del espectro y la elección de los canales debe hacerse adecuadamente para minimizar las interferencias. En el caso de WiFi, se definen 14 canales disponibles en la banda de 2,4GHz. Los canales distan 5MHz entre sí, pero la señal WiFi tiene un ancho de banda de 22MHz, por lo que sólo pueden emplearse canales que disten un mínimo de 22MHz para evitar el solapamiento.



La capa MAC incluye funciones de búsqueda que sigue paso a paso a través de una lista de canales permitidos en busca de una señal de guía, mientras que la PHY contiene varias funciones de bajo nivel, tales como la detección de los niveles de energía recibidos, indicadores de calidad en el enlace así como de conmutación de canales, lo que permite asignación de canales y agilidad en la selección de frecuencias. Esas funciones son utilizadas por la red para establecer su canal inicial de operación y para cambiar canales en respuesta a una pausa muy prolongada.

4.5.4 Trama o Frame.

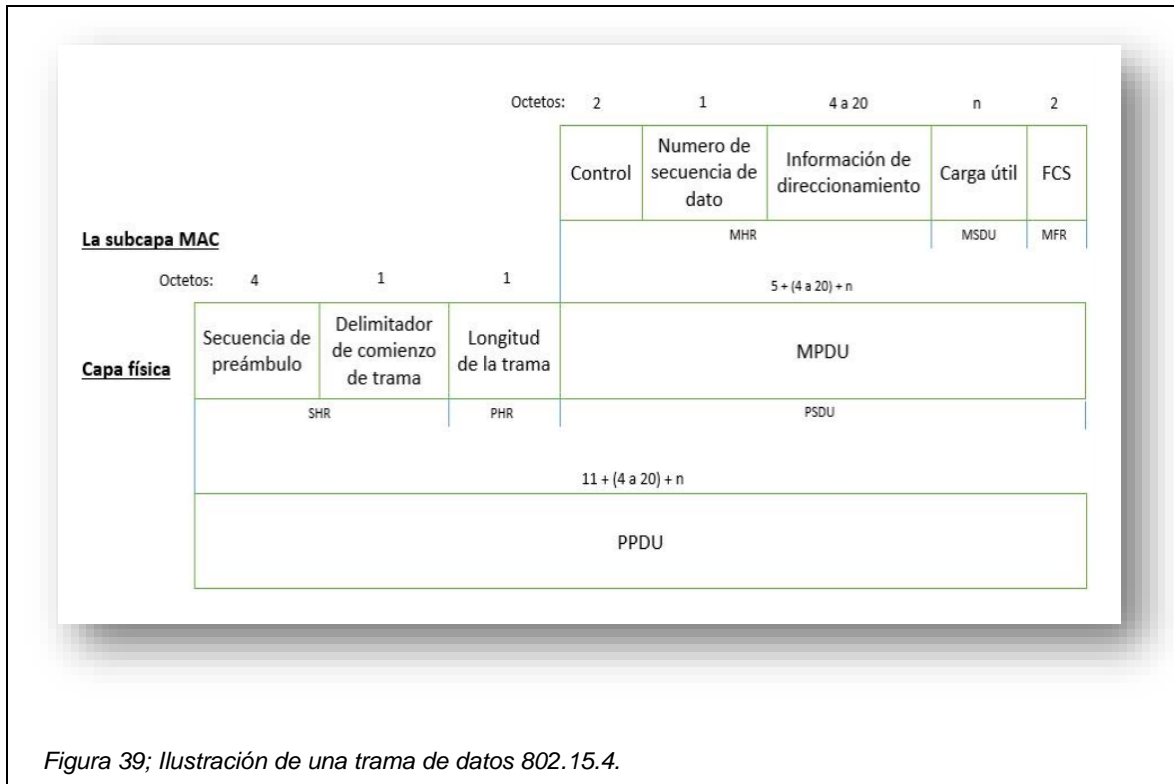
La estructura del frame IEEE 802.15.4, ilustrada en la fig. 38, comprende los siguientes campos: 1. Preámbulo: 32 bits que se utilizan para sincronización de símbolos 2. Delimitador: 8 bits que se utilizan para sincronizar la recepción de la trama de red. 3. Cabecera: 8 bits que especifican la longitud de la unidad de datos (PSDU, PHY Service Data Unit) 4. Datos: hasta 127 bytes de datos.



El direccionamiento en el estándar 802.15.4 es de 16 bits, por eso el número máximo teórico de elementos que puede haber en una red 802.15.4 es de

65535, que es el número máximo de direcciones de red que se pueden asignar. El protocolo también permite direccionamientos de modo extendido de 64 bits.

La fig. 39 ilustra una trama de datos 802.15.4.



La topología de una red 802.15.4 puede ser de estrella, árbol o también tipo malla, como se muestra en la figura 40.

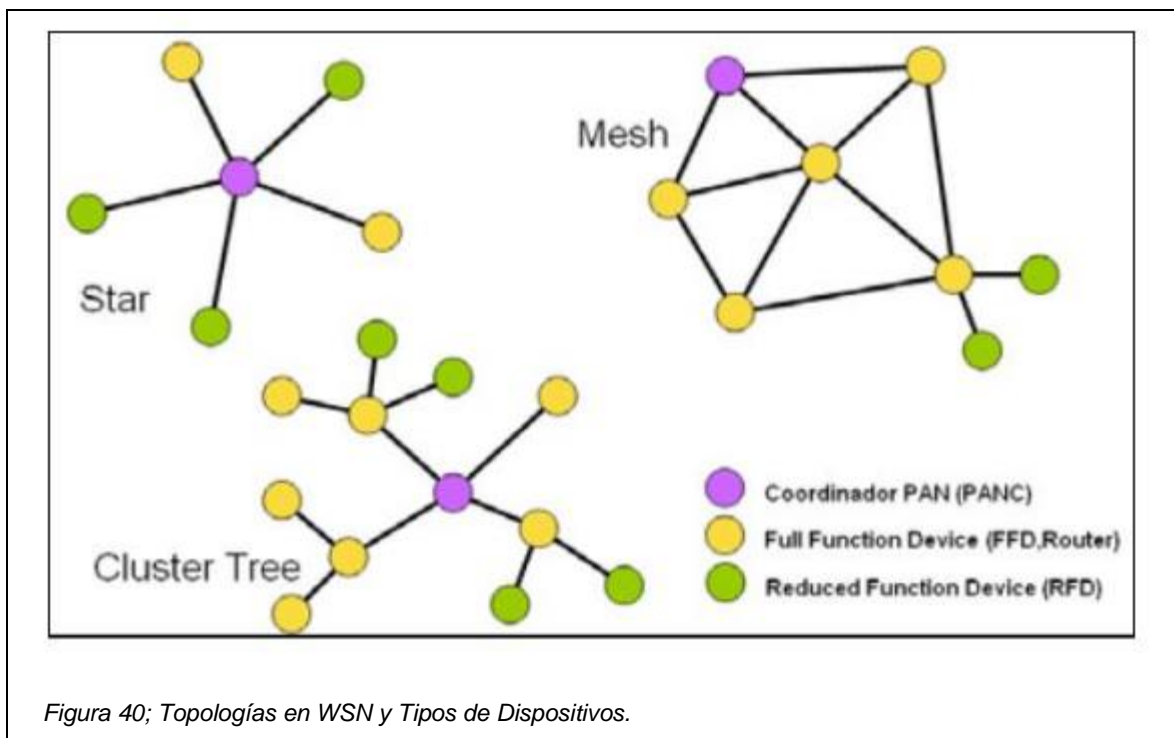
4.5.5 Topología y tipo de nodos.

Las comunicaciones entre los nodos, dependiendo de la configuración, pueden ser punto a punto, punto a multipunto o peer-to-peer (P2P).

El estándar define dos tipos de nodos en la red, nodos de funcionalidad completa (**full function device, FFD**) y nodos de funcionalidad reducida (**reduced-function devices, RFD**).

Los dispositivos FFD tienen mayores recursos con respecto a los **RFDs** y pueden ser implementados como nodos con capacidad de encaminar mensajes en la red, en cuyo caso se les denomina coordinadores de una red de área personal (PAN) o como nodos normales (**CFFD**).

Contrapuestos a los **FFDs**, los **RFDs** son dispositivos de implementación sencilla con recursos limitados y solo pueden comunicarse con los coordinadores. Además, estos dispositivos nunca pueden implementarse como coordinadores en la red.



4.5.6 Existen tres modelos de transferencia de datos:

- El primero es la transferencia de datos desde un dispositivo a un coordinador.
- El segundo es la transferencia de datos desde un coordinador, el dispositivo de red es el que recibe los datos.

- El tercer modelo es la transferencia de datos entre 2 dispositivos iguales (peer to peer). En la topología estrella solo dos de esas transacciones son usadas, porque los datos solo pueden ser intercambiados entre el coordinador y un dispositivo.

En la topología igual a igual los datos pueden ser intercambiados entre dos dispositivos de la red, en consecuencia las tres transacciones pueden ser usadas en esta topología.

4.5.7 Transferencia de datos a un coordinador.

Cuando un dispositivo desea transferir datos a un coordinador en una red que tiene habilitado la transmisión de beacons (balizas), este primero espera el beacon de red. Cuando el beacon es encontrado, el dispositivo se sincroniza con la estructura de la supertramas. En el momento adecuado, el dispositivo transmite la trama de datos usando CSMA-CA, al coordinador. El coordinador notifica la recepción exitosa de los datos, transmitiendo una trama de confirmación. De esta manera se completa la transmisión.

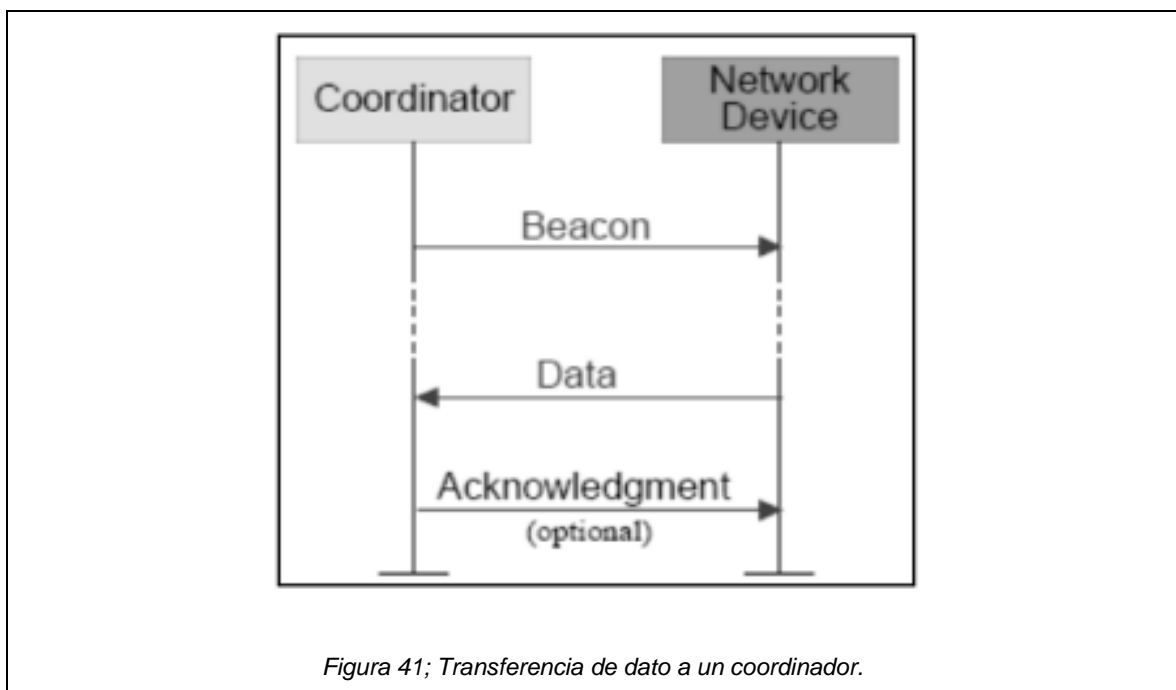


Figura 41; Transferencia de dato a un coordinador.

Cuando un dispositivo quiere transferir datos en una red sin habilitación de beacon, simplemente transmite su trama de datos usando **CSMA-CA** al coordinador. El coordinador notifica la recepción exitosa de los datos, transmitiendo una trama de confirmación, de esta manera se completa la transmisión.

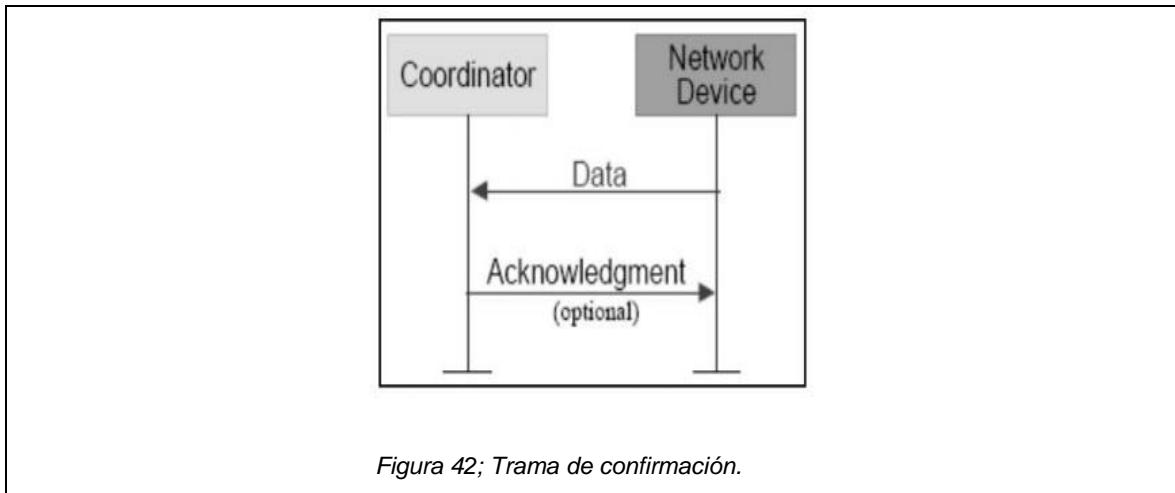
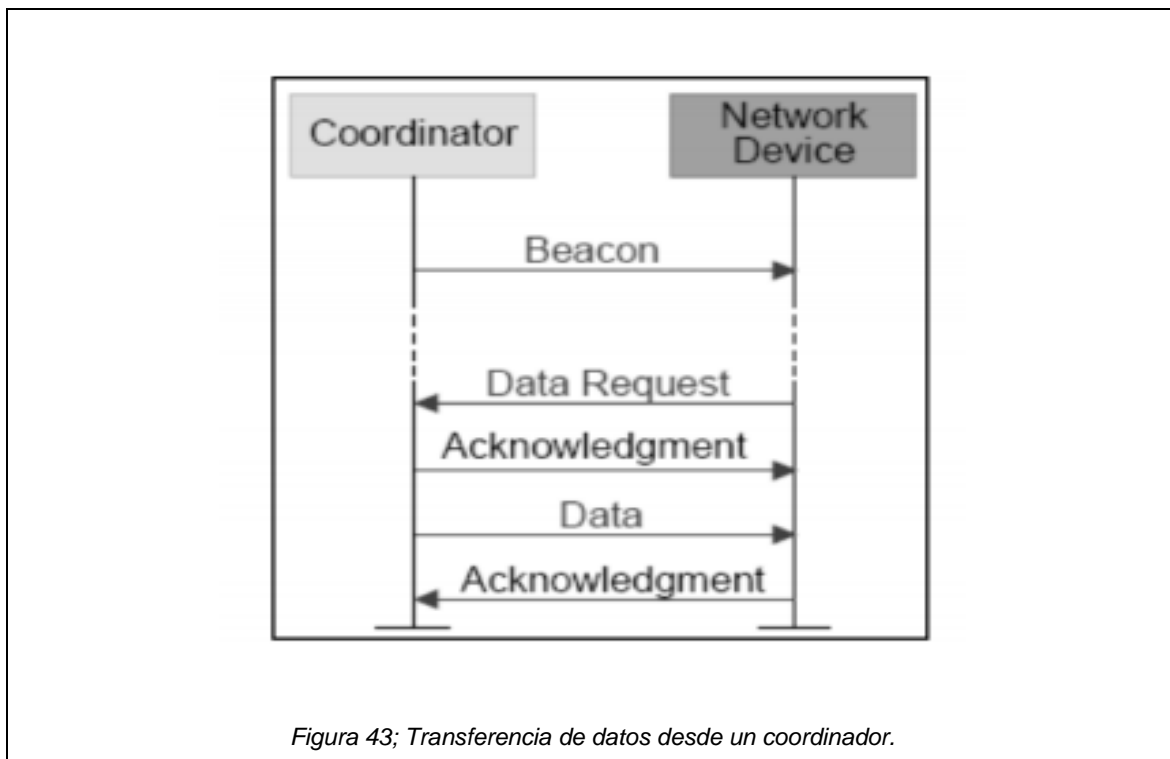


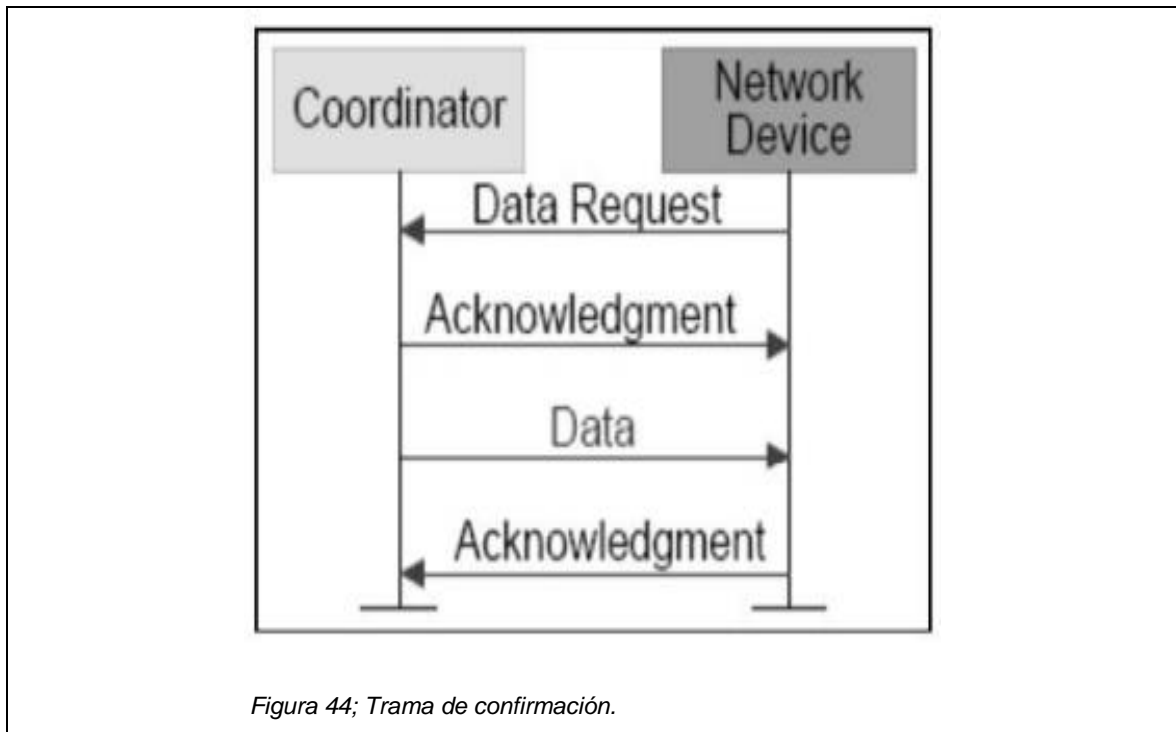
Figura 42; Trama de confirmación.

4.5.8 Transferencia de datos desde un coordinador.

Cuando el coordinador desea transferir datos a un dispositivo en una red con habilitación de beacons, este indica en el beacon de red que el mensaje de datos está pendiente. El dispositivo periódicamente espera el beacon de red y si un mensaje está pendiente, transmite un comando MAC pidiendo datos, usando CSMA-CA. El coordinador confirma la recepción exitosa del pedido de datos transmitiendo una trama opcional de confirmación. La trama pendiente de datos es enviada luego usando CSMA-CA. El dispositivo confirma la recepción exitosa de los datos, transmitiendo una trama de confirmación. La transacción se completa. Una vez que la confirmación es recibida, el mensaje es removido de la lista de mensajes pendientes en el beacon.



Cuando un coordinador desea transferir datos a un dispositivo en una red sin beacons este guarda los datos para el dispositivo apropiado para hacer contacto y pedir información. Un dispositivo puede hacer contacto transmitiendo un comando MAC pidiendo datos, usando CSMA-CA. El coordinador confirma la recepción exitosa del requerimiento de datos transmitiendo una trama de confirmación. Si hay datos pendientes, el coordinador transmite la trama de datos, usando CSMA-CA, al dispositivo. Si no hay datos pendientes, el coordinador transmite una trama de datos de longitud cero, para indicar que no hay datos pendientes. El dispositivo confirma la recepción exitosa de los datos transmitiendo una trama de confirmación. La transacción se completa.



El método de acceso al canal es el CSMA/CA (del inglés Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) o, en español, acceso múltiple con escucha de portadora y evasión de colisiones y permite que múltiples estaciones utilicen el mismo medio de transmisión.

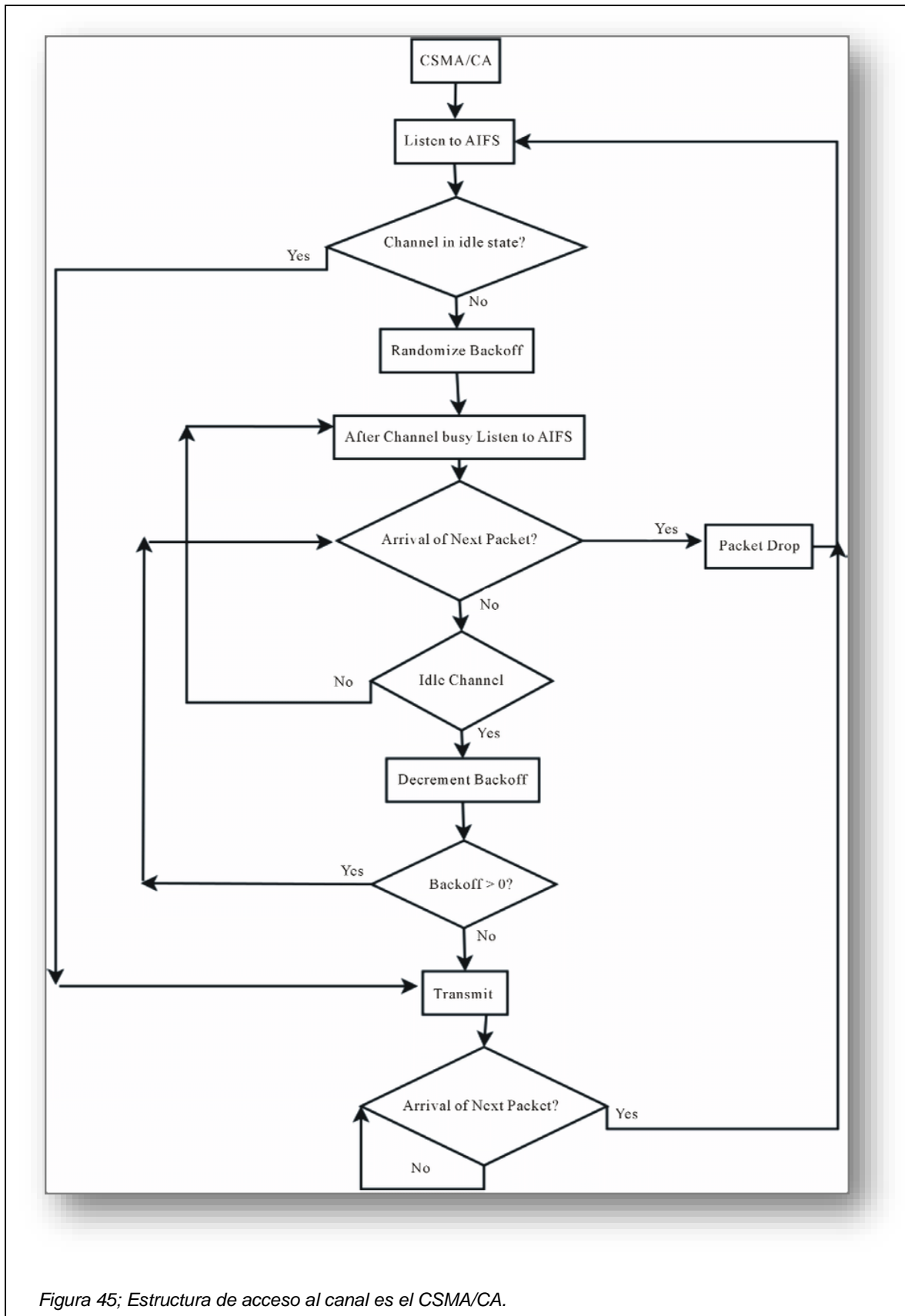


Figura 45; Estructura de acceso al canal es el CSMA/CA.

4.6 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

En esencia, el proceso de encaminamiento se define como el acto de transmisión de información desde una fuente u origen hasta un destino, esto es, extremo a extremo. El encaminamiento se asimila como el proceso de selección de caminos desde un origen hasta un destino dentro de una red (Fernández dos Santos Xaud, A., Dallora Moraes, A. L, Fernández dos Santos Xaud, M. 2007).

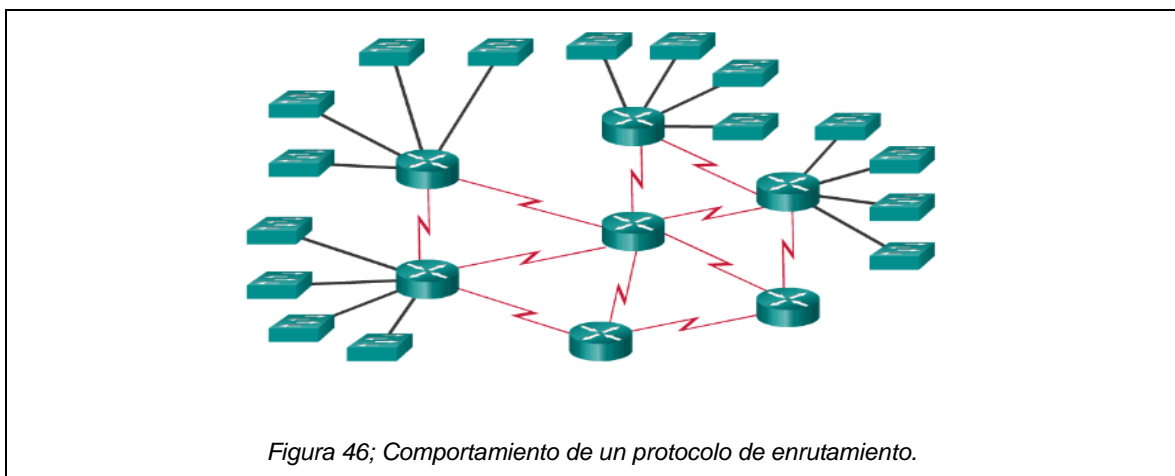
Un protocolo de encaminamiento para redes WSN permite que la red se organice completamente por sí sola, y su objetivo principal es el establecimiento correcto y eficiente de rutas entre un par de nodos, de tal modo que los mensajes sean entregados de manera fiable y a tiempo. La construcción de rutas debe producirse con una mínima sobrecarga en las cabeceras de los paquetes de control y un mínimo consumo de ancho de banda. Las consideraciones que han de tenerse en cuenta en el diseño y estudio de los nuevos protocolos de encaminamiento incluyen (Valdivia Arredondo 2014):

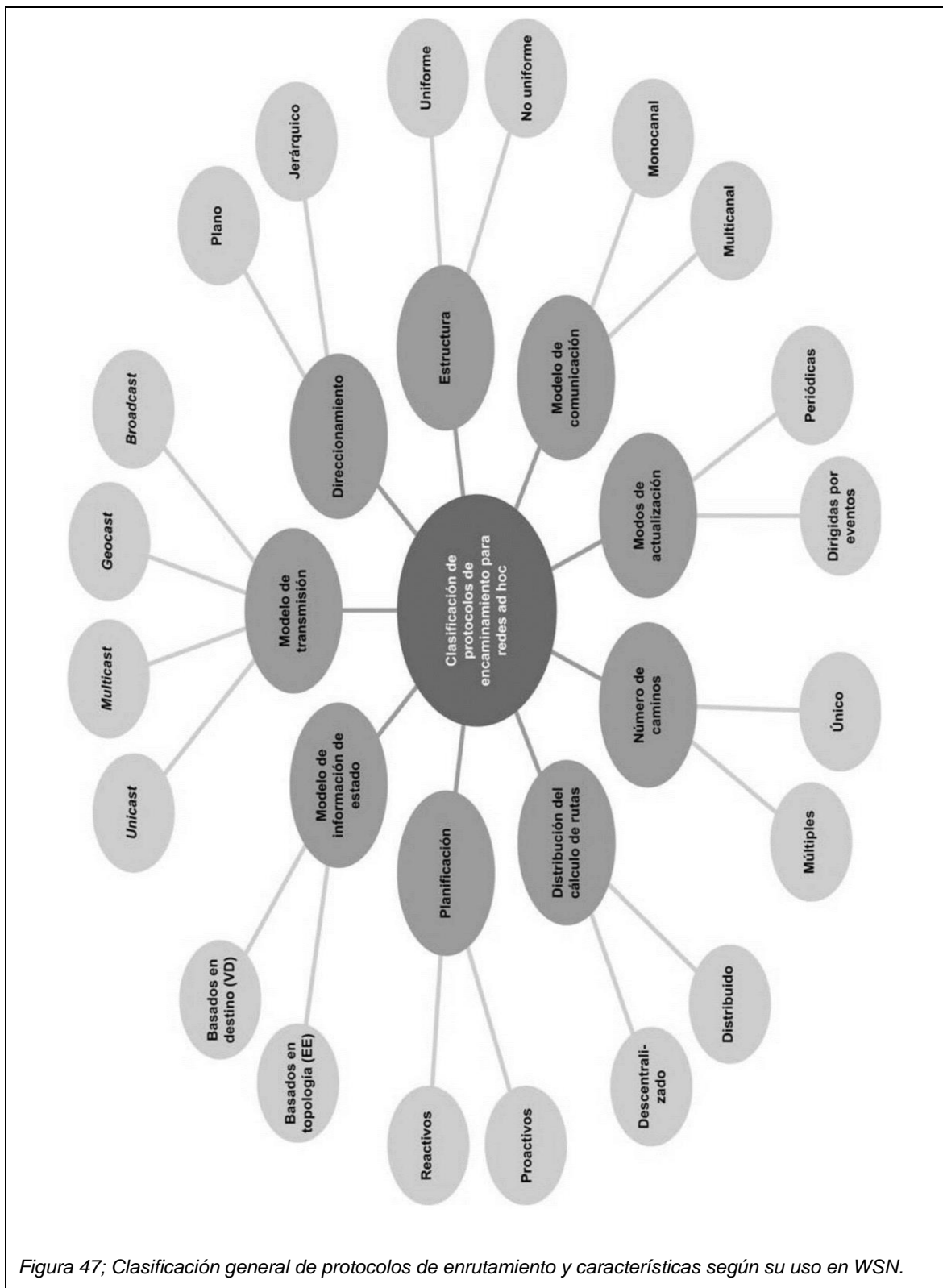
- Simplicidad y facilidad de implementación.
- Convergencia (Capacidad de recuperación ante los fallos de enlace) rápida de rutas, libres de bucles y óptimas. Incluso, puede que sea posible establecer diferentes rutas entre el mismo par de nodos origen y destino, para aumentar la robustez.
- Naturaleza distribuida y ligera, de tal forma que, ante cambios en la topología y en los patrones de trabajo, la reacción del protocolo implique una mínima sobrecarga de cabeceras.
- Eficiencia en términos de ancho de banda, potencia de transmisión y computación, con una sobrecarga de cabeceras mínima.
- Escalabilidad, de tal forma que si la red aumenta significativamente en número de nodos, no se degraden las prestaciones.
- Seguridad a nivel de confidencialidad, control de acceso y denegación de ataques de servicio producidos por nodos maliciosos.

- Capacidad de soportar requerimientos de calidad de servicio (QoS, Quality of Service). La garantía de calidad de servicio es esencial para la entrega a tiempo de tráfico multimedia.

4.6.1 Clasificación de los protocolos de encaminamiento para redes WSN.

Se han propuesto numerosos protocolos de encaminamiento con la finalidad de cubrir las diferentes necesidades en función de los distintos entornos y condiciones de tráfico. La gran variedad de protocolos existentes hace que existan diversos criterios para su clasificación, que a su vez reflejan los aspectos más importantes considerados para su diseño. Las fuentes consultadas proponen diferentes catalogaciones que en muchos casos son incompletas, ya que no contemplan todos los criterios existentes. Es por esto por lo que se ha considerado oportuno realizar un estudio detallado de los protocolos que más frecuentemente aparecen en esta literatura para confeccionar una nueva clasificación que incorpore todos los criterios mencionados. Para complementar todo ello, se ha elaborado una gráfica que, a modo de resumen, ilustra esta renovada catalogación y que se muestra en la figura 46. Las siguientes páginas desgranar esta figura, describiendo las características estudiadas para esta nueva clasificación.





a. Planificación.

El criterio de planificación supone la clasificación más ampliamente empleada en la literatura y atiende al momento en el que se calcula la ruta desde un nodo origen hasta un nodo destino. Mientras que en los protocolos proactivos se conserva la información actualizada en todo momento, en los reactivos se busca la ruta hacia el destino solo cuando surge la necesidad de establecer una comunicación

- **Protocolos de encaminamiento proactivos:** Mantienen información consistente y actualizada desde cada nodo hacia todos los demás, propagando proactivamente actualizaciones de rutas. Puesto que la información de encaminamiento se suele mantener en tablas, es común referirse a estos protocolos como protocolos dirigidos por tabla (table-driven routing protocols). Se diferencian entre ellos en el número de tablas necesarias y en los métodos utilizados para difundir los cambios de la red.
- **Protocolos de encaminamiento reactivos:** Establecen una ruta hacia el destino solamente cuando se precisa, generalmente iniciada por el nodo origen a través de un procedimiento de descubrimiento de rutas. Una vez que se ha establecido la ruta, el nodo se ocupa de mantenerla hasta que ya no se necesita o caduca. También se conocen como protocolos de encaminamiento iniciados en origen bajo demanda (source-initiated demand driven).

b. Modelo de información de estado.

Al igual que ocurre en los protocolos de encaminamiento de las redes cableadas tradicionales, los protocolos pueden clasificarse atendiendo a cuál es la información mantenida en cada nodo y cuáles son los destinatarios de esa

información, distinguiendo entre la familia de estado de enlaces y la familia de vector de distancias.

- **Basados en topología o de estado de enlaces (EE):** La información de encaminamiento se transmite en forma de paquetes de estado de enlaces (LSP, Link State Packet). Los paquetes que envía cada nodo incluyen información acerca de sus nodos vecinos y cualquier cambio en alguno de sus enlaces provoca inmediatamente la inundación de la red. Cada nodo es así capaz de reconstruir y mantener un mapa de la topología global de la red a través de los LSP que recibe, pudiendo calcular por sí mismo las rutas hacia cualquier otro nodo. El principal inconveniente es que se puede producir sobrecarga si la naturaleza de la red es altamente dinámica. Un caso particular son los protocolos basados en asociatividad de estado de enlaces, en los que los nodos mantienen información sobre el nivel de señal recibida en periodos espacio-temporales. Otra modalidad consiste en mantener información de estado de enlaces nivel de enlace, intercambiando información de bajo nivel.
- **Basados en destino o de vector de distancias (VD):** Cada nodo mantiene una estructura de datos a modo de array (del mismo tipo) denominada vector de distancias en la que se incluye cierta información. Los campos que como mínimo deben aparecer en este vector son la tripleta formada por la dirección IP del nodo destino, la dirección IP del siguiente salto y la distancia más corta para alcanzarlo. Cada componente de la red intercambia periódicamente sus vectores de distancias con sus nodos vecinos. Cuando un nodo recibe los vectores de distancias de los nodos que le rodean, calcula de nuevo las rutas y actualiza su propio vector de distancias. La principal desventaja es la lenta convergencia y la tendencia a crear bucles. Un caso particular son los protocolos basados en inversión de enlaces (IE), en los que cuando se detecta un fallo en un enlace, es el nodo afectado el que se encarga de encontrar una ruta hacia el origen.

c. Modelo de transmisión.

El modelo de transmisión atiende que destinatarios deben recibir los paquetes. Cabe pensar que en un canal inalámbrico, todos los nodos dentro del rango de cobertura del nodo origen recibirán los paquetes, estableciendo un modelo de comunicación Broadcast. No obstante, se pueden establecer otros mecanismos para restringir el grupo de destinatarios. De hecho, el modelo de comunicación más ampliamente extendido para la transmisión de mensajes de control es el método Unicast.

- **Unicast:** Se refiere a la comunicación uno a uno, es decir, de un nodo origen a un único nodo destino. La mayor parte de los protocolos de encaminamiento para redes se ubica dentro de esta categoría, ya que se trata del modo de operación normal en cualquier red.
- **Multicast:** Este modelo de comunicación se emplea cuando un nodo necesita enviar información idéntica a varios destinos. Un nodo puede incorporarse o disgregarse de un grupo multicast cuando lo desee, pero en contrapartida, los nodos deben mantener información adicional sobre los nodos que se adhieren o abandonan su grupo multicast. En este tipo de protocolos, se suele emplear la técnica de envío por inundación (flooding), por la que cuando un nodo recibe un paquete por un interfaz, lo reenvía por todos los interfaces salvo por el que le llegó.
- **Geocast:** Se trata de un caso particular de envío multicast que se utiliza para entregar paquetes a un grupo de nodos situados dentro de un área geográfica específica. Un nodo puede adherirse o abandonar un grupo Geocast simplemente entrando o saliendo de esa área geográfica. Este tipo de protocolos facilita el procedimiento de descubrimiento de rutas al proporcionar información sobre la localización física de los nodos.
- **Broadcast:** Se trata del modo de operación básico en un canal inalámbrico, ya que cada mensaje emitido por un nodo en un canal inalámbrico es recibido por todos sus vecinos. Sin embargo, solo algunos

protocolos implementan este tipo de modelo de transmisión y siempre a modo de apoyo. Emplear exclusivamente el modo de transmisión broadcast no es prudente, ya que se consume un ancho de banda excesivo y en muchas ocasiones de forma innecesaria.

d. Direccionamiento.

El direccionamiento hace alusión a la organización de la red en niveles jerárquicos lógicos, según todos los nodos estén al mismo nivel, dando lugar a un direccionamiento plano o no lo estén, originando un direccionamiento estratificado o jerárquico

- **Plano:** No existe jerarquía en la red, todos los nodos están al mismo nivel. Si un nodo falla, no afecta a todos los demás.
- **Jerárquico:** Existen nodos de niveles superiores y nodos de niveles inferiores. Los primeros pueden clasificarse en nodos clusterhead, que gestionan la comunicación dentro de un cluster o agrupación, y nodos pasarela o Gateway-Node, responsables de la comunicación entre agrupaciones. Los nodos de niveles superiores devienen en un punto único de fallo, ya que si uno de estos nodos falla, perjudica todos sus nodos subordinados.

e. Estructura.

La estructura de la de la red está relacionada con la uniformidad de los roles que desempeñan los nodos que la integran. Mientras que unos protocolos tratan a todos los nodos de igual modo, estructurándolos uniformemente, otros hacen distinciones entre diferentes nodos de la red, estableciendo una estructura no uniforme

- **Uniforme:** Todos los nodos cumplen idénticas funciones, enviando mensajes de control y respondiendo a los mismos de igual modo.
- **No uniforme:** Algunos nodos ejercen papeles específicos en cuanto al tratamiento de la información de encaminamiento. Dentro de los protocolos no uniformes, se puede distinguir entre los que hacen uso del método de selección de vecinos, si los nodos centran su actividad de encaminamiento solo en algunos de sus vecinos; y los que emplean el método de particionamiento, por el que la red se divide lógicamente en subredes.

f. Modelo de comunicación.

Dependiendo del uso del espectro, los protocolos de encaminamiento en redes se pueden catalogar según la tecnología de acceso al medio empleada y a los mecanismos para compartir dicho medio de transmisión. Se trata de una clasificación que atiende a características de nivel de enlace, distinguiendo entre modelos de comunicación multicanal y monocanal.

- **Multicanal:** Son protocolos de bajo nivel que, además de funcionalidad de encaminamiento, incorporan mecanismos para la asignación de canal. Se suelen emplear en redes basadas en las técnicas de reparto del canal de acceso Múltiple por división de tiempo (TDMA, Time Division Multiple Access) y de acceso Múltiple por división de código (CDMA, Code Division Multiple Access).
- **Monocanal:** La mayoría de los protocolos asumen que los nodos se comunican sobre un único canal lógico inalámbrico y comúnmente emplean la técnica de acceso Multiple por detección de portadora con evasión de colisiones (CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Access, Collision Avoidance).

g. Modos de actualización.

La información de encaminamiento necesita diseminarse por la red para asegurar que la información sobre el estado del canal y la topología de la red se mantiene actualizada en los nodos. Según cuando se difunde esta información, se puede distinguir entre protocolos que envían actualizaciones periódicamente, protocolos que activan las actualizaciones cuando se produce un evento, y protocolos que emplean una mezcla de ambas técnicas.

- **Actualizaciones periódicas:** Los nodos distribuyen la información de encaminamiento cada cierto periodo fijo de tiempo. Las actualizaciones periódicas simplifican los protocolos y sobre todo facilitan que los nuevos nodos que se adhieren a la red aprendan la topología y el estado de la misma. Sin embargo, si el periodo entre actualizaciones es demasiado alto, la información no siempre será válida, ya que los cambios en la red no serán detectados inmediatamente. Por el contrario, si el periodo es excesivamente pequeño, se enviara un número de mensajes considerable, consumiendo un ancho de banda excesivo.
- **Actualizaciones dirigidas por eventos:** Cuando un nodo detecta un evento, tal como el fallo de un enlace o la aparición de un nuevo enlace, envía un paquete de actualización en modo broadcast para difundir el nuevo estado de la red. En contrapartida, si la naturaleza de la red es altamente dinámica, se deberán enviar abundantes paquetes de actualización, degradando la red. Ocasionalmente, puede incluso desencadenar la fluctuación de rutas.
- **Actualizaciones híbridas:** Algunos protocolos hacen un uso conjunto de las dos técnicas anteriores, creando un mecanismo denominado actualización híbrida. Por ejemplo, en un protocolo con modelo de información de estado basado en destino, un nodo puede difundir su vector de distancias periódicamente y si descubre que un enlace ha fallado, distribuir un mensaje de manera inmediata.

h. Numero de caminos buscados.

La mayoría de los protocolos de encaminamiento para redes se limitan a buscar una única ruta desde un nodo origen hasta un nodo destino, pero otros descubren varios caminos hacia el mismo nodo destino, de tal forma que el nodo origen, atendiendo a diferentes criterios, puede elegir el que considere más oportuno.

- **Único camino:** Los protocolos que hallan una sola ruta permiten un ahorro en el almacenamiento de la información y la simplificación del algoritmo de búsqueda.
- **Múltiples caminos:** Los protocolos de encaminamiento que buscan múltiples rutas son más robustos y confiables, ya que cuentan a su favor con una rápida recuperación ante fallos de enlaces. Además, el encaminamiento con rutas múltiples ocasiona un mayor rendimiento, puesto que el nodo origen, al disponer de varias rutas hacia el destino, puede realizar reparto de carga.

4.7 BANDA ISM (INDUSTRIAL, SCIENTIFIC AND MEDICAL)

Esta banda de frecuencia hace mención al espectro de frecuencia, el cual no requiere de una licencia por parte de los entes reguladores de telecomunicaciones, es decir que son de libre transmisión. A continuación se podrá ver el espectro electromagnético.

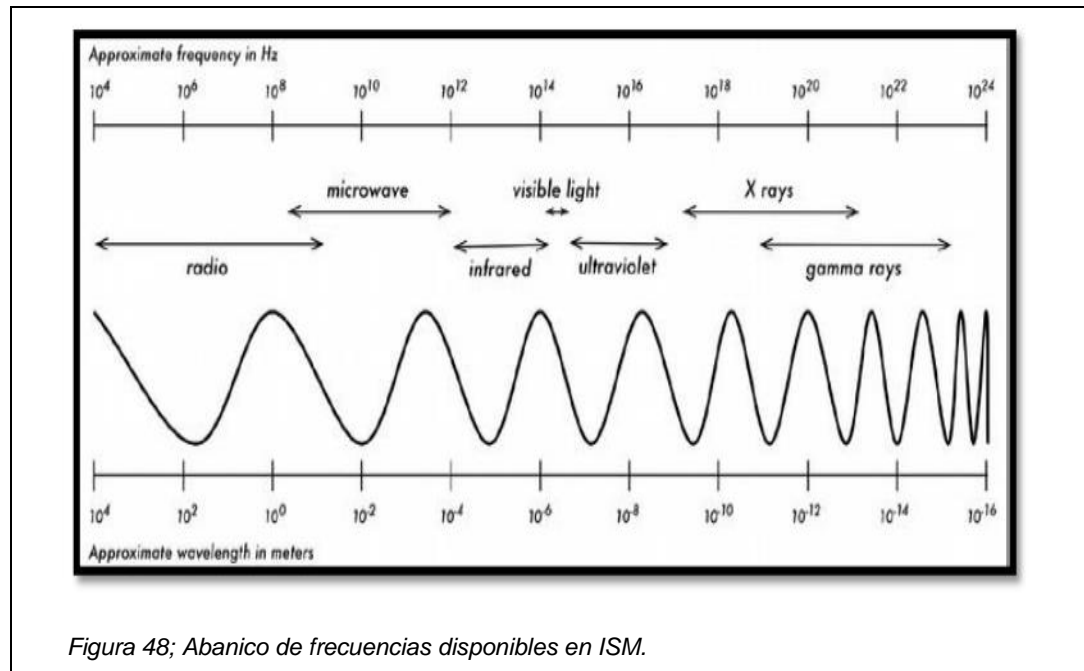
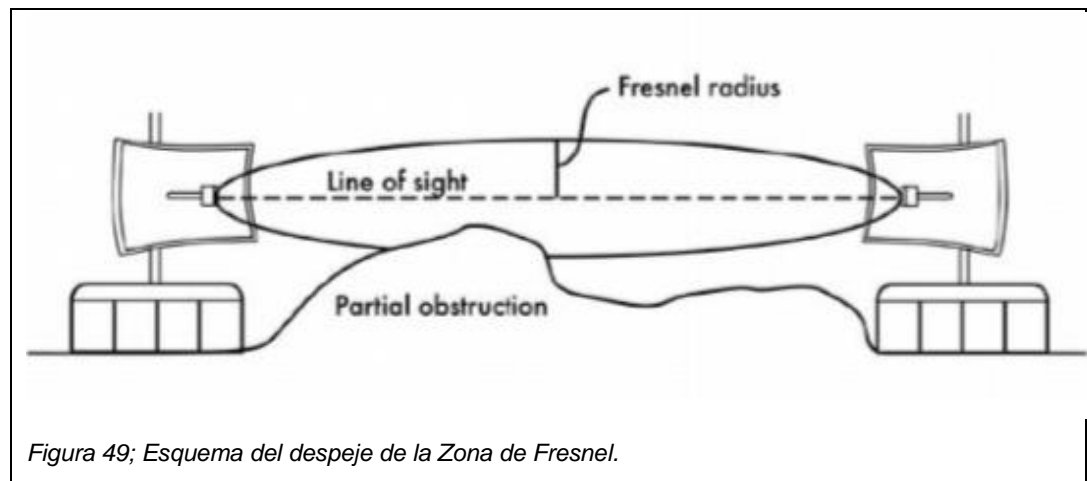


Figura 48; Abanico de frecuencias disponibles en ISM.

4.8 ZONA DE FRESNEL

La zona de Fresnel es el radio mínimo que se debe de tener en una comunicación punto a punto con LOS (línea de vista), se busca este radio con el objetivo de que la comunicación que se desea obtener no se atenué debido a las ondas reflejadas en objetos cercanos a la comunicación directa.



El cálculo de zona de Fresnel: En la práctica no es necesario que la zona se encuentre totalmente despejada bastará con tener un 60% del radio de la primera zona (cita).

$$r = 17.31 \sqrt{\left(\frac{(d_1 * d_2)}{(f * d)} \right)}$$

- Dónde:
- r = radio de la primera zona en metros.
- d_1 = distancia desde el transmisor al centro del elipsoide en metros.
- d_2 = distancia desde el centro del elipsoide al receptor en metros.
- D = Distancia total del enlace en metros.
- F = Frecuencia en MHz.

También se puede calcular la Zona de Fresnel por medio de la longitud de onda de esta forma queda:

$$r = \sqrt{\left(\frac{\lambda * d_1 * d_2}{d}\right)}$$

Dónde:

- r = radio de la primera zona en metros.
- d_1 = distancia desde el transmisor al centro del elipsoide en metros.
- d_2 = distancia desde el centro del elipsoide al receptor en metros.
- L = Longitud de onda de la señal transmitida en metros.
- d = Distancia total del enlace en metros.

V ESTADO DEL ARTE / BENCHMARK / COMPARACIÓN ENTRE TECNOLOGÍAS

5.1 Bseed WATCH

(<http://www.pyro.es/bseed-watch/>).

Es una tecnología de prevención y autoprotección frente a incendios forestales, creada por la empresa española Pyro Fire Extinction. Compuesto por una red de sensores y una plataforma on-line que recoge, almacena y muestra información en tiempo real. Cada sensor es totalmente independiente, capaz de medir, analizar y enviar de forma autónoma información y alertas.

Bseed WATCH captura variables climatológicas cada pocos segundos y aplica algoritmos de detección del fuego, sin falsa alarma, al realizar mediciones directas sobre el terreno. Esta información se almacena en la nube y es accesible en cualquier momento para analizar, por ejemplo, el estrés hídrico de la vegetación o la disponibilidad del combustible

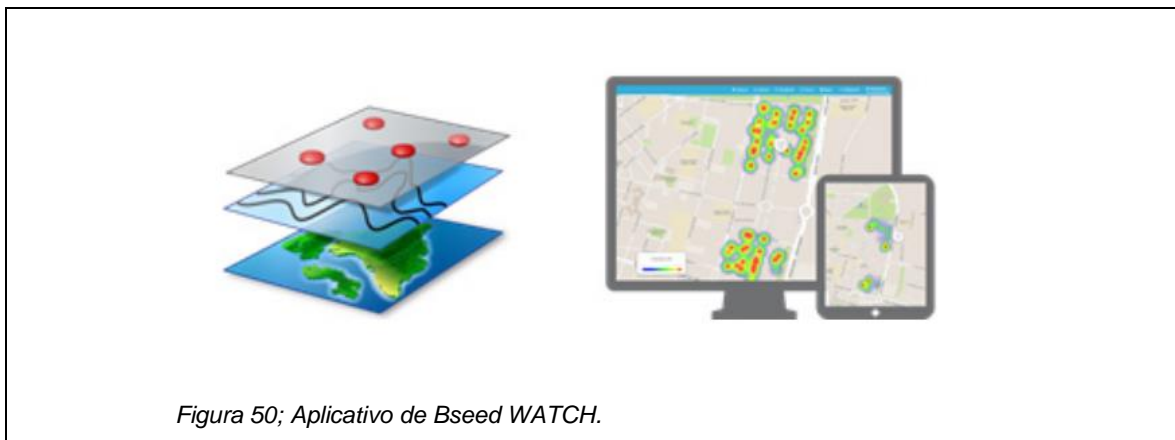
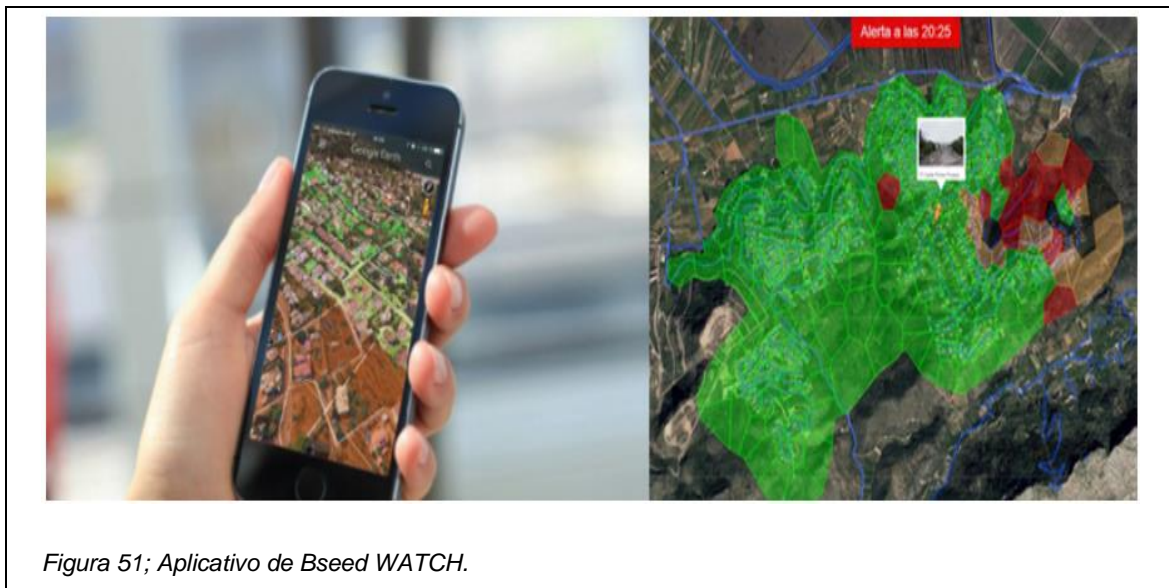


Figura 50; Aplicativo de Bseed WATCH.

En caso de incendio, Bseed WATCH envía automáticamente una alerta SMS a la población y a los profesionales, indicando el momento y la zona exacta de la detección.

Durante el incendio, la plataforma muestra en tiempo real el tamaño, la evolución y dirección del fuego ofreciendo información de alto valor que permite anticiparse al movimiento del incendio.



Bseed WATCH genera rutas de acceso en el mismo mapa del incendio, facilitando a los profesionales su rápida llegada y la capacidad de orientarse de forma autónoma.

Todos los datos meteorológicos recogidos por la red están disponibles para que los profesionales puedan conocer el estado de la vegetación, condiciones actuales y así prever la evolución del fuego en las próximas horas.

Bseed WATCH genera en tiempo real mapas locales del riesgo por incendio, que permite tomar medidas preventivas que pueden ser notificadas a la población desde la propia web, sms o email.

Bseed WATCH genera automáticamente archivos compatibles con herramientas GIS, integrándose fácilmente con otras capas de información geográfica. Esto es clave a la hora de unificar toda la información en un mismo entorno que facilite el proceso de toma de decisiones.

5.1.1 Especificaciones técnicas:

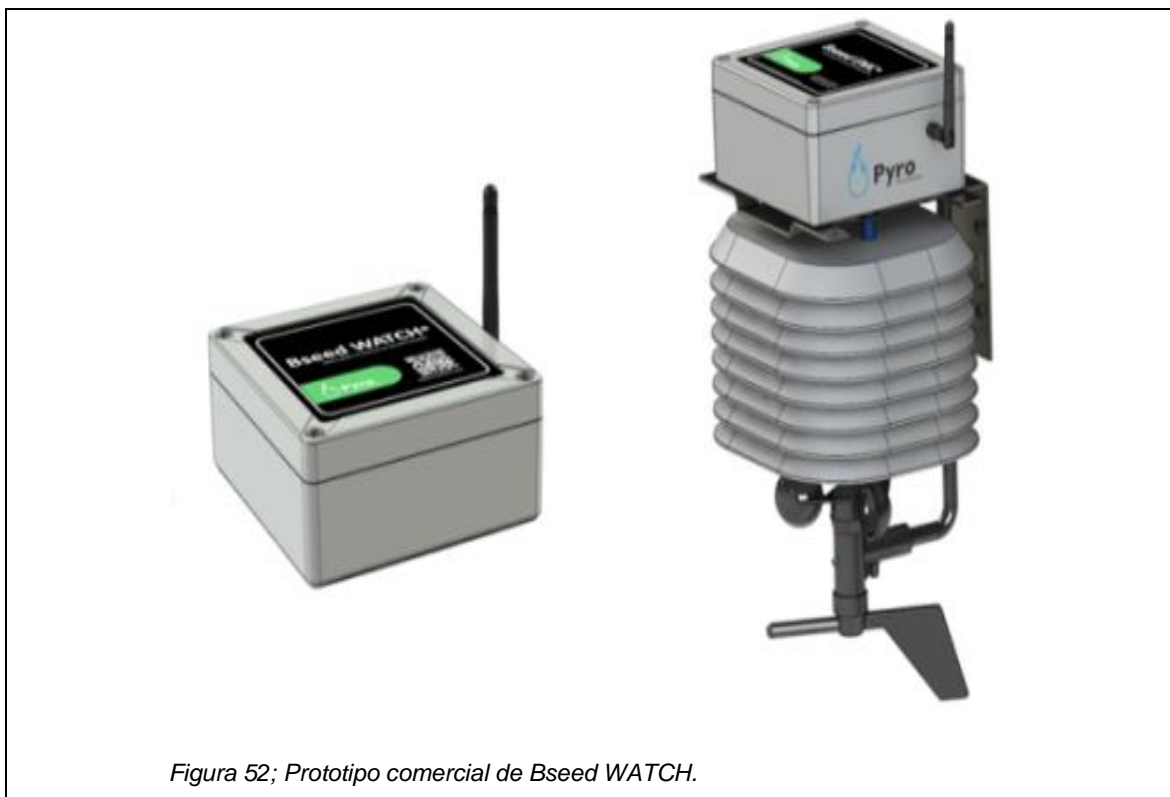
- Plug&Play - inalámbrico (sin Gateway).
- Banda de comunicación 868 MHz.
- Sensores independientes entre ellos.
- Frecuencia de muestreo (< 5seg).
- Bajo consumo (> 4 años - 8 años).
- Mínimo mantenimiento.
- Instalaciones de alta densidad (↓E, ↓€).

Adquisición de datos:

- T, HR%, CO, CO2, Viento (Km/h, NE).

Plataforma *Bseed WATCH*:

- Acceso web, conexión con GIS, BBDD.



5.1.2 Ventajas:

- Fácil instalación.
- Versatilidad de utilización, integración de distintas tecnologías. Por ej.; SIG.
- Manejo de conocimiento espacial y rápida detección.
- Integración de sensores y conocimiento del viento.
- Acceso a internet o la nube.

5.1.3 Desventajas:

- Limitación de conexión. (salida a internet, limitado por cobertura celular).
- Desempeño limitado en sectores de difícil acceso y sin conexión; sistema orientado a ciudades poco rurales.
- Altos costos asociados a su instalación y mantenimiento en proporción al riesgo de sufrir daños por ocurrencias.

5.2 Fire Watch

(<https://www.iq-wireless.com/de/>).

La empresa Alemana IQ wireless ha creado Fire Watch (FW), un sistema de monitoreo óptico terrestre, digital, de vigilancia remota capaz de observar áreas forestales amplias min 15 km y max 70 km, pudiendo analizar y almacenar los datos recogidos. FW es capaz de evaluar y clasificar los datos entrantes de múltiples maneras, conectado a una estación central.

En el caso de la detección de un foco de incendio, el sistema envía automáticamente una alarma. Según el fabricante, FW fue probado

satisfactoriamente y está instalado desde hace años en Alemania, los estados de Brandenburg, Mecklenburg-Western Pomerania, Saxony-Anhalt and Saxony y Australia.

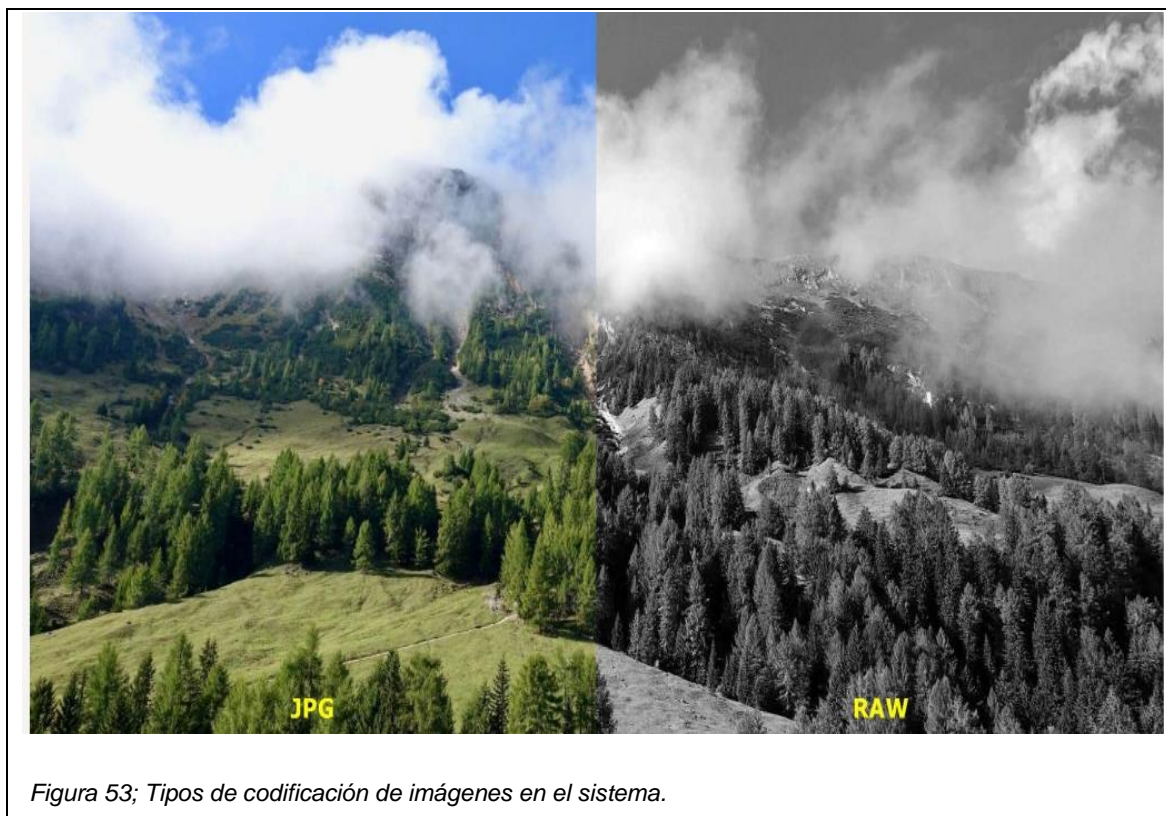
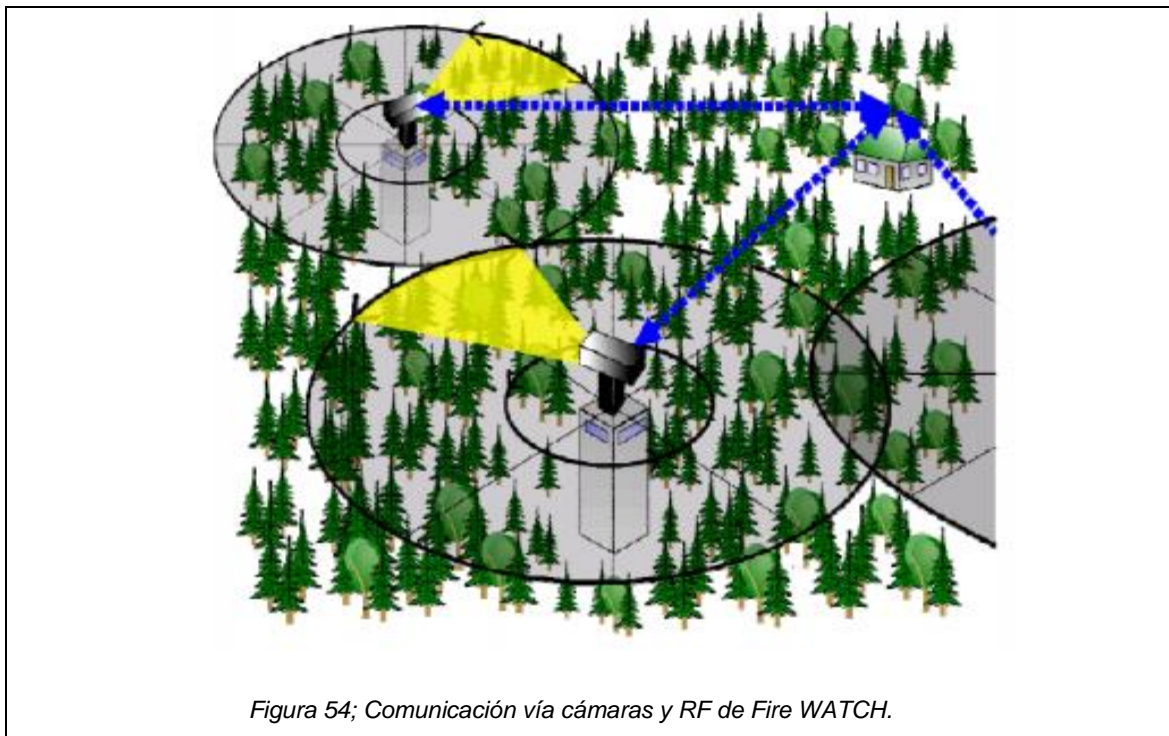
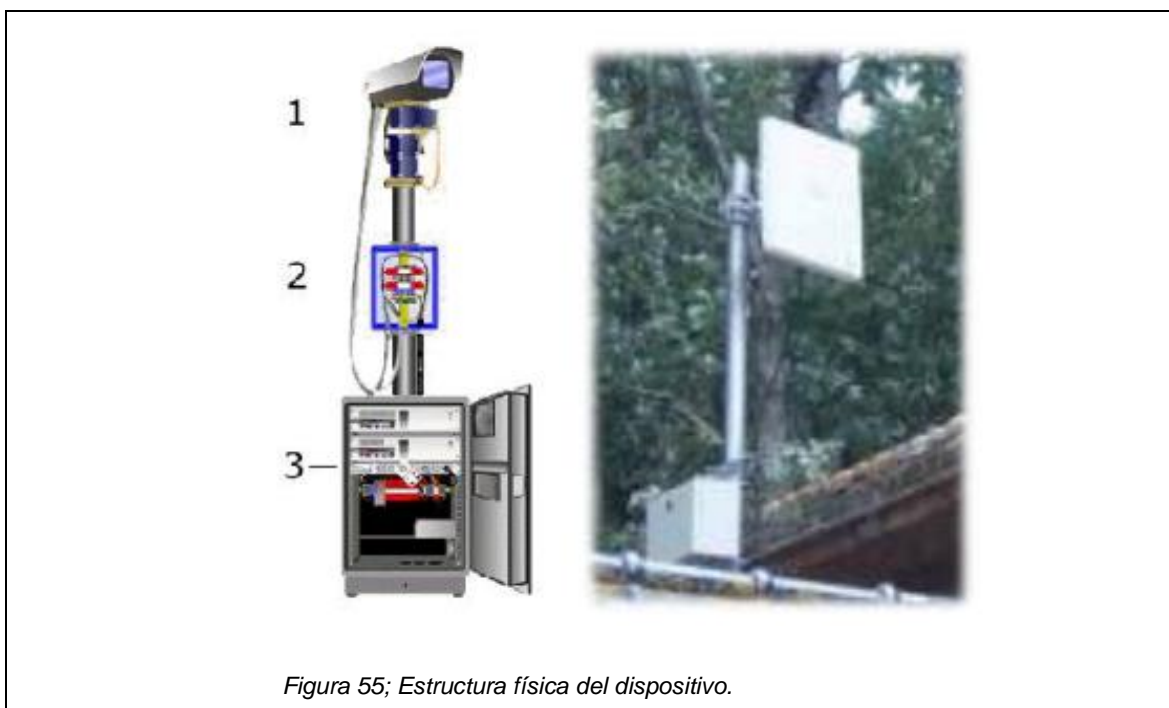


Figura 53; Tipos de codificación de imágenes en el sistema.

El sistema consiste en cámaras instaladas sobre torres al interior del bosque, las que van tomando imágenes cada 6 minutos. Tras procesar la imagen (zoom, filtros, contraste RAW), si las cámaras detectan (360°) la presencia de una columna de humo, envían la imagen al computador situado en estación de control y dan una señal de alarma indicando la ubicación del evento. Las cámaras se comunican vía radio (transmisión de banda ancha CDMA) o por teléfono (ISDN) y poseen una resolución de 1280x1024 píxeles.



Además, pueden detectar una nube de humo; a la luz del día, con un tamaño mínimo de 10x10 metros, a una distancia de 26 kilómetros; en menos de 8 minutos. Por la noche, las cámaras también funcionan y les puede tomar hasta 16 minutos detectar el humo.



El sistema es ideal para la protección de sistemas ecológicos y paisajes culturales y para hacer una contribución sustancial a la protección del medio ambiente y la prevención de desastres naturales.

Las **ventajas** se basan básicamente en la gran capacidad de monitorear grandes extensiones de terreno, y la capacidad de comunicación con la central. A de más, de procesar imágenes bajo distintas características.

Las desventajas de este sistema son que sigue siendo un sistema visual, al igual que las torres con guardabosques para la detección terrestre fija; además, requieren un operador que esté revisando constantemente. En general, no presentan mucha diferencia con los sistemas de detección convencionales.

5.3 Wi-Flip

Wi-Flip es un sistema prototipo. Ha sido diseñado por investigadores del Instituto de Microelectrónica de Sevilla (CSIC-Universidad de Sevilla), la Universidad de Sevilla y el Plan INFOCA de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Fernández Berni J., Carmona Galán R., Leñam Cembrano G. 2011).

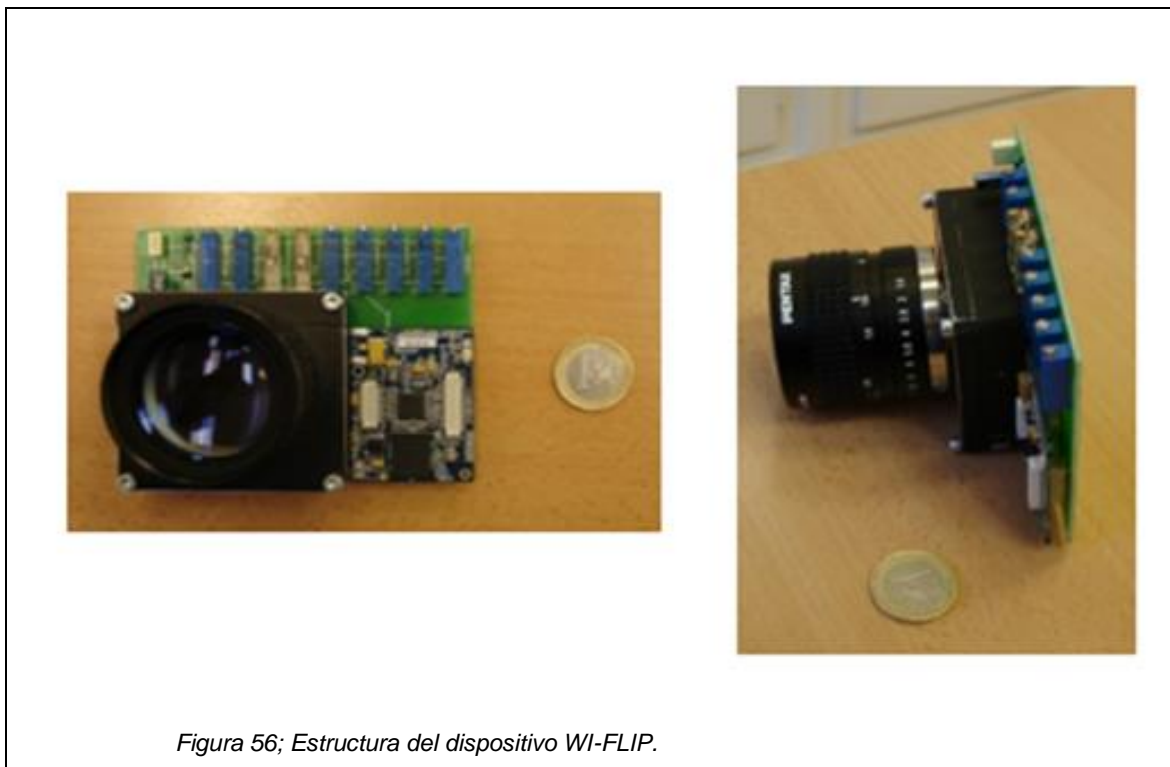
Se trata de una red de sensores inalámbrica de bajo coste e implementación capaz de cubrir un área de un 1 Km usando 4 dispositivos. El principio de esta tecnología es a través del procesamiento y reconocimiento de imágenes por medio de cámaras está basado en una serie de chips o sensores de visión inteligente capaces de analizar los cambios en la intensidad luminosa y de distinguir el humo de otros fenómenos del paisaje, por medio de distintos algoritmos planteados.

Cabe mencionar que fue probado en España, con éxito en 2011 y 2012 en los montes de las Navas-Berrocal, en Almadén de la Plata (Sevilla). El sistema

detectó los incendios provocados de manera controlada a una distancia de unos 150 metros, no se produjeron falsas alarmas y el máximo tiempo empleado para la activación de la alarma fue de seis minutos.

Al ser un prototipo experimental y no enfocado en la gestión de la comunicación; su escalabilidad es limitada y necesitaría perfeccionamiento en dichos términos a futuro.

El sistema se puede describir como una cámara inteligente inalámbrica instalada sobre un soporte y conectada a un pequeño panel solar. Aparte del sensor o chip de imagen inteligente, incorpora un nodo comercial de red inalámbrica de sensores, integrado por un microprocesador y un transceptor para enviar y recibir información vía radio. Asimismo, el prototipo dispone de varios potenciómetros (resistencias variables) para ajustar los parámetros del sensor.



Su funcionamiento consiste en asignar a cada módulo Wi-FLIP un área de vigilancia de corto alcance (con cuatro sensores se cubre una extensión de un

kilómetro cuadrado), de tal forma que si en una región se produce un incendio, el módulo usa la red de sensores para enviar vía radio la señal de alarma a la estación de extinción más próxima, así como una fotografía que permite dimensionar los medios que se necesitan para sofocarlo.

Si, pasado un cierto tiempo (un parámetro más del algoritmo), todas las condiciones se cumplen, se dispara la alarma. “Sólo entonces se envía una imagen vía radio para la confirmación remota de la existencia del incendio. Mientras tanto, el sistema realiza in-situ la captura de imágenes y su procesamiento”, apuntan los científicos.

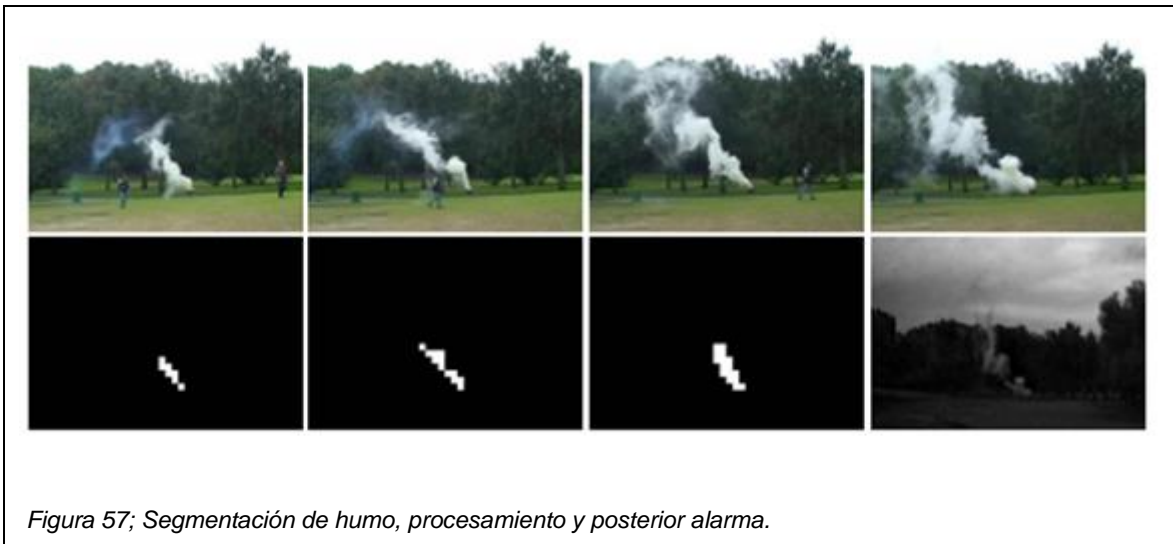


Figura 57; Segmentación de humo, procesamiento y posterior alarma.

El nodo WSN habilitado para visión resultante de la integración de FLIP-Q, un chip de visión prototipo que fue su predecesor, e Imotel, una plataforma comercial WSN.

En Wi-FLIP, el procesamiento de imágenes no solo está restringido al dominio digital, como en las arquitecturas convencionales. En cambio, su sensor de imagen, el prototipo FLIP-Q, incorpora elementos de procesamiento de nivel de píxel (PE) implementados por circuitos analógicos. Estos PE están interconectados, lo que representa un conjunto de plano focal basado en SIMD (técnica empleada para conseguir paralelismo a nivel de datos). Las tareas de

procesamiento de imágenes de bajo nivel encajan muy bien en este esquema de procesamiento.

Cuentan con una gran carga computacional compuesta de operaciones repetitivas en píxeles que se pueden realizar en paralelo con una precisión moderada. En tales circunstancias, circuitos analógicos, no muy precisos pero más rápidos y con mayor eficiencia de área y potencia que su contraparte digital, ha sido ampliamente reportado para lograr un mejor rendimiento. Por lo tanto, el sensor de imagen de Wi-FLIP no muestra imágenes en bruto sino pre procesadas que hacen que el procesamiento digital posterior sea mucho más ligero. El costo de energía de dicho pre procesamiento es muy bajo, 5,6 mW para el peor de los casos.

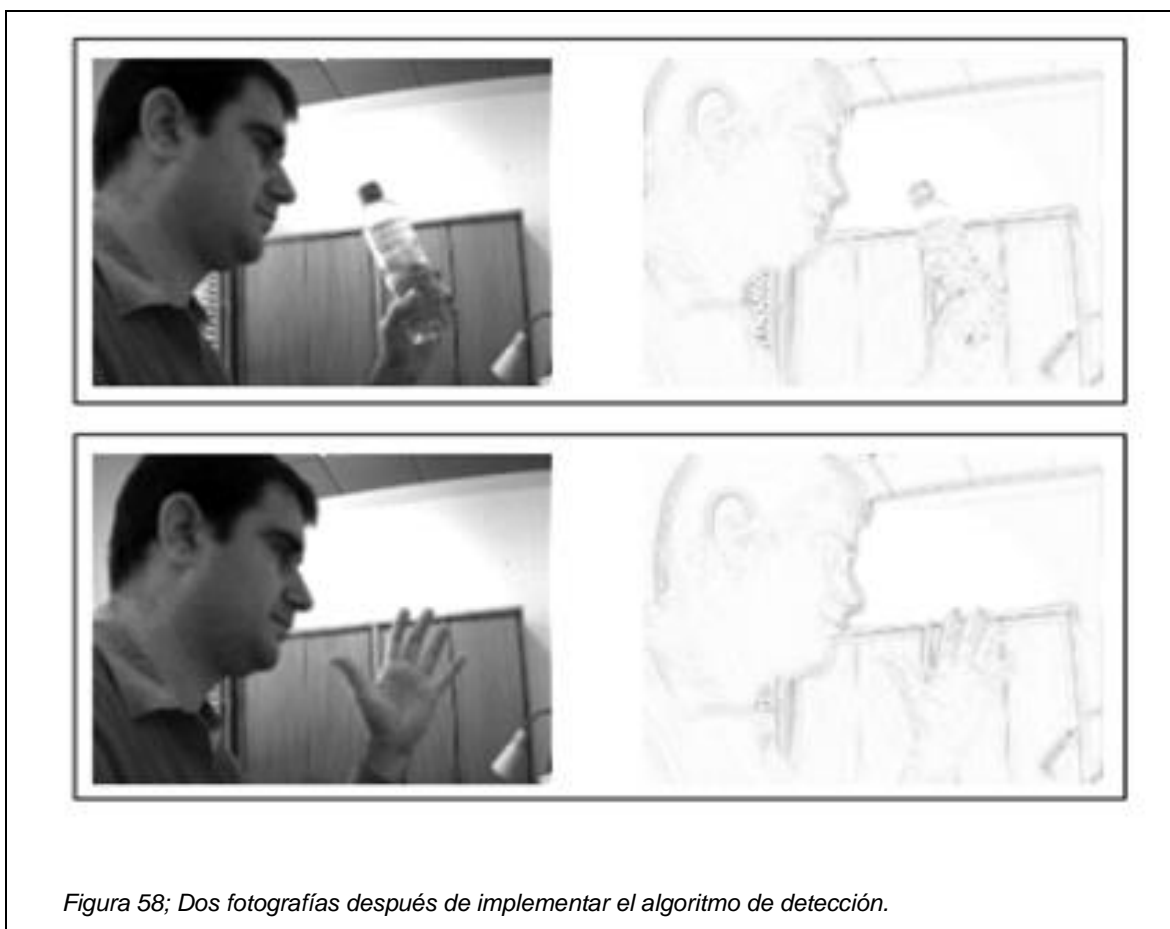


Figura 58; Dos fotografías después de implementar el algoritmo de detección.

Las **desventajas** en esta tecnología radican en el poco enfoque en términos de comunicación. Su método es altamente original y funcional, además de ser pionero en su campo.

Posee desventajas de escalabilidad e ingeniería de redes de datos; para lograr un sistema más robusto y proyectarlo de forma macro. Y quizás podría tener limitaciones a la hora de detectar incendios en el sotobosque dependiendo de donde sean ubicados.

5.4 Integra WildFire

(<http://www.integraciones.com/>).

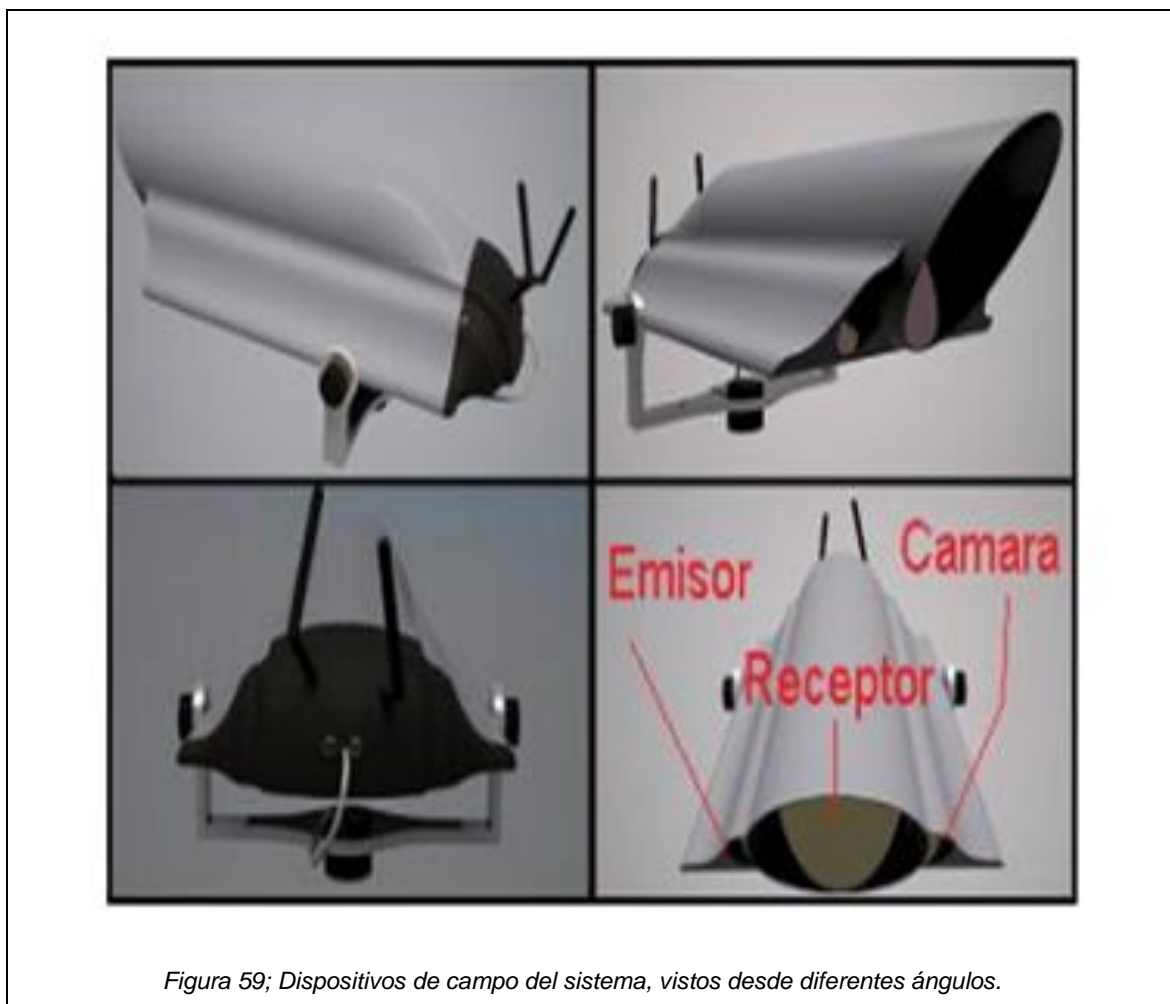
La empresa española Integra, está desarrollando un producto para la detección de incendios, el cual se basa en el funcionamiento del ojo humano. El dispositivo consta de un emisor de luz infrarroja modulada apuntado hacia la línea del horizonte, el cual al impactar un objeto de tamaño similar a su longitud de onda (como una partícula de humo) se dispersa en todas direcciones.

Parte de la luz dispersada llega a un detector, que es un sistema óptico en cuyo foco se coloca un sensor electrónico. Además, el sistema tiene una cámara que, después de que el sistema ha realizado una doble verificación, toma imágenes (fotos o un video corto). Los tres objetos están alineados y se aprecian en la figura x, la cual muestra el dispositivo de campo.

Entre otras características del sistema podemos mencionar que la fuente alimentación del sistema se sitúa debajo de la estructura, además se dispone de un panel solar con regulador electrónico y baterías. Por otro lado, cada unidad cubre más de 2800 hectáreas y puede realizar un barrido de 360 grados en menos de 3 minutos.

Otro aspecto a mencionar es que Integra Wild Fire cuenta con un software de detección que analiza las señales que indican la detección de luz dispersada

por el humo o la masa de partículas. A través del software también se pueden controlar remotamente los movimientos de los dispositivos de campo y las características del haz de luz infrarrojo que emana desde el emisor. Toda la información será enviada a un centro de control donde será un operador será quien, finalmente, decida si se trata de un incendio, una nube contaminante o una falsa alarma.



En síntesis el sistema funciona de acuerdo a lo ilustrado en la figura x. Se puede señalar que este sistema no presenta muchas diferencias con el actual sistema de detección en torres con guardabosques que monitorean la situación. Además de seguir siendo un sistema visual, se considera que puede tener muchas falsas alarmas dado que un elemento común en un bosque, como el paso de aves, puede hacer que el haz de luz emitido rebote y se genere una

señal de la que se tendrá que ocupar el operador para discriminar si es o no un incendio forestal u otro tipo de evento.

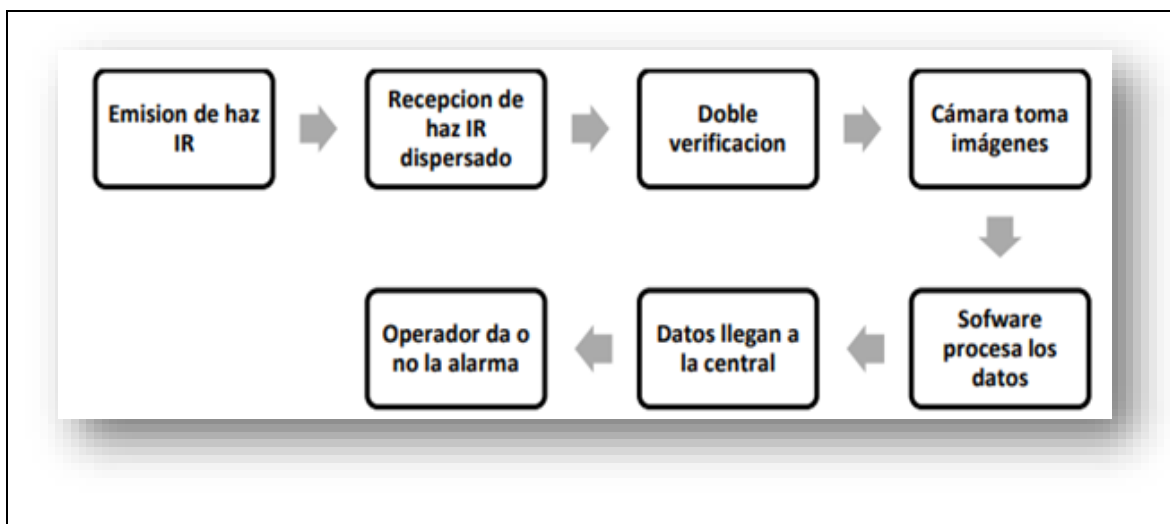


Figura 60; Proceso de funcionamiento del sistema.



Figura 61; Funcionamiento del sistema en el aire libre.

VI METODOLOGÍAS

La metodología de un proyecto es el conjunto de procedimientos para la planificación y gestión de todos los componentes del mismo. Desde la gestión de recursos hasta la coordinación del equipo de trabajo o la relación con todos los interesados en los resultados del mismo. Existen muchos tipos de metodología de un proyecto, sin embargo, se suelen seguir unos pasos básicos para todo tipo de proyectos.

6.1 METODOLOGÍAS DE TRABAJO

¿Por qué son necesarias las metodologías de gestión y trabajo de proyectos?
¿Qué beneficios puede aportar trabajar en base a sus recomendaciones?



El objetivo general de la metodología de gestión y trabajo de proyectos es ser capaces de estandarizar, estructurar y organizar la manera de trabajar. Así se ayuda a enfocar todos los proyectos de la misma forma y nos permite ser capaces de repetir los éxitos y aprender de los errores, por lo que hay un proceso de mejora continua. Es decir, una metodología es una gran herramienta para generar eficiencia a medida que se va utilizando.

El uso de una metodología en la gestión o trabajo de un proyecto persigue unos beneficios específicos:

- Organizar los tiempos de proyecto.
- Proporcionar herramientas para estimar de forma correcta tiempos y costes.
- Ayudar a gestionar y minimizar los riesgos del proyecto.
- Mejorar la relación entre coste y beneficio de los recursos.
- Desarrollar las habilidades del equipo.

Desde el punto de vista de los recursos, contar con una metodología ayuda a acortar la curva de aprendizaje del equipo, y a medida que se utiliza en proyectos, se pule y transforma según el estilo personal de la compañía. Con un enfoque adaptado y homogéneo se reduce el riesgo de implementación y se obtiene una mejora en el trabajo.

Un factor decisivo al aplicar metodologías de gestión y trabajo es que no todas sirven para cualquier proyecto, por lo que es fundamental conocer los puntos fuertes de cada una de ellas para saber aplicarlos en el momento que sea necesario. En esta tabla podemos comparar los rasgos que distinguen a las metodologías tradicionales de las más ágiles:

Metodologías tradicionales	Metodologías ágiles
Proyectos de duración media o elevada	Proyectos de corta duración
Proceso mucho más controlado, con numerosas políticas y normas	Proceso menos controlado, con más flexibilidad
Respuesta lenta a los cambios	Respuesta rápida a los cambios
Gestión de equipos grandes de personas, generalmente distribuidas	Gestión de equipos pequeños (menos de diez personas)
El cliente interactúa con el equipo de proyecto mediante reuniones	El cliente suele ser parte del equipo de proyecto
Curva de aprendizaje media o larga	Curva de aprendizaje corta

Tabla 17; Diferencias entre las distintas metodologías.

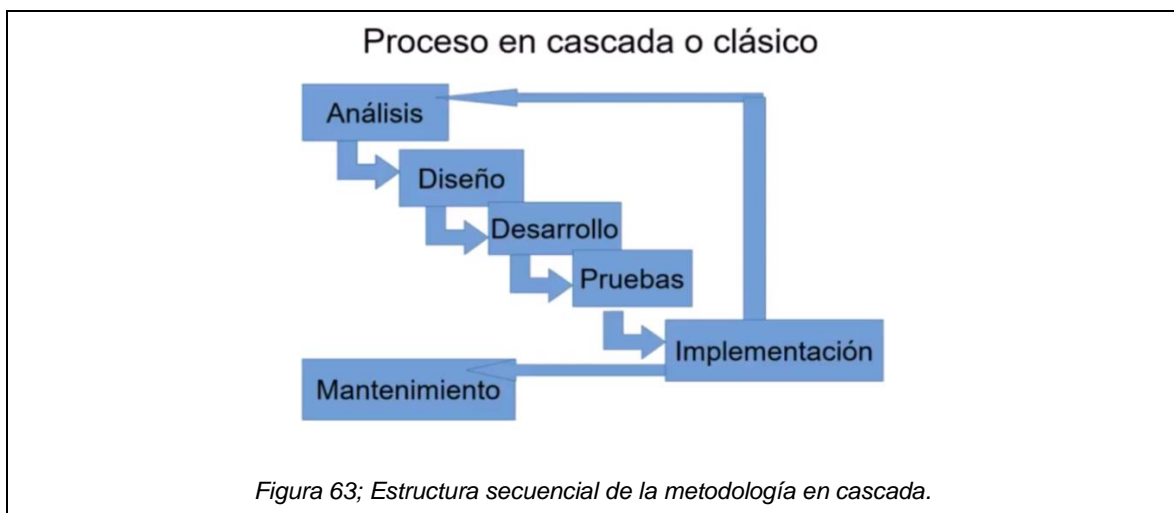
- Para la realización del proyecto.

6.2 METODOLOGÍA TRADICIONAL (CASCADA)

La Metodología en Cascada es un proceso de desarrollo de software que es lineal, en la que cada etapa del proceso debe terminar y ser aprobada por el cliente para empezar la siguiente. En un proyecto llevado a cabo en cascada los resultados se ven al final del proyecto, por lo que no es recomendable para proyectos en los que existe incertidumbre respecto de la solución.

En los casos en que el cliente está seguro de la solución, el desarrollo en cascada es el más rápido y simple de llevar a cabo.

Es un enfoque metodológico que ordena rigurosamente las etapas del proceso de investigación de tal forma que el inicio de cada etapa debe esperar que la anterior se haya completado antes pasando por una revisión para verificar que se pueda continuar a la siguiente etapa, este método es considerado como el enfoque clásico para el ciclo de vida del desarrollo de proyectos de investigación, se puede decir que es un método puro que implica un desarrollo rígido. Este método se basa en una secuencia de etapas que consisten en el análisis de requerimientos, el diseño, la implementación, la integración y las pruebas.



6.2.1 Etapas método cascada.

- a. **Análisis:** Esta etapa existe porque «es indispensable comprender perfectamente los requisitos del proyecto, para que éste no fracase. En esta etapa se reúnen las necesidades del cliente o en nuestro caso la necesidad de realizar el proyecto de investigación. Aquí se analiza, examina y estudia el negocio del cliente, o al menos su área o departamento donde se necesita ejecutar los cambios. En casi todos los casos lo que se obtiene de acá son documentos escritos.
- El modelo indica que a través del seguimiento estricto de esta fase se generará un documento maestro del sistema, en el cual estarán reflejadas a cabalidad las necesidades de los usuarios del futuro sistema de información. Este documento maestro es la entrada para la siguiente etapa, que corresponde al diseño.
 - Los usuarios son los verdaderos expertos del negocio de la empresa, y son, por lo tanto, las personas más autorizadas para definir la forma en que el mismo debe ser conducido de tal forma de alcanzar las metas y objetivos establecidos por la alta administración.
- b. **Diseño:** El proceso de diseño traduce los requisitos en una representación del software que pueda ser establecida de forma que obtenga la calidad requerida antes de que comience la programación.
- En esta etapa se describe la estructura interna del proyecto de investigación para así descomponer y organizar las distintas tareas que se pueden realizar por separado, en esta etapa se suele representar esta información con diagramas, esquemas, arquitectura, diseño de ventanas, bases de datos y documentos en general.
 - Entrando propiamente en lo que es el diseño, es en esta etapa en la que se debe generar la documentación y las definiciones necesarias para que el equipo de programación construya el sistema.

- c. **Desarrollo:** En esta etapa se pone en marcha la configuración del ambiente, la arquitectura, se realizan todos los estudios financieros y técnicos que se proponen en el proyecto de investigación.
- d. **Pruebas:** La prueba se centra en la lógica interna del proyecto, asegurando que todas las sentencias se han probado, y en las funciones externas, realizando pruebas que aseguren que la entrada definida produce los resultados que realmente se requieren.
- e. **Implementación:** En esta etapa se unen y estudian los resultados de los estudios financieros y técnicos y se verifica si se cumplen los objetivos tanto generales como específicos planteados con anterioridad y se pasa a realizar conclusiones.
- f. **Mantenimiento:** Los cambios ocurrirán debido a que se hayan encontrado errores, a que el producto deba adaptarse a posibles cambios.
- Esta etapa, en teoría, consiste en la operación normal del producto ya en producción por parte de los usuarios satisfechos.
 - Algunos problemas menores debieran surgir, los cuales el equipo de desarrollo debiera, en un tiempo breve, resolver para que el producto continúe prestando el servicio esperado.
 - En esta ocasión la teoría previene que algunos problemas menores se han de presentar en la nueva creación informática, principalmente fallas, producto de la aparición de casos no considerados en las pruebas o bien debido a que el usuario descubre variantes en las funcionalidades implementadas que, incorporadas al producto, podrían hacer de la labor algo mucho más productivo.

6.2.2 La metodología de trabajo en cascada la podemos resumir de la siguiente manera.

- El inicio y el alcance del proyecto.
- Definición de conceptos clave y de las necesidades del cliente o producto y el análisis de la solución que se propone.
- La planificación del proyecto y puesta en marcha.
- Prueba que la solución es técnica y económicamente viable.
- Cierre del proyecto.

6.2.3 Las ventajas de la metodología de trabajo en cascada son:

- Permite la departamentalización y control de gestión.
- El horario se establece con los plazos normalmente adecuados para cada etapa de desarrollo.
- Esta metodología de trabajo conduce a entregar el proyecto a tiempo.
- Es sencilla y facilita la gestión del proyecto de investigación.
- Permite tener el proyecto bajo control.

6.2.4 Las desventajas de la metodología de trabajo en cascada son:

- En la realidad un proyecto de investigación o el desarrollo de un producto o servicio rara vez sigue una secuencia lineal.
- Algunos de los ciclos son largos.
- Orientada para desarrollo de proyectos de investigación de corto plazo.
- Confusión en las etapas tempranas del proyecto de investigación.

La elección de esta metodología para desarrollar el proyecto de investigación responde netamente a que es una metodología sencilla de seguir y efectiva

facilitando la puesta en marcha y posterior consumación de las etapas que se proponen. También impone plazos específicos para el desarrollo de las etapas, por otro lado, permite documentar de mejor manera todo lo que se va realizando en el proyecto de investigación.

6.3 METODOLOGÍA DE GESTIÓN

6.3.1 PMBOK.

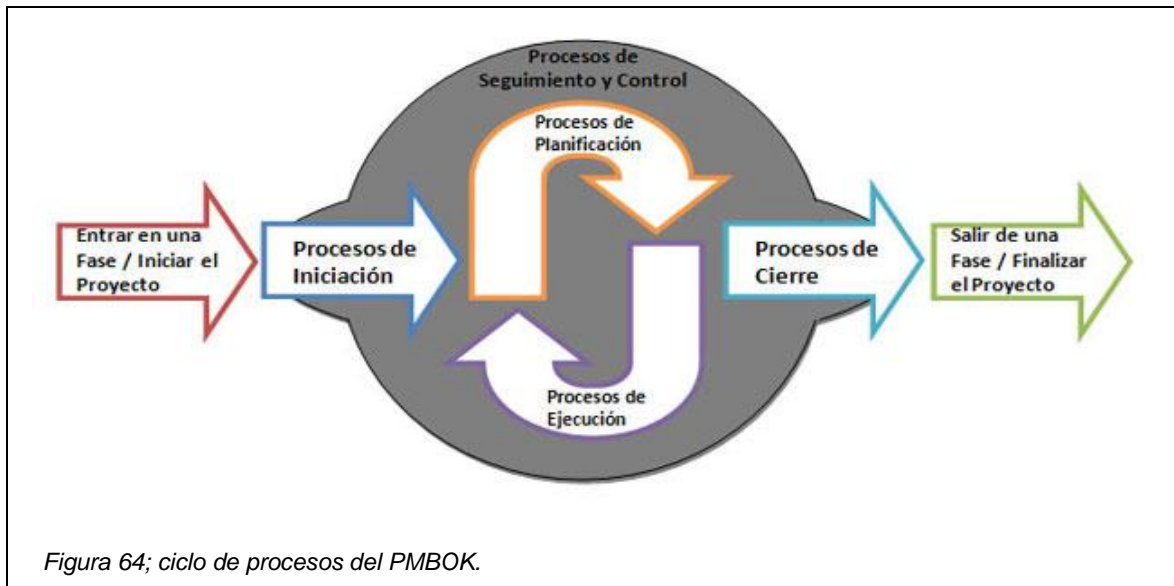
Esta metodología de gestión describe un conjunto de conocimientos y de prácticas aplicables a cualquier situación que se requiera formular, las cuales han sido concebidas luego de evaluación y aprobación entre profesionales sobre su valor y utilidad. Tales prácticas han sido sometidas a revisión y/o mejoradas durante los últimos veinte años gracias al esfuerzo de profesionales y académicos de diversos ámbitos profesionales, especialmente de la ingeniería.

El PMBOK no debe entenderse como una metodología literalmente, sino como una guía de estándares internacionales para que los profesionales puedan adaptar a cada caso y contexto particular los procesos, reconocidos como buenas practicas por el PMI (Project Management Institute) que se pueden aplicar a la mayoría de los proyecto.

La importancia del PMBOK radica en que proporciona un marco de referencia formal para desarrollar proyectos, guiando y orientando a los gestores de proyectos sobre la forma de avanzar en los procesos y los pasos necesarios para la construcción de resultados y alcanzar los objetivos (Project Management Institute 2004).

El PMBOK documenta la información necesaria para **iniciar, planificar, ejecutar, supervisar, controlar**, y **cerrar** un proyecto individual, e identifica procesos del proyecto que han sido reconocidos como buenas prácticas. Estos

procesos se aplican globalmente y en todos los grupos de negocios o industriales.



Se debe entender como una recopilación de buenas prácticas lo cual significa que existe un acuerdo general en que se ha comprobado que la aplicación de esos procesos de dirección de proyectos aumenta las posibilidades de éxito en una amplia variedad de proyectos. Según el PMBOK, la dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para satisfacer los requisitos del mismo. La dirección de proyectos se logra mediante la ejecución de procesos, usando conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas de dirección de proyectos que reciben entradas y generan salida.

6.3.2 para que un proyecto basado en la metodología PMBOK tenga éxito se debe:

- Seleccionar los procesos apropiados dentro de los Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos (Grupos de Procesos) que sean necesarios para cumplir con los objetivos del proyecto.

- Usar un enfoque definido para adaptar las especificaciones del producto y los planes de tal forma que se puedan cumplir los requisitos del proyecto.
- Cumplir con los requisitos para satisfacer las necesidades y requerimientos del proyecto.
- Equilibrar las demandas concurrentes de alcance, tiempo, costes, calidad, recursos y riesgos para producir buenos resultados.

6.3.3 PMBOK reconoce 47 diferentes procesos, clasificados en 5 grupos y 9 áreas de conocimiento que son aplicadas a la mayoría de los proyectos. Los grupos de procesos del PMBOK son los siguientes:

- **Procesos de iniciación:** Son aquellos procesos realizados para definir un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto ya existente, mediante la obtención de la autorización para comenzar dicho proyecto o fase.
- **Procesos de planificación:** Son aquellos procesos requeridos para establecer el alcance del proyecto, pulir los objetivos y definir el curso de acción necesario para alcanzar los objetivos para lo cual se emprendió el proyecto.
- **Procesos de ejecución:** Son aquellos procesos realizados para completar el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto a fin de cumplir con las especificaciones u objetivos del mismo.
- **Procesos de seguimiento y control:** Son aquellos procesos requeridos para dar seguimiento, analizar y regular el progreso y el desempeño del proyecto de investigación, para identificar áreas en las que se requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes.
- **Procesos de cierre:** Son aquellos procesos realizados para finalizar todas las actividades a través de todos los grupos de procesos para poder sacar conclusiones y cerrar formalmente el proyecto o una fase del mismo.

6.3.4 Áreas del conocimiento en PMBOK.

- A. Integración del proyecto:** Incluye los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos de la dirección de proyectos dentro de los grupos de procesos de dirección de proyectos. La gestión de la integración del proyecto implica tomar decisiones respecto a la asignación de recursos, balancear objetivos y manejar las interdependencias entre las áreas de conocimiento.
- B. Alcance del proyecto:** Incluye los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo el trabajo requerido para completarlo con éxito. El objetivo principal de esta área, es definir y controlar qué se incluye y qué no, en el proyecto.
- C. Tiempo del proyecto:** Incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo, los cuales son definir las actividades, secuenciar las actividades, estimar los recursos de las actividades, estimar la duración de las actividades, desarrollar el cronograma y controlar el cronograma.
- D. Costos del proyecto:** Incluye los procesos involucrados en estimar, presupuestar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.
- E. Calidad del proyecto:** Incluye los procesos y actividades del ejecutante que determinan responsabilidades, objetivos y políticas de calidad a fin de que el proyecto satisfaga las necesidades por las cuales fue emprendido.
- F. Recursos humanos del proyecto:** Incluye los procesos que organiza, gestiona y conduce el ejecutante del proyecto. El ejecutante es al que se le ha asignado roles y responsabilidades para completar el proyecto.
- G. Comunicaciones del proyecto:** Incluye los procesos requeridos para garantizar que la generación, la recopilación, la distribución, el

almacenamiento, la recuperación y la disposición final de la información del proyecto sean adecuados y oportunos.

- H. *Riesgos del proyecto:*** Incluye los procesos relacionados con llevar a cabo la planificación de la gestión, la identificación, el análisis, la planificación de respuesta a los riesgos, así como su monitoreo y control en un proyecto.
- I. *Adquisiciones del proyecto:*** Incluye los procesos de compra o adquisición de los productos, servicios o resultados que es necesario obtener fuera del proyecto. Incluye los procesos de gestión del contrato y de control de cambios requeridos para desarrollar y administrar contratos u órdenes de compra.
- J. *Interesados del proyecto:*** Incluye los procesos necesarios para identificar a las personas, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados por el proyecto, para analizar las expectativas de los interesados y su impacto en el proyecto, esta área del conocimiento fue agregado en la última edición del PMBOK.

6.3.5 En el proyecto, se verán involucradas 8 de las 9 áreas del conocimiento de PMBOK, la cuales son:

- Integración, ya que, permite la consolidación de todos los procesos.
- Alcance, ya que, se establecen los límites del proyecto.
- Tiempo, para lograr obtener el proyecto a tiempo.
- Costos, que se debe tener en cuenta todos los costos de las distintas soluciones que ofrecen las distintas empresas.
- Calidad, ya que, se desea hacer una investigación que cumple con los objetivos propuestos.
- Recursos humanos, ya que, involucra el proceso de motivación del ejecutor para desarrollar este proyecto.
- Comunicaciones, ya que, al ser un proyecto de investigación, es necesarios recopilar bastante información.

- Riesgo, ya que, en todo proyecto está presente el riesgo de una u otra forma.

Y finalmente, se deja fuera el área de Adquisiciones, ya que, el presente proyecto al ser de investigación, no se está generando un producto en sí, más bien se estudia que producto tendrá más o menos beneficios para el cliente.

Procesos de un Área de Conocimiento	Grupos de Procesos de Dirección de Proyectos				
	Grupo de Procesos de Iniciación	Grupo de Procesos de Planificación	Grupo de Procesos de Ejecución	Grupo de Procesos de Seguimiento y Control	Grupo de Procesos de Cierre
4. Gestión de la Integración del Proyecto	Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto 3.2.1.1 (4.1) Desarrollar el Enunciado del Alcance del Proyecto Preliminar 3.2.1.2 (4.2)	Desarrollar el Plan de Gestión del Proyecto 3.2.2.1 (4.3)	Dirigir y Gestionar la Ejecución del Proyecto 3.2.3.1(4.4)	Supervisar y Controlar el Trabajo del Proyecto 3.2.4.1 (4.5) Control Integrado de Cambios 3.2.4.2 (4.6)	Cerrar Proyecto 3.2.5.1 (4.7)
5. Gestión del Alcance del Proyecto		Planificación del Alcance 3.2.2.2 (5.1) Definición del Alcance 3.2.2.3 (5.2) Crear EDT 3.2.2.4 (5.3)		Verificación del Alcance 3.2.4.3 (5.4) Control del Alcance 3.2.4.4 (5.5)	
6. Gestión del Tiempo del Proyecto		Definición de las Actividades 3.2.2.5 (6.1) Establecimiento de la Secuencia de las Actividades 3.2.2.6 (6.2) Estimación de Recursos de las Actividades 3.2.2.7 (6.3) Estimación de la Duración de las Actividades 3.2.2.8 (6.4) Desarrollo del Cronograma 3.2.2.9 (6.5)		Control del Cronograma 3.2.4.5(6.6)	
7. Gestión de los Costes del Proyecto		Estimación de Costes 3.2.2.10 (7.1) Preparación del Presupuesto de Costes 3.2.2.11 (7.2)		Control de Costes 3.2.4.6 (7.3)	
8. Gestión de la Calidad del Proyecto		Planificación de Calidad 3.2.2.12 (8.1)	Realizar Aseguramiento de Calidad 3.2.3.2 (8.2)	Realizar Control de Calidad 3.2.4.7 (8.3)	
9. Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto		Planificación de los Recursos Humanos 3.2.2.13 (9.1)	Adquirir el Equipo del Proyecto 3.2.3.3 (9.2) Desarrollar el Equipo del Proyecto 3.2.3.4 (9.3)	Gestionar el Equipo del Proyecto 3.2.4.8 (9.4)	
10. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto		Planificación de las Comunicaciones 3.2.2.14 (10.1)	Distribución de la Información 3.2.3.5 (10.2)	Informar el Rendimiento 3.2.4.9 (10.3) Gestionar a los Interesados 3.2.4.10 (10.4)	
11. Gestión de los Riesgos del Proyecto		Planificación de la Gestión de Riesgos 3.2.2.15 (11.1) Identificación de Riesgos 3.2.2.16 (11.2) Análisis Cualitativo de Riesgos 3.2.2.17 (11.3) Análisis Cuantitativo de Riesgos 3.2.2.18 (11.4) Planificación de la Respuesta a los Riesgos 3.2.2.19 (11.5)		Seguimiento y Control de Riesgos 3.2.4.11 (11.6)	
12. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		Planificar las Compras y Adquisiciones 3.2.2.20 (12.1) Planificar la Contratación 3.2.2.21 (12.2)	Solicitar Respuestas de Vendedores 3.2.3.6 (12.3) Selección de Vendedores 3.2.3.7 (12.4)	Administración del Contrato 3.2.4.12 (12.5)	Cierre del Contrato 3.2.5.2 (12.6)

Tabla 18, Ordenamiento y correspondencia entre los procesos del PMO.

6.4 SOBRE LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO (EDT).

La Gestión del Alcance del Proyecto incluye los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo (y únicamente todo) el trabajo requerido para completarlo con éxito. El objetivo principal de la Gestión del Alcance del Proyecto es definir y controlar qué se incluye y qué no se incluye en el proyecto.

Cada proceso puede implicar el esfuerzo de una o más personas, dependiendo de las necesidades del proyecto. Cada proceso se ejecuta por lo menos una vez en cada proyecto y en una o más fases del proyecto, en caso de que el mismo esté dividido en fases. Aunque los procesos se presentan aquí como componentes diferenciados con interfaces bien definidas, en la práctica se superponen e interactúan de formas que no se detallan aquí.

La Declaración del Alcance del Proyecto detallada y aprobada, y su **EDT** (estructura de desglose de trabajo) asociada junto con el diccionario de la **EDT**, constituyen la línea base del alcance del proyecto. Esta línea base del alcance se monitorea, se verifica y se controla durante todo el ciclo de vida del proyecto.

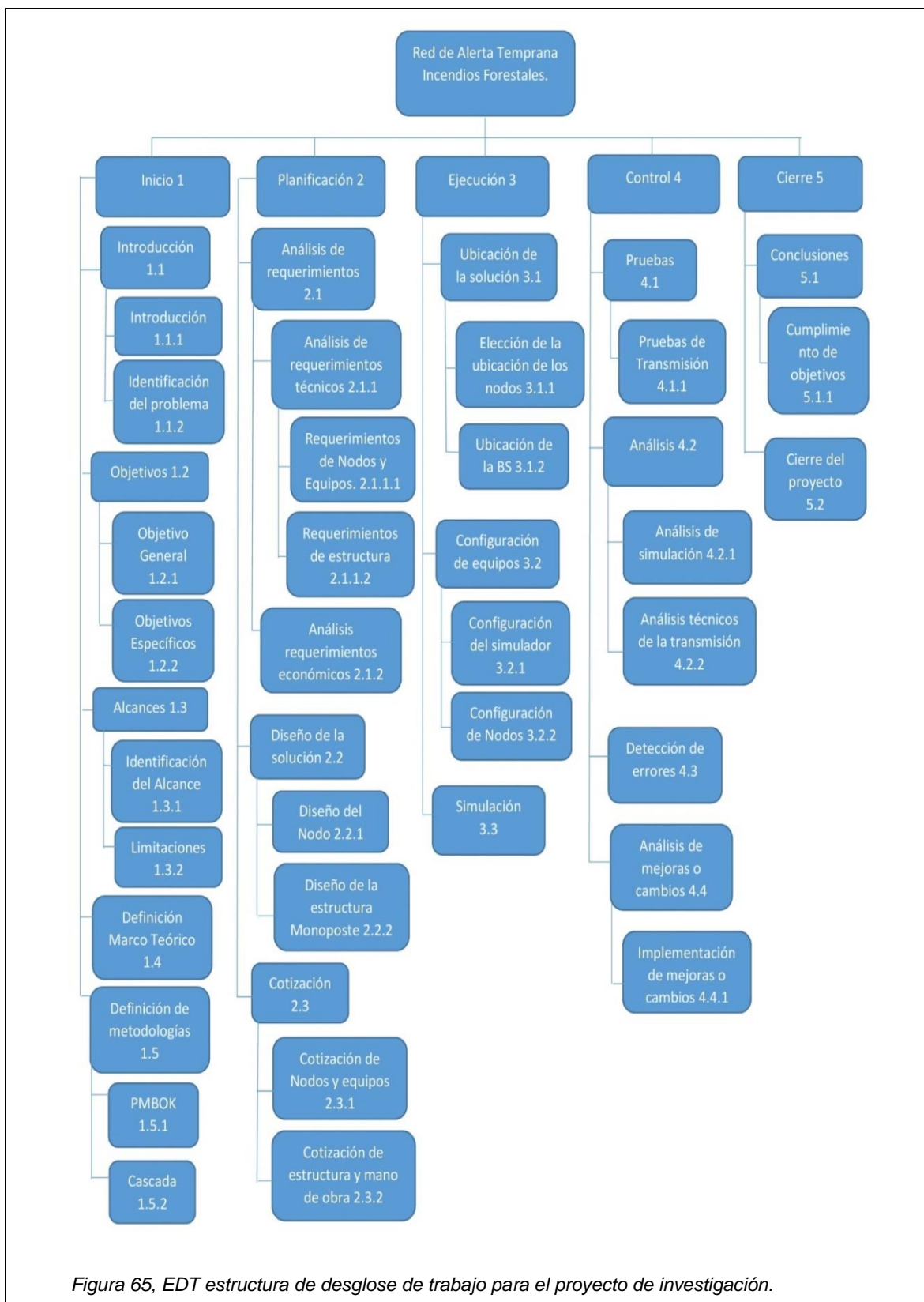


Figura 65, EDT estructura de desglose de trabajo para el proyecto de investigación.

6.4.1 Definición de las actividades EDT

De acuerdo a cada proceso mencionado:

1. **Actividades de Iniciación:** Las actividades del proceso de iniciación propuesta en el proyecto, se tomaron en cuenta en el primer apartado de la EDT.

Son actividades de carácter teórico y se pudieron apreciar en los primeros capítulos del presente documento. Allí se pudieron plantear diversas temáticas como; la introducción, datos de la problemática y alcance del proyecto.

2. **Actividades de Planificación:** El proceso Definición de las Actividades identificará los productos entregables al nivel más bajo de la estructura de desglose del trabajo (EDT), que se denomina paquete de trabajo. Los paquetes de trabajo del proyecto están planificados (descompuestos) en componentes más pequeños denominados actividades del cronograma, para proporcionar una base con el fin de estimar, establecer el cronograma, ejecutar, y supervisar y controlar el trabajo del proyecto. La definición y planificación de las actividades del cronograma están implícitas en este proceso, de tal modo que se cumplan los objetivos del proyecto.
 - a. **Análisis de requerimientos:** En estas actividades se tomarán en cuenta todos los requerimientos a desplegar en el área de estudio, en términos cualitativos y cuantitativos. Se podrán evaluar las necesidades tecnológicas de la empresa y también realizar estudios económicos para verificar la viabilidad de la solución propuesta.
 - b. **Análisis de requerimientos técnicos:** En esta etapa se evaluarán todos los requerimientos técnicos necesarios para llevar a cabo el proyecto. Tomando en cuenta múltiples factores como las instalaciones existentes y la maquinaria de la empresa.
 - c. **Requerimientos de Nodos y Equipos:** En esta etapa se evaluará la cantidad y la capacidad de la totalidad de los equipos de medición y

comunicación que se necesitarán para lograr que el proyecto se lleve a cabo.

- d. **Requerimientos de Estructuras:** En esta etapa se evaluarán las estructuras (Monopostes/Ventadas) necesarias para instalar los equipos de comunicación, pensando en la viabilidad y la seguridad de los operadores.
 - e. **Análisis de requerimientos económicos:** Se requieren inversiones iniciales, también adquirir los dispositivos que se usarán en el proyecto como también el mantenimiento y la mano de obra asociada.
 - f. **Diseño de la solución:** En esta etapa se diseñará la solución propuesta, previo conocimiento del contexto completo de la empresa y ya habiendo realizado los estudios científicos previos.
 - g. **Diseño del Nudo:** Se estudiarán las características necesarias para la total funcionalidad de los Nodos inalámbricos, tomando en cuenta la capacidad de procesamiento, la distancia de las conexiones, material de aislamiento, etc.
 - h. **Diseño de la estructura:** Se estudiarán los tipos y características de las estructuras metálicas que darán soporte a los dispositivos. Analizando su firmeza, altura y movimiento.
 - i. **Cotización:** Se evaluarán los cotes de los componentes principales de la red de alerta, intentando integrar todos los dispositivos que son parte de la infraestructura de la red. Las cotizaciones se llevaron a cabo por correo electrónico y encuestas a las empresas proveedoras.
3. **Actividades de Ejecución:** Las actividades que conciernen la ejecución del proyecto. Aquí se llevarán a cabo los trabajos necesarios para dar punta pie inicial al proyecto. Estas actividades se componen de la instalación de la tecnología propuesta, de manejar el grupo de trabajado, atender a todos los inconvenientes que se pudieran suscitar en la ejecución. Todo esto para intentar pasar a la fase de control con el mínimo de cambios estructurales y de confección.

- a. **Ubicación de la solución:** Se contextualizarán las características del terreno donde se ejecutarán los trabajos de instalación. Se evaluará el terreno dispuesto para acotar el trabajo y realizar la instalación de la manera más practica posible.
- b. **Elección de la ubicación de los nodos:** Los nodos inalámbricos necesitan ser ubicados a lo largo del bosque de manera estratégica. Cada uno presenta características particulares y la lógica de la instalación necesita atender a los requerimientos del cliente. A de más de las estructuras necesarias para dar soporte a los nodos.
- c. **Elección de la ubicación de Estación Base:** Toda la información recopilada por los nodos necesita llegar a un Router Geteway o una estación base que tiene que tener comunicación con el predio.
- d. **Configuración de equipos:** Tanto los equipos sensores, como los dispositivos de medición del viento, los Geteway o los pulsos análogos que entregan las distintas tecnologías, necesitan ser configuradas para una posterior análisis de los datos y los casos a evaluar. Cada dispositivo presenta varias configuraciones que finalmente se verán consolidadas cuando tengan un cargo en la estructura de la red.
- e. **Configuración de simulador:** Se verá la posibilidad de integrar métodos de simulación para estudiar posibles escenarios en los cuales podría verse caracterizada la red. Softwares capaces de dotar de inteligencia a la red y escalar la capacidad. Existen una seria de simuladores (fuego, viento, red) que se podrían integrar al proyecto. Si bien se escapan del alcance, por un tema temporal, pero sería bastante factible su uso a futuro.
- f. **Configuración de los nodos:** Cada nodo será capaz de cumplir con un rol en la red, siendo este preparado para enrutar paquetes, reconfigurarse y dormir la mayor del tiempo para ahorrar energía. Por ejemplo.

g. Simulación: Actividad de vital para crear conocimientos nuevos acerca de las variables más significativas en el estudio del comportamiento del proyecto. Gracias a la simulación el proyecto puede beneficiarse en un alto porcentaje. Existen situaciones probables que se necesitan estudiar para crear modelos mucho más robustos.

4. Actividades de seguimiento y control: Se componen de aquellas actividades realizadas para observar la ejecución del proyecto de forma que se puedan identificar los posibles problemas oportunamente y adoptar las acciones correctivas, cuando sea necesario, para controlar la ejecución del proyecto.

a. Pruebas: Se realizarán pruebas a lo largo de la ejecución del proyecto con el fin de optimizar los diferentes métodos de comunicación, dar una respuesta oportuna a la hora que susciten problemáticas y controlar también todos los procesos finalmente para cuidar las instalaciones, tiempo y los recursos.

b. Pruebas de simulación: Se realizarán pruebas para optimizar la comunicación, pensando en las interferencias y las posibles fallas que se puedan presentar.

c. Análisis: En esta etapa se analizarán los parámetros más importantes en la configuración de la red. Podremos simular distintos escenarios, agregar variables como el viento, las inclemencias climáticas, distintos protocolos. Se podrían agregar escenarios donde se caigan algunos dispositivos, etc.

d. Detección de errores: Se necesita la gestión de la calidad del producto, para ello se necesita de constantes pruebas de calidad, métodos para poder cuantificar los errores y posteriormente optimizar la red.

5. Actividades de cierre: Se necesita también de un periodo de tiempo para evaluar todo el camino emprendido en un proyecto ejecutado. Se necesitarán métodos que estimen oportunas conclusiones, feedback, capacidad de cumplimiento, control del tiempo, etc.

a. Conclusiones.

b. Cumplimiento de los objetivos.

c. Cierre del proyecto.

Una EDT (Estructura de Desglose de Trabajo) hace referencia al área del alcance en la metodología PMBOK, ya que establece las tareas que se realizarán durante el proyecto, poniendo las limitaciones correspondientes, que luego, al asignarles tiempo, se construye una Carta Gantt, accediendo al área del tiempo del PMBOK. A continuación, se procede a asignarle tiempos a estas tareas:

6.4.2 Actividades expresadas en fechas.

Total 185 días / 7 a 8 meses desde el inicio al término.

1. Iniciación --- (total 30 días)

- Introducción --- (2 días)
- Objetivos --- (2 días)
- Alcances --- (10 días)
- Marco teórico --- (6 días)
- Metodologías --- (10 días)

2. Planificación --- (total 45 días):

2.1 Análisis de requerimientos ----- (total 15 días)

2.1.1 Requerimientos técnicos ----- (10 días)

- Nodos y equipos en Gral. --- (5 días)
- Estructuras --- (5 días)

2.1.2 Requerimientos económicos ---- (5 días)

2.2 Diseño de la solución --- (total 20 días)

- Diseño de los Nodos ----- (10 días)

- Diseño Monoposte / Ventada --- (10 días)

2.3 Cotización --- (total 10 días)

- Cotización de nodos y equipos en Gral. --- (5 días)
- Cotización de estructuras --- (5 días)

3. Ejecución --- (total 78 días):

3.1 Ubicación de la solución ----- (total 53 días)

- Ubicación de los Nodos ----- (15 días)
- Ubicación de las estructuras ----- (35 días)
- Ubicación de las Contraventadas --- (15 días)
- Ubicación de los Monopostes --- (20 días)
- Ubicación de Estación Base --- (3)

3.2 Configuración de equipos --- (total 15 días)

- Configuración de los Nodos --- (10 días)
- Configuración de Simuladores --- (5 días)

3.3 Simulación --- (total 10 días)

4. Seguimiento y control --- (total 25 días):

4.1 Pruebas --- (total 5 días)

- Pruebas de transmisión --- (5 días)

4.2 Análisis --- (total 10 días):

- Análisis de simulación ----- (5 días)
- Análisis de transmisión --- (5 días)

4.3 Determinación de errores --- (total 10 días):

- Análisis de mejoras o cambios --- (3 días)
- Implementación de mejoras o cambios --- (7 días)

5. Cierre --- (total 7 días):

- Conclusiones ----- (3 días)
- Cumplimiento de Objetivos --- (2 días)
- Cierre proyecto ----- (2 días)

Se consideró la semana laboral de 5 días de lunes a viernes. Excepcionalmente se trabajó dos sábados por un tema de hacer calzar unas fechas estratégicas. Finalmente los días feriados y festivos se consideraron trabajables.

6.4.3 TABLA 19; DEFINICIÓN Y TIEMPO DE TAREAS.

Nombre actividad	Actividad	Fecha de inicio	Duración (días)	Fecha de término
Introducción	1	02-07-2018	2	03-07-2018
Objetivos	2	04-07-2018	2	05-07-2018
Alcances	3	09-07-2018	10	20-07-2018
Marco teórico	4	23-07-2018	6	28-07-2018
Metodologías	5	30-07-2018	10	11-08-2018
Requerimientos técnicos Nodos y Equipos en Gral.	6	13-08-2018	5	18-08-2018
Requerimientos técnicos Estructuras	7	20-08-2018	5	24-08-2018
Requerimientos económicos	8	27-08-2018	5	31-08-2018
Diseño de los Nodos	9	03-09-2018	10	14-09-2018
Diseño de Monopostes / Ventadas	10	17-09-2018	10	28-09-2018
Cotización de Nodos y equipos en Gral.	11	01-10-2018	5	05-10-2018
Cotización de estructuras	12	08-10-2018	5	12-10-2018
Ubicación de los Nodos	13	15-10-2018	15	02-11-2018
Ubicación de las Contraventadas	14	05-11-2018	15	23-11-2018
Ubicación de los Monopostes	15	26-11-2018	20	21-12-2018
Ubicación de Estación Base	16	24-12-2018	3	26-12-2018
Configuración de los Nodos	17	27-12-2018	10	09-01-2019
Configuración de Simuladores	18	10-01-2019	5	16-01-2019
Simulación	19	17-01-2019	10	30-01-2019
Pruebas de transmisión	20	31-01-2019	5	06-02-2019
Análisis de simulación	21	07-02-2019	5	13-02-2019
Análisis de transmisión	22	14-02-2019	5	20-02-2019
Análisis de mejoras o cambios	23	21-02-2019	3	23-02-2019
Implementación de mejoras o cambios	24	25-02-2019	7	05-03-2019
Conclusiones	25	06-03-2019	3	08-03-2019
Cumplimiento de objetivos	26	11-03-2019	2	12-03-2019
Cierre proyecto	27	13-03-2019	2	14-03-2019

6.4.4 CARTA GANTT DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

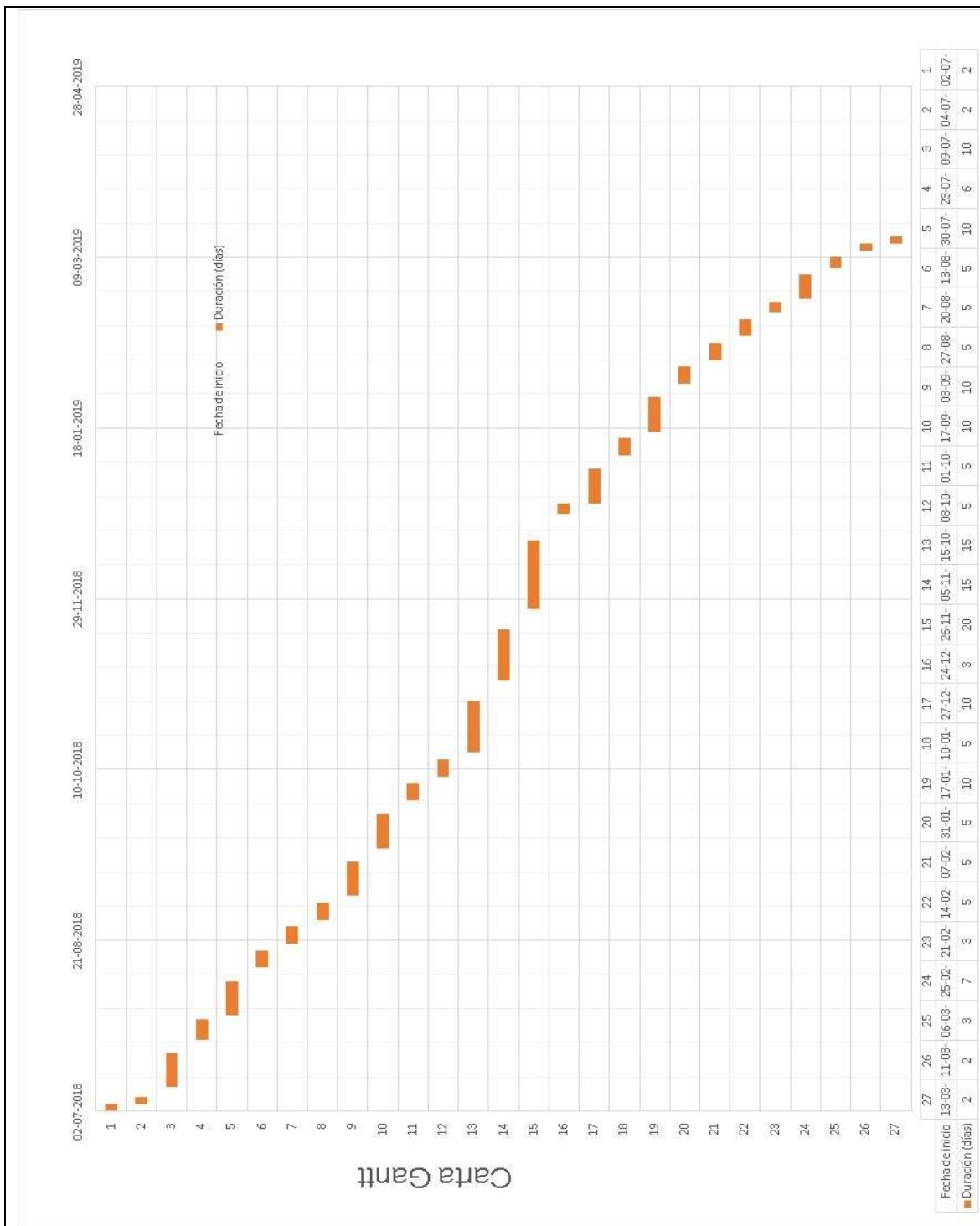


Tabla 20; Carta Gantt esperada con todas las actividades mencionadas en la EDT.

6.5 PLAN DE TRABAJO GENERAL

Los objetivos que se pretenden alcanzar en este plan de trabajo es demostrar la factibilidad de plantear una red de detección temprana **DTIF** hacia lugares de difícil acceso o en particular a una instalación forestal, mediante un despliegue de redes de sensores inalámbricas WSN, la cual se realizará de forma simulada.

Finalmente obtener una solución viable, lógica y con probabilidad de ser adoptada por alguna institución que se interese en su factibilidad.

Para ejecutar el objetivo anteriormente mencionado el plan de trabajo se basará en los siguientes puntos:

1. Factibilidad técnica

- Análisis geográfico y climático del sector a comunicar. (Google Earth).
- Análisis de la inclinación del terreno y posibles interferencias (Google Earth).
- Análisis de cantidad de puntos finales que se desea conectar según el área de cobertura. (Google Earth).
- Análisis de Línea de Vista y los cálculos de Fresnel. Posteriormente realizar un presupuesto de enlace. (Link Budget).

2. Instalación antenas/estructuras

- Anclado o fijación de antenas (Planta externa).
- Orientación de antenas (Omnidireccionales).
- Conexión de fuente energética (Planta externa).
- Instalación de Anemómetros ultrasónicos (Planta externa).
- Bosquejo de “Prototipo” de Sitio Nodal (Nodos Sensores) y distribución en todos los sitios de interés.

3. Ajuste y características de ubicación

- Tabla de ubicación geográfica de los Nodos. (Google Earth).
- Ajuste y precisión de la altura, posición de instalación (Radio Mobile).
- Iniciar la configuración y determinar la estructura de la comunicación (Modelo OSI) y protocolo AODV.

4. Prueba de señales, determinación de errores y Simulaciones

- Se simula las interconexiones, flujo de datos y la topología de la red. (Radio Mobile).
- Se verifica señal recibida, el despeje de Fresnel y posibles escalamientos territoriales. (Radio Mobile).
- Se corrobora correcta recepción de señal desde el Gateway y estabilidad de la red. (Radio Mobile).

5. Puesta en marcha y control

- Se procede a realizar constantes simulaciones de diferentes escenarios y variables, fuego, mapa de vientos y redes de sensores. Para así obtener un conocimiento nuevo, empírico y original.
- Se analiza el posible escalamiento del proyecto hacia nuevas áreas de interés adyacentes.

VII ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Para analizar los requerimientos de este proyecto de investigación, se ocupará el estándar de IEEE 830, que es un tipo de formato para plasmar de manera formal los requisitos solicitados por el cliente o el trabajo de investigación. Si bien este formato está orientado a software, es aplicable al trabajo de investigación, ya que, se presenta un producto final lleno de requerimientos tanto funcionales como no funcionales.

A continuación, se documentarán los requerimientos de este proyecto de investigación, uno a uno, de manera detallada.

7.1 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Identificación del requerimiento:	RF01
Nombre del Requerimiento:	"Línea de vista"
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Despejar la Zona de Fresnel (60%).
Descripción del requerimiento:	El sistema se deberá implementar de forma que pueda comunicarse de forma correcta, todos los nodos de la red necesitan tener línea de vista con sus vecinos próximos y por tanto despejados la primera Zona de Fresnel con un mínimo de 60% para lograr una viabilidad de conexión.
Prioridad del requerimiento:	Alta

Identificación del requerimiento:	RF02
Nombre del Requerimiento:	" Escalabilidad del sistema "
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema escalable a nuevas dependencias.
Descripción del requerimiento:	El sistema se deberá implementar de forma que pueda ser rediseñado para poder interconectar las áreas de interés adyacentes (Forestales) y lograr un crecimiento exponencial.
Prioridad del requerimiento:	Alta

Identificación del requerimiento:	RF03
Nombre del Requerimiento:	" Vida útil "
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad energética de los Nodos.
Descripción del requerimiento:	El sistema se deberá implementar de forma que pueda tener una autonomía energética. Es de suma importancia que la red sea capaz de durar en funcionamiento por muchos meses incluso años. Logrando así la fiabilidad de la comunicación y el retorno de la inversión a lo largo del tiempo.
Prioridad del requerimiento:	Alta
Identificación del requerimiento:	RF04
Nombre del Requerimiento:	"Tolerancia a Fallas"
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de autoconfiguración.

	<ul style="list-style-type: none"> • Fallas, daños físicos.
Descripción del requerimiento:	<p>Debe considerarse que el comportamiento de las WSN es impredecible, y que generalmente se producen fallas en ellas. Estas fallas pueden generar zonas ciegas dentro de la WSN, debido al aislamiento de un cierto número de sensores. Esto puede llevar a comportamientos anormales de la red, y hasta situaciones de colapso total de extensas redes. Es por esto que es necesario que el sistema cuente con mecanismos preventivos de seguridad e inteligencia para auto configurarse.</p>
Prioridad del requerimiento:	Alta

Identificación del requerimiento:	RF05
Nombre del Requerimiento:	"Tiempo de respuesta"
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de muestreo. • Configuración de la Red.
Descripción del requerimiento:	<p>Considérese el caso típico de disparo de una alarma. Ante estos eventos la celeridad es la mejor consejera, tanto para asistencia física en el lugar del evento, como el reporte a los responsables de responder ante la mencionada situación. Se instalan las alarmas e implementan los métodos de notificación de manera de dispararse justamente en el momento de</p>

	intrusión. Para ello es fundamental que el sistema tenga la configuración necesaria para detectar un evento de forma clara y práctica para no obtener falsas alarmas.
Prioridad del requerimiento:	Alta

Identificación del requerimiento:	RF06
Nombre del Requerimiento:	" Ubicación Geográfica"
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación con coordenadas. • Accesibilidad del terreno.
Descripción del requerimiento:	La accesibilidad a los sitios nodales y la ubicación geográfica son de suma importancia a la hora de asistir cuando se genere un evento. Por ello, el los dispositivos deben una nomenclatura clara y una ubicación única (geográfica), además de que el terreno posea accesibilidad.
Prioridad del requerimiento:	Alta

Identificación del requerimiento:	RF07
Nombre del Requerimiento:	"Datos de variables climáticas"

Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de meteorología. • Estaciones propias meteorológicas. • Mapas de propagación.
Descripción del requerimiento:	El sistema se deberá implementar de forma que puedo muestrear las variables del viento (Dirección, °) para procesarlas en la central y comprarlas con mapas o simuladores de propagación.
Prioridad del requerimiento:	Intermedia - Alta

7.2 REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

	RNF01
Nombre del Requerimiento:	"Seguridad de la información"
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos de seguridad lógica. • Encriptación.
Descripción del requerimiento:	La seguridad en las WSN es un tema que cobra importancia a medida que las aplicaciones experimentales de las mismas están migrando hacia la industria. La seguridad es una función inherente de las redes de computadoras hoy en día. Los nodos contienen en su estructura lógica la capacidad de generar métodos de seguridad con encriptación, pero que en la práctica por las características de nuestra experiencia práctica, y el escenario

	planteado no se generarían problemáticas de mayor envergadura.
Prioridad del requerimiento:	Intermedia - Alta

Identificación del requerimiento:	RNF02
Nombre del Requerimiento:	"Aplicativos amigables con el usuario"
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de fácil uso. • Creadas para el público general.
Descripción del requerimiento:	<p>La interacción de un operador de red o persona natural con un aplicativo de gestión o monitoreo del sistema, no es del mismo nivel de un administrador de redes. Si bien se deben generar sistemas orientados a la comprensión de las personas, no es un requisito excluyente. La idea es generar aplicativos lo más prácticos posibles y capaces de comunicarnos de forma rápida con metodologías en línea y temas de interés.</p>
Prioridad del requerimiento:	Intermedia - Alta

Identificación del requerimiento:	RNF03
Nombre del Requerimiento:	"Ahorro energético"
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Limitante de la red. • Topología de la red.
Descripción del requerimiento:	El consumo energéticos de los Sensores es bastante bajo en relación a la mayoría de los dispositivos de comunicación y procesamiento inalámbrico. Es necesario crear redes de sensores con autonomía energética y duración prolongada en el tiempo para sus distintas aplicaciones. En nuestro caso en particular los sitios tendrán alimentación vía paneles solares.
Prioridad del requerimiento:	Intermedia - Alta

Identificación del requerimiento:	RNF04
Nombre del Requerimiento:	"Comunicación Tx - Rx > 400 metros"
Características:	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia/ganancia de la antena. • Accesibilidad del terreno.
Descripción del requerimiento:	Los dispositivos seleccionados son capaces de comunicarse sobre los 300 metros de distancia (2,4Ghz, 9 dBi), pero como la comunicación es de un solo salto, solo necesitan la capacidad de comunicarse con sus vecinos más próximos. (Véase topología).
Prioridad del requerimiento:	Intermedia - Baja

7.3 MATRIZ DE TRAZABILIDAD

	RF01	RF02	RF03	RF04	RF05	RF06	RF07
OE01		x	x			x	
OE02	x			x	x	x	
OE03						x	x
OE04	x		x		x		

Tabla 21; Requisitos funcionales vs cumplimiento de objetivos.

VIII ANÁLISIS DE DISTINTAS SOLUCIONES

En la siguiente etapa del proyecto, se evaluarán distintas tecnologías o alternativas a la formulación actual de la solución del presente proyecto.

Aquí se podrá apreciar las características, estructuras y funcionamiento general de distintas tecnologías con características funcionales similares a WSN Zigbee.

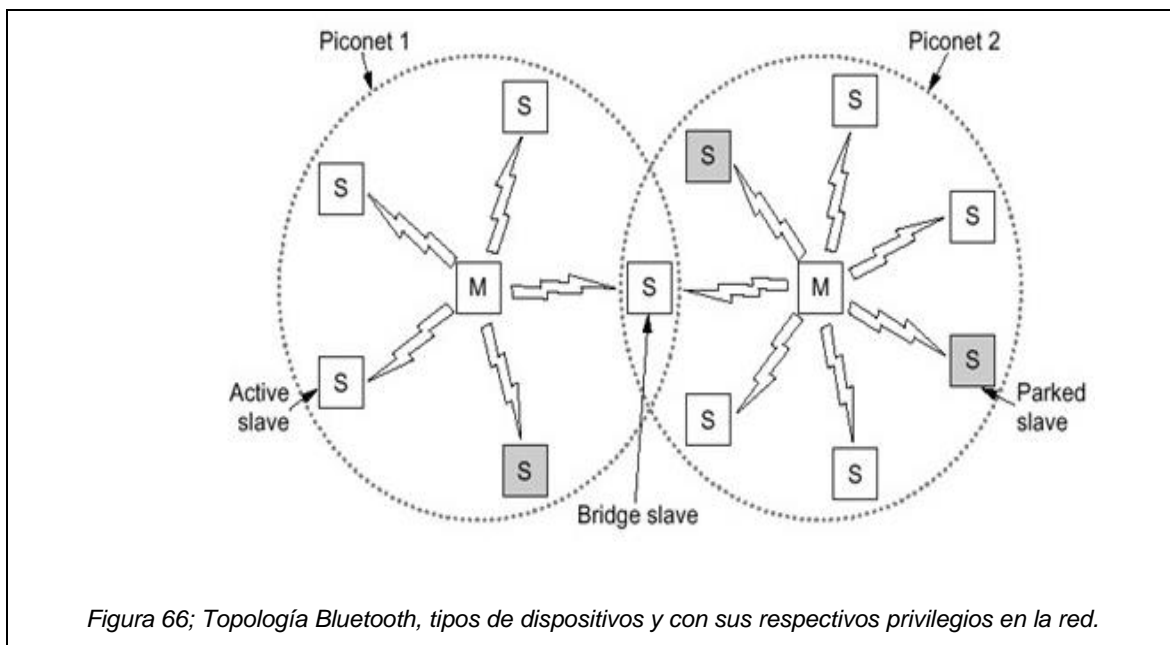
Se puede mencionar brevemente, que las WSN pertenecen a la familia de comunicación de baja frecuencias (Low Rate) además, de ser una red de área personal inalámbrica **WPAN**.

Bajo este contexto se debe evaluar la factibilidad de aplicar soluciones de esta índole; como podrían ser aplicaciones con tecnología **BLUETOOTH o WIFI**, ya que, pertenecen a la misma familia o tipo de comunicación inalámbrica.

8.1 BLUETOOTH

La tecnología Bluetooth es una especificación abierta de radio de corto alcance para comunicaciones inalámbricas de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Se centra alrededor de un microchip de 9mm x 9mm de tamaño que funciona como un enlace de radio de corto alcance y bajo costo. Dicha tecnología provee seguridad tanto a equipos estacionarios como móviles. Su función básica es la de proveer una tecnología inalámbrica estándar que reemplace la cantidad de cables utilizados en los enlaces hoy en día. Bluetooth aparece asociado a las Redes de Área Personal Inalámbricas (WPAN – Wireless Personal Area Network). Este concepto hace referencia a una red sin cables que se extiende a un espacio de funcionamiento personal o POS (personal operating space), (Noth Suárez J. C. Linares Pérez, W. O 2003).

8.1.2 Topología.



8.1.3 Especificaciones:

- Realiza una transmisión simultánea Full dúplex de voz y datos.
- Las señales son omnidireccionales, por lo que los equipos no necesitan estar apuntados los unos con los otros.
- Banda de Frecuencia: banda libre ISM 2.4 GHz (rango de 2.402 GHz a 2.48GHz).
- Soporta aplicaciones tanto síncronas como asíncronas, facilitando la implementación de una gran variedad de equipos para una gran variedad de servicios tales como voz e Internet.
- Potencia del transmisor: 1 mW para 10 metros, y 100 mW para 100 metros.
- Modulación: espectro Expandido, Secuencia Directa Híbrida y Saltos en Frecuencia.
- Canales máximos de voz: 3 por Piconet (64 Kbps bidireccional).

- Canales máximos de datos: 7 por Piconet.
- Velocidad de datos: hasta 721 kbps asimétrico (hasta 57.6 Kbps de retorno) o 433.9 Kbps simétrico. Se espera doblar en la siguiente generación.
- Rango óptimo del sistema: 10 metros.
- Número de dispositivos: 8 por Piconet y hasta 10 Piconets juntas.
- Seguridad: la provee la capa de enlace.
- Consumo de potencia: desde 30 uA en stand-by hasta 8-30 mA (a 2,7 v) transmitiendo.
- Interferencia: Bluetooth minimiza la interferencia potencial al emplear saltos rápidos en frecuencia (1600 veces por segundo).

8.1.4 Arquitectura de hardware.

El hardware de Bluetooth está compuesto por dos partes. Un dispositivo de radio, encargado de modular y transmitir la señal; y un Controlador digital. El Controlador Digital está compuesto por una CPU, un procesador de señales digitales (DSP - Digital Signal Processor) llamado controlador de enlace (LC – Link Controller) y de los interfaces con el dispositivo anfitrión. La figura 67 muestra el esquema del controlador digital de un dispositivo Bluetooth.

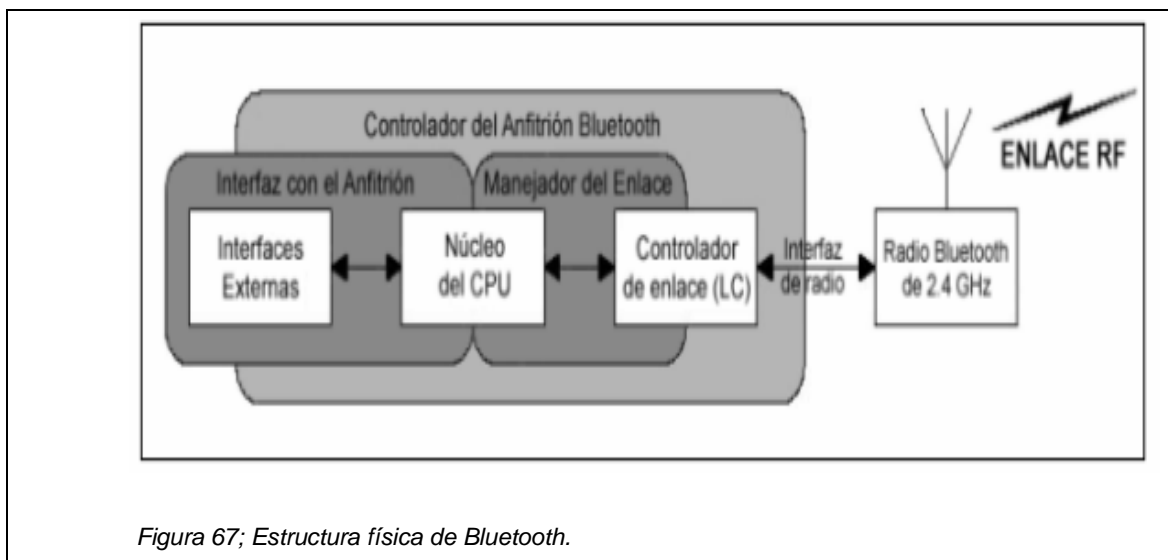


Figura 67; Estructura física de Bluetooth.

8.2 WIFI

Una de las tecnologías más utilizadas en la actualidad para la creación de redes inalámbricas de área local es WiFi. Inicialmente era muy habitual que las redes inalámbricas se llevasen a cabo utilizando soluciones particulares de cada fabricante, ya que los diferentes dispositivos que existían en el mercado eran incompatibles entre sí. Esto suponía estar sometido siempre a las limitadas soluciones que un solo fabricante puede ofrecer. Para normalizar la situación, se desarrolló un sistema que fuese aceptado por todos los fabricantes como sistema común. De esta forma, se creó la asociación WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), actualmente conocida como WiFi Alliance, cuyo objetivo fue designar una marca que permitiese fomentar la tecnología inalámbrica y asegurar la compatibilidad de equipos. Además WECA certifica la interoperabilidad de equipos según la norma IEEE 802.11. Esto quiere decir que el usuario tiene la garantía de que todos los equipos que tengan el sello WiFi pueden trabajar juntos sin problemas, independientemente del fabricante de cada uno de ellos (Noth Suárez J. C. Linares Pérez, W. O 2003), (Yunquera Torres J. J. 2005).

8.2.1 Estándares IEEE 802.11.

La familia de estándares de redes WLAN IEEE 802.11 ha sido la causa de la incorporación y el desarrollo rápido de las redes WLAN en el mercado. Dentro del grupo de trabajo IEEE 802.11 se pueden encontrar diferentes estándares:

- **La norma 802.11b** trabaja en la banda de 2,4 GHz y permite obtener una velocidad de hasta 11 Mbps. Surgió como una evolución de la 802.11 en el año 1999, con el objetivo de solventar el problema de velocidad que esta presentaba.

- **La norma 802.11a;** define el funcionamiento de equipos en la banda de 5 GHz, permitiendo velocidades de hasta 54 Mbps. Fue aprobada el mismo año que la norma 802.11b pero, a pesar de las ventajas de la tecnología debido a la banda de frecuencia utilizada, su adopción ha sido muy lenta. En un principio la calidad de los sistemas 802.11a presentó problemas en cuanto a fiabilidad, lo cual junto a un precio elevado debido al mayor coste y dificultad de fabricación de los elementos necesarios para construir estos sistemas, retrasó su implantación en un primer momento.
- **La norma 802.11g;** fue aprobada en el año 2003. Se trata de una tecnología que opera en la banda de los 2,4 GHz y proporciona una velocidad máxima de 54 Mbps. La principal ventaja de esta tecnología reside en la mayor velocidad aportada y la compatibilidad con la base de equipos Wi-Fi conformes a la norma 802.11b ya instalados.
- **La norma 802.11n;** fue publicada en el año 2007, con el objeto de dar mayor velocidad que las existentes hasta el momento, pasando de 54 Mbps a unos teóricos 600 Mbps. Ofrece la posibilidad de funcionar en ambas bandas, tanto en 2,4 GHz como en 5 GHz. Una de las grandes ventajas de la nueva norma es la compatibilidad con las normas anteriores lo cual posibilita la integración de sistemas nuevos en redes ya existentes y una migración sencilla y económica.

Actualmente hay una gran oferta de sistemas con posibilidades de conexión WiFi 802.11n en 2,4 GHz, pero pocos que soporten la banda de 5 GHz o proporcione conexión dual. El menor coste y la compatibilidad con los sistemas WiFi anteriores que funcionan en la banda de 2,4 GHz causo esta tendencia del mercado.

Para conseguir esta mayor velocidad, los equipos 802.11n siguen dos estrategias: un mayor ancho de banda del canal y uso de la tecnología MIMO con división por multiplexación espacial (SDM).

El ancho de banda que ocupa un canal en 802.11n pasa de los 20 MHz que ocupaban los sistemas anteriores, a 40 MHz. Esto no es un problema en 5GHz, donde los canales no se solapaban, pero en 2,4 GHz, un canal de 40 MHz ocupa el 82% de la banda disponible. Esto implica que no podrán coexistir dos canales 802.11n sin solapamiento en 2,4 GHz y que este solapamiento abarcará además la mayoría del canal. Incluso con sistemas WiFi de otras normas o equipos no WiFi que emitan en esta frecuencia (como Bluetooth, teléfonos inalámbricos,...) el espectro libre será mínimo, quedando casi asegurada la interferencia con el resto de sistemas.

Protocolo	Año de publicación	Frecuencia	Ancho de banda	Velocidad de datos (típica)	Velocidad máxima	Alcance interior	Alcance exterior
802.11b	1999	2.4 GHz	20 MHz	6.5 Mbps	11 Mbps	~100 m	~200 m
802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	25 Mbps	54 Mbps	~ 70 m	~ 70 m
802.11g	2003	2.4 GHz	20 MHz	25 Mbps	54 Mbps	~ 38 m	~ 140 m
802.11n	2009	2.4 GHz 5 GHz	20 MHz a 40 MHz	200 Mbps	600 Mbps	~ 70 m	~ 250 m
802.11ac	2012	5 GHz	20, 40, 50 y 160 MHz	-	>1 Gbps	~70 m	~ 250 m

Tabla 22; Estándares de comunicación IEE 802.11.

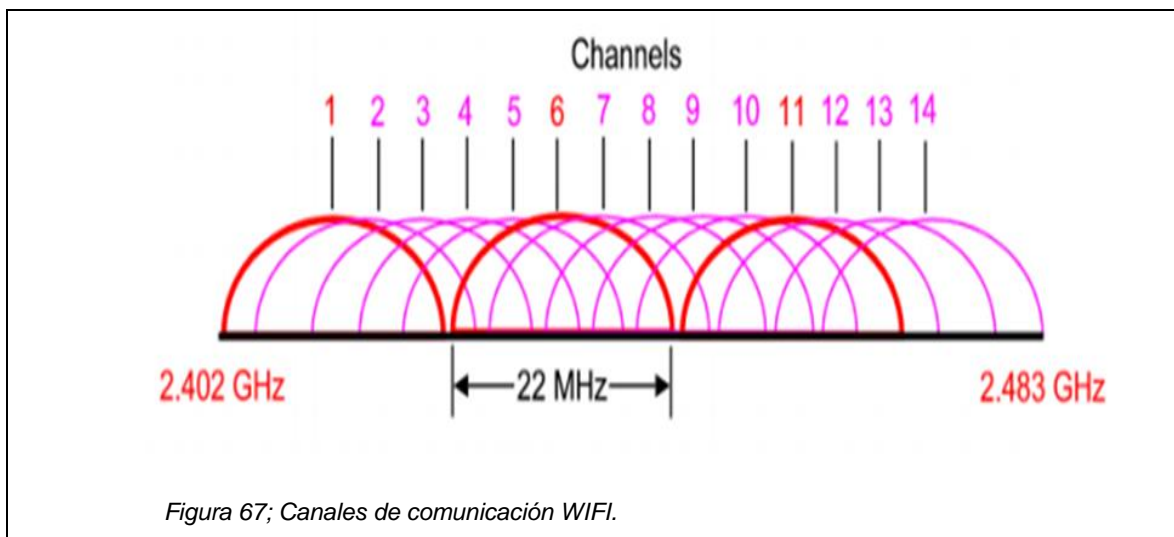
Otro parámetro a tener en cuenta a la hora de diseñar una red WiFi es el alcance de su cobertura inalámbrica. Algunos de los motivos por los que puede variar el alcance de la señal son los siguientes:

- Las obstrucciones en el trayecto que recorre la señal como pueden ser árboles, edificios, paredes, accidentes geográficos, etc.
- Tipo de material con que está construida la locación donde se desea recibir la señal WiFi.

- Potencia de emisión de la estación base o Punto de Acceso
- Posición y ubicación de la antena receptora
- Ganancia de la antena receptora.
- Interferencias que puedan provenir de otros sistemas radioeléctricos.
- Longitud del cable que une la antena receptora con la placa WiFi.

8.2.2 Canales.

Existen un total de 14 canales, aunque cada país y zona geográfica aplica sus propias restricciones al número de canales disponibles. El ancho de banda por canal en la banda de 2.4GHz es de 22MHz y la separación entre ellos es de 5MHz. Esto hace que se produzca un solapamiento de todos los canales con sus adyacentes como se puede observar en la figura 68:



Aparece un concepto importante a tener en cuenta a la hora de asignar las frecuencias: el solapamiento. Como puede observarse en la figura, el canal 1 se superpone con los canales 2, 3, 4 y 5, y por lo tanto los dispositivos que emitan en ese rango de frecuencias pueden generar interferencias. Lo mismo ocurre con el canal 6 y los canales 7, 8, 9 y 10, y con el canal 11 y los canales 12, 13 y 14. Por lo tanto, para obtener un rendimiento óptimo de la red inalámbrica WiFi, nuestros equipos Access Point (AP) se deben configurar en los canales que

están más separados, bien sea el canal 1, el canal 6 o el canal 11, dependiendo del nivel de saturación de nuestra zona de cobertura.

8.2.3 Topología.

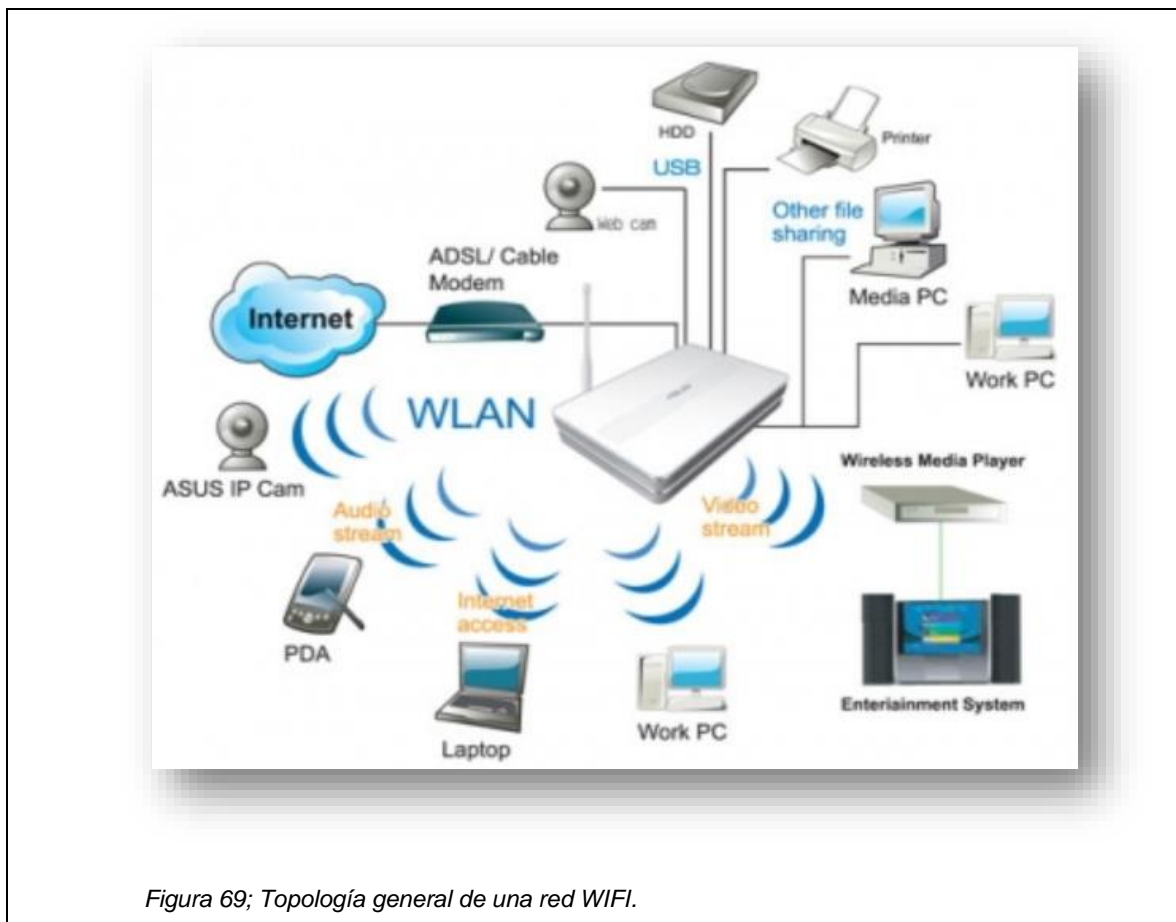


Figura 69; Topología general de una red WIFI.

8.3 TABLA DE COMPARACIONES

Estándar	WI-FI 802.11 g	WI-FI 802.11 b	Bluetooth 802.15.1	ZigBee 802.15.4
Aplicación principal	WLAN	WLAN	WPAN	Control y Monitorización
Memoria necesaria	1MB y más	1MB y más	250KB y más	4KB a 32KB
Vida Baterías (días)	0.5 a 5	0.5 a 5	1 a 7	100 a 1000 y más
Tamaño red	32 nodos	32 nodos	7	65000
Velocidad	54Mbps	11Mbps	720Kbps	20 a 250Kbps
Cobertura (Metros)	100	100	10	100 a 5000
Parámetros más importantes	Velocidad y flexibilidad	Velocidad y flexibilidad	Perfiles de aplicación	Fiabilidad, bajo consumo y bajo costo.

Tabla 23; Comparación entre tecnologías propuestas para el diseño de la red de alerta. Principales características y diferencias.

8.4 DISCUSIÓN

- Se puede mencionar que las tres alternativas planteadas funcionan de manera inalámbrica y pertenecen a redes de área personal inalámbrica WPAN. Pero que en la práctica presentan distintas características de estructura y funcionamiento.
- Bluetooth presenta una limitante en la escalabilidad de la red; solo se pueden agrupar en topologías de máximo 10 dispositivos, además de su alcance de máximo de 100 metros teórico. No se podrían ubicar en las soluciones planteadas, puesto que se necesitará llenar de dispositivos el área geográfica, y los costos energéticos que asumiría la red para inter operar serían poco probables de aplicar.
- Además, WIFI presenta todas las limitantes antes mencionadas en Bluetooth, y también presenta interferencias entre los canales de comunicación. Por tanto, si se tuviera que desplegar una cierta cantidad de Nodos estaríamos limitados a las características de los canales presentes. Existiría mucha pérdida de información y la tasa de muestreo efectiva *Throughput* se vería altamente alterada.
- Existen numerosas desventajas en las tecnologías mencionadas anteriormente por ejemplo, el precio, el alcance, la seguridad, el consumo energético y el enfoque de la conexión, entre otros.

IX DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

9.1 UBICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

- **Forestal Nilahue:**

La empresa forestal Nilahue S.A, en una empresa forestal que se dedica al cultivo forestal y comercialización de maderas procesadas, especialmente de la especie Pino Radiata. Cuenta con bosques propios de monocultivo con especies de todas las edades y alturas. Especialmente algunos ejemplares de más de 35 años de edad, alcanzando su máximo esplendor de crecimiento y materia prima.

Posee múltiples complejos de monocultivos en la zona (Alto Colorado) y también en sectores de la quinta región. Su patrimonio alcanza aproximadamente las 7.000 hectáreas de bosque de Pino. Según pudo comentarme el encargado de predios y seguridad de Alto Colorado don Carlos Cabello. albertocabello1969@gmail.com / fono: 9-81633711.

El área de estudio se encuentra ubicada al norte de Pichilemu, provincia de Cardenal Caro, Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Sector Alto Colorado.

Cabe destacar que la zona estudiada cuenta con múltiples áreas forestales de diferentes instituciones privadas y estatales. Lugares propicios para la posible expansión y escalabilidad futura del presente proyecto.

La metodología de detección de incendios forestales usadas por Nilahue se centran en los métodos terrenos móviles; cuentan con una brigada de 13 personas que se encargan de monitorear por torres de observación 24/7 y con escaza cartografía asociada. También parte de esa brigada se encarga del traslado y combate de los incendios.

Es una zona de bastante ocurrencia de incendios forestales, al año en Nilahue en particular presentan un promedio de 10 incendios de mediana envergadura, trayendo consigo pérdidas de patrimonio, mano de obra, económicas, etc.



Figura 70; Emplazamiento y faenas de la forestal Nilahue.

9.1.1 Características geográficas y climáticas.

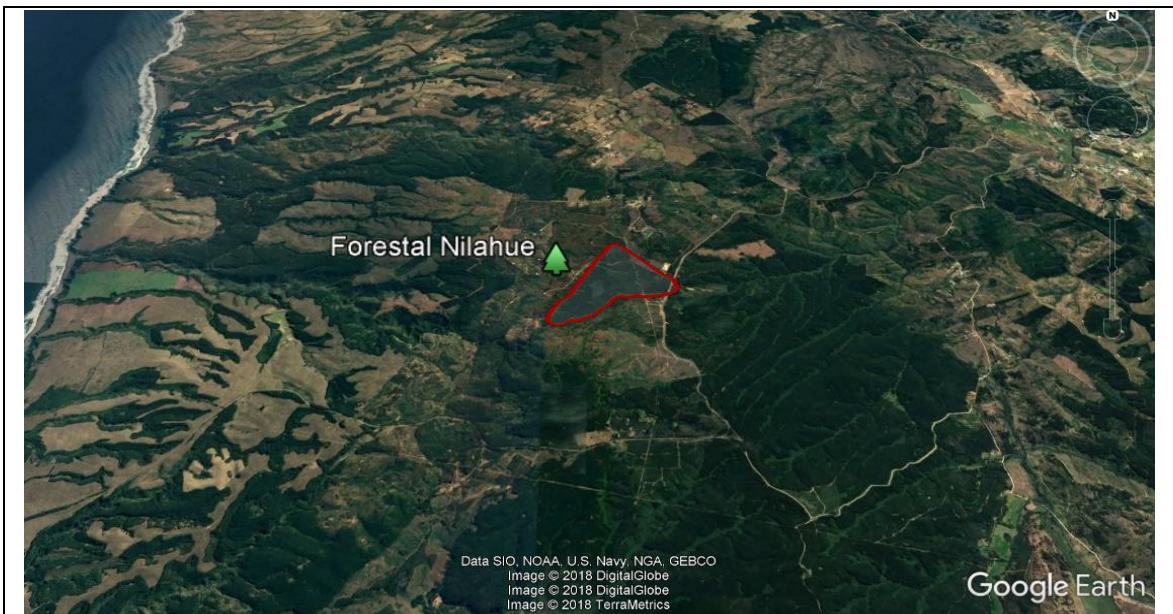


Figura 71; Lugar de la instalación del sistema de monitoreo WSN utilizando Google Earth.

9.1.2 Descripción del sistema físico natural de la zona.

a. Clima: Según la clasificación taxonómica la cual se basa en las características de precipitaciones y temperaturas de un determinado lugar, el área de estudio se encuentra dentro de la unidad climática denominada Mediterráneo, con temperaturas moderadas y estación seca en verano. El promedio anual de temperatura oscila entre los 12°C y los 15°C. La humedad relativa es de 70% la mayor parte de los meses del año, incluso aumenta en los meses de invierno hasta un 88%. Esto es resultado de la influencia marítima. Los vientos provienen principalmente del suroeste y se producen generalmente después del mediodía, aumentando su intensidad a medida que avanza el día. En las mañanas se presentan vientos del este. En invierno se registran vientos del noroeste.

b. Vegetación: Como se mencionó con antelación, el clima es clasificado como mediterráneo templado, lo que significa que posee inviernos muy fríos y húmedos, y veranos muy secos y cálidos, determinando de esta forma la vegetación presente.

Es necesario mencionar que la vegetación natural del territorio se encuentra muy intervenida, por lo que las especies introducidas aquí también juegan un rol importante, pues las principales empresas forestales de la región se encuentran en las cercanías y hacia la cordillera de la costa. El pino radiata, es una de las especies más comunes, en conjunto con el eucalipto y los álamos, ocupando un 48% de la superficie total de suelo.

c. Geomorfología: En la comuna se presentan en términos generales, tres rasgos morfológicos: Cordillera de la Costa, se caracteriza por la presencia de cerros y pendientes fuertes con aptitudes forestales y eventualmente ganaderas y agrícolas, con presencia de “Riesgos y desarrollo en la zona costera de la comuna de Pichilemu, VI Región del Libertador Bernardo O’Higgins” 22 asentamientos dispersos en el territorio, normalmente vinculados a algunos

cursos de agua que facilitan las labores agrícolas y las vías de acceso y de circulación interior de la comuna.

9.1.3 Factibilidad de instalación.

Para dar inicio al proyecto, primero que todo se buscará mediante Google Earth la ubicación satelital exacta del lugar que busca interconectar mediante WSN. A continuación en la figura 72, se puede ver la ubicación actual de las instalaciones en estudio.

Cabe destacar que se trata de 170 hectáreas de plantaciones de Pino Radiata en estado de adultez alcanzando un promedio de 20 metros de altura. El lugar presenta un perímetro de 5,9 Kilómetros. También presenta una pendiente de más o menos 100 metros de diferencia partiendo en los 530 metros y finalizando en los 430 metros aproximadamente.



Figura 72; Lugar detallado de la instalación del sistema de monitoreo WSN utilizando Google Earth.

9.1.4 Elevación y estructura del suelo.

Para comenzar a ver si es posible interconectar los nodos sensores con sus vecinos y realizar una conexión de tipo malla con saltos de información dentro de sus vecindarios. Se realizó un análisis de existencia de Línea de Vista LOS, para ello se verificaron las condiciones del terreno como distancias, elevación de un punto a otro y perfil geográfico a través de Google Earth.

Se verificó la factibilidad geográfica de realizar la interconexión con cada uno de los nodos utilizando 19 monopostes livianos de 20 metros (Nodos Sensores) y 2 antenas contraventadas livianas de 30 metros (Nodos Sensores, Estaciones Meteorológicas). La altura de los árboles en aquella zona haciende a los 20 metros como máximo.

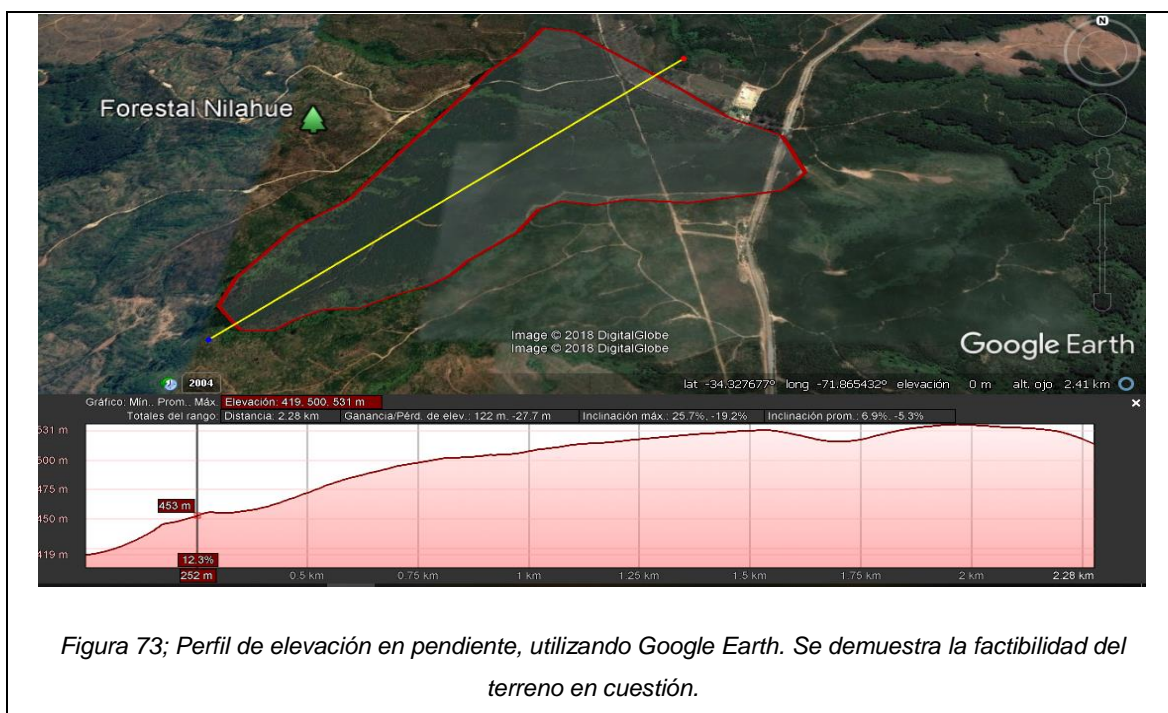


Figura 73; Perfil de elevación en pendiente, utilizando Google Earth. Se demuestra la factibilidad del terreno en cuestión.

En conclusiones las condiciones del terreno cumplen con las características para realizar enlace por medio de WSN. El terreno no presenta mayores obstrucciones para realizar las instalaciones, tomando en cuenta también que es de fácil acceso, ya que, posee caminos interiores propios.

9.2 TOPOLOGÍA DE RED

Tomando en cuenta las características que debe cumplir el sistema y haciendo un pequeño análisis del tamaño del territorio estudiado, se necesita ubicar los dispositivos sensores de la marca **Advantics CM5000 SMA** a 400 metros equidistantes unos de otros. Utilizando un concepto matemático de Teselación Triangular (Equiláteros). Se opta por las teselaciones formadas por triángulos, ya que, así cada nodo mantiene una conexión equidistante con sus vecinos, logrando una similitud en los tiempos de propagación de la información, se realiza una mejor distribución de los nodos sobre la zona en estudio y se facilita el análisis del funcionamiento de la red (Caicedo Ortiz J. C. Acosta Coll M. A. Cama-Pinto A. 2014).

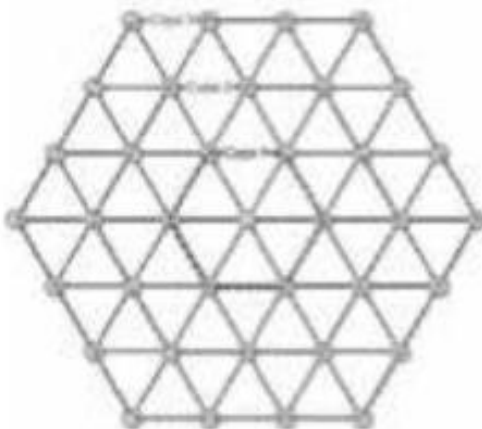
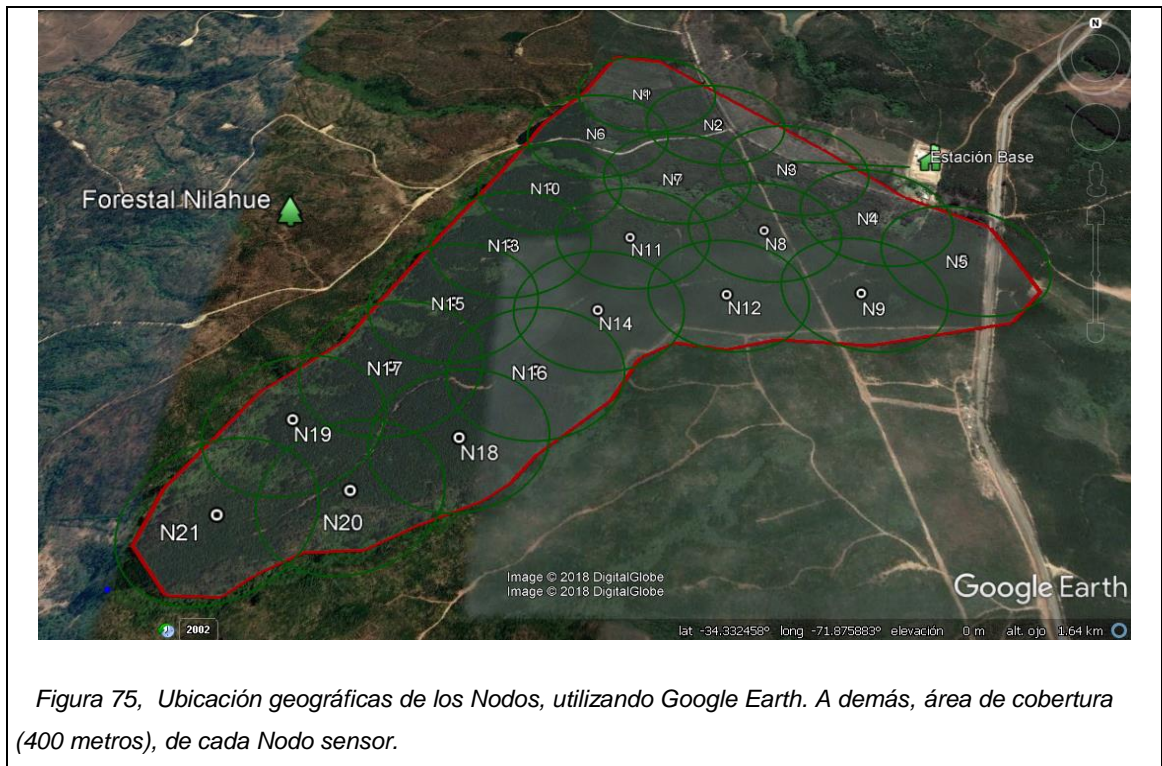


Figura 74; Representación gráfica de la Teselación con Triángulos Equiláteros.

Un punto importante se trata del consumo energético, el cual será despreciable para el proyecto, puesto que, los Nodos sensores tendrán una fuente de alimentación fotovoltaica.

Por tanto, los esfuerzos energéticos de transmisión, procesamiento y métodos de comunicación en general, estarán sustentados de forma completa.

- **Círculos:** Área de cobertura Nodos.
- **Polígono:** Área de estudio.

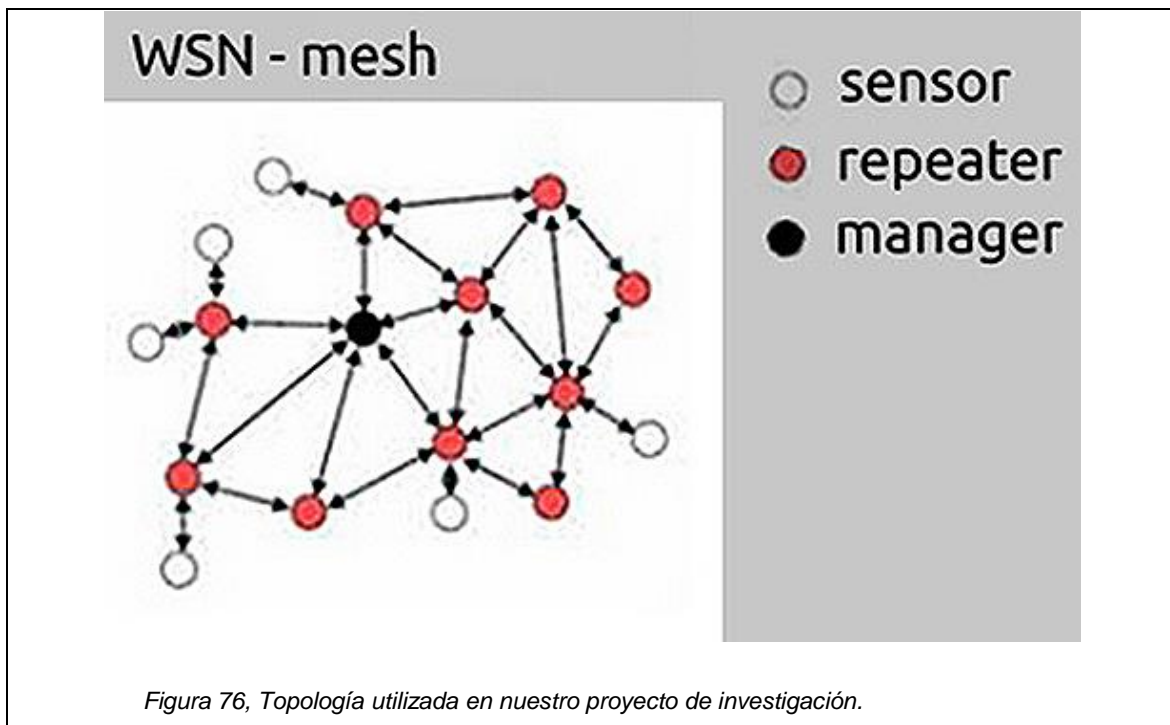


9.2.1 Topología propuesta.

La topología que se adecua a las necesidades comunicacionales; estructura del terreno y consumo energético, puede ser la topología de **malla o full mesh** (Durukan Odabasi S. & Durukan Odabasi A. 2011).

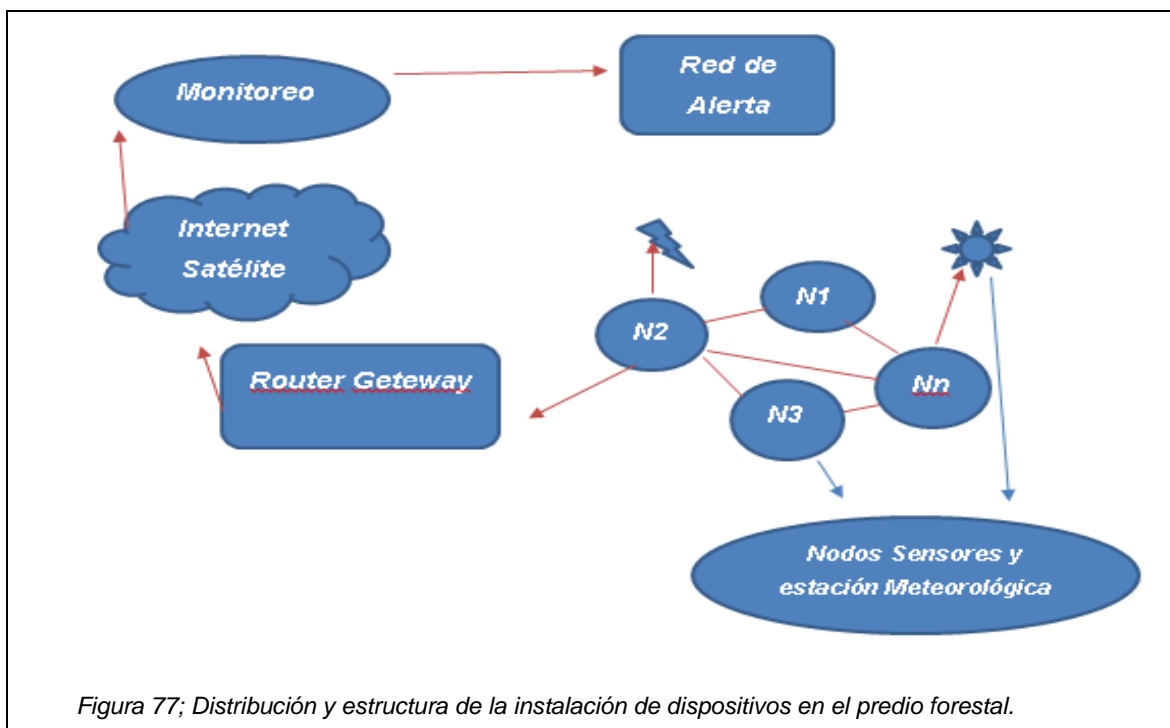
La topología de red de malla soluciona muchos problemas al usar:

- Trayectorias de comunicación redundante para aumentar la fiabilidad del sistema.
- En una red de malla, los nodos mantienen múltiples trayectorias de comunicación al gateway, así si el nodo ruteador falla, la red automáticamente enruta los datos a través de una trayectoria diferente.



9.3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO TÉCNICO Y ESTRUCTURAL

9.3.1 Componentes técnicos de la red:



9.4 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA RED

La infraestructura de Red se compondrá de Nodos sensores desplegados de forma estratégica a lo largo del terreno en estudio.

Cada sitio estará compuesto por dos tipos de “Sitios Nodales”. El primer tipo será una estructura monoposte de 20 metros de altura adherida con un uno o más Nodos sensores.

La segunda estará compuesta de una estructura contraventana de 30 metros con uno o más Nodos sensores y un Anemómetro Ultrasónico, que estará encargado de censar variables sobre el comportamiento del viento.

Cabe destacar que cada sitio nodal tendrá un dispositivo fotovoltaico encargado de proveer de energía más que suficiente para todo el flujo de la red.

La red también tiene como parte fundamental la inclusión de un Router o Gateway WSN, que será encargado de administrar la red de forma local y otorgar salida a Internet.

9.4.1 Nodos sensores.

Se necesitarán instalar 21 Nodos a lo largo y ancho del terreno. Ubicados con coordenadas geográficas. Utilizaremos la familia **CM5000 SMA** de la marca Advantics. Cada Nodo presenta características bastante buenas y se adhieren perfectamente a nuestras necesidades.



Figura 78; Nodo Sensor de la marca Advantics CM5000 SMA

9.4.2 Especificaciones.

Descripción	Especificaciones	Documentos	Ejemplos
ITEM	Especificación		Remark
Processor	TI MSP430F1611		
Memory	48KB		Program flash
	10K Byte		Data RAM
	1MB		External Flash ROM
Current Draw	1.8mA/ 5.1uA		Active/ Sleep mode
ADC	12bit resolution		8 channels
Interface	UART, SPI, I2C, USB		Serial interfaces
RF Chip	TI CC2420		
Freq. band	2.4G ~2.485GHZ		IEEE 802.15.4 compliant
Sensitivity	-95 dBm typ.		Receive sensitivity
RF power	-25dBm~0dBm		
Range	450m(outdoor), 50~80m(indoor)		
Power supply	2.1V~3.6V		CC2420 input power
Antenna	Dipole Antenna / PCB Antenna.		
	Conector SMA adicional para conectar antena externa		LCA24-804015

Tabla 24; Especificaciones técnicas del Nodo Sensor utilizado en el presente proyecto.

9.4.3 Router WSN.

Se necesitará un dispositivo que sea capaz de recibir e administrar los datos enviados por los nodos. Para ello usaremos un Router de la familia Advantics con capacidad de generar sus propias organizaciones internas como lo son; tablas de enrutamiento, privilegios de dispositivos, base de datos local, etc. También cumplirá la misión de otorgarnos salida a **INTERNET**.

SG-1000 Embedded PC & 802.15.4 Gateway: El Gateway Ethernet-802.15.4 es un PC embebido que actúa como un concentrador de datos y a la vez puede ejercer la función de coordinador para su Red de Sensores Inalámbrica (WSN). Su arquitectura robusta permite procesar grandes volúmenes de información provenientes de una extensa red de sensores, teniendo como única limitante la memoria física del sistema. Gracias a su interfaz ethernet, es posible acceder a la información desde virtualmente cualquier ubicación con conexión a Internet.



Figura 79; Router de la familia Advantics, SG-1000 Embedded PC & 802.15.4.

9.4.4 Características:

- Gateway 2.4 GHz IEEE 802.15.4.
- Ethernet.
- Capacidad de reprogramación de nodo coordinador interno

- 4 puertos USB. Utilizables como testbed de WSN y para reprogramación de nodos.
- Base de Datos interna para almacenamiento de datos provenientes de sensores.
- Interfaz web.

9.4.5 Especificaciones.

Descripción	Especificaciones	Documentos	Ejemplos
ITEM	Specification	Description	
Hardware			
Processor Model	Intel Atom	Dual Core Atom D525 2x1.8Ghz	
Memory	2GB	DDR3 RAM	
	160GB	HDD	
Interfaces	1xDB9	Serial COM port	
	4xUSB	USB port for node reprogramming	
	1xEthernet	LAN 10/100/1000Mbit	
IEEE 802.15.4 Interface			
Processor Model	Texas Instruments MSP430F1611	Texas Instruments MSP430 family	
Memory	48KB	Program flash	
	10KB	Data RAM	
	1MB	External Flash (ST M25P80)	
RF Chip	Texas Instruments CC2420	IEEE 802.15.4 2.4GHz Wireless Module	
Frequency Band	2.4GHz ~ 2.485GHz	IEEE 802.15.4 compliant	
Sensitivity	-95dBm typ	Receive Sensitivity	
Transfer Rate	250Kbps	IEEE 802.15.4 compliant	
RF Power	-25dBm ~ 0dBm	Software Configurable	
Range	~50m(outdoor), 15~20m(indoor)	Box orientation dependant	
Current Draw	RX: 18.8mA TX: 17.4mA Sleep mode: 1uA	Lower RF Power Modes reduce consumption	
RF Power Supply	2.1V ~ 3.6V	CC2420 Input Power	
Antenna	Ceramic antenna		
Electromechanical Characteristics			
Dimensions	192mm x 210mm x 62mm	MiniPC frame format	
Weight	2Kg	Without AC/DC adapter	
Mounting Options	DIN Rail		
	VESA Wall	Must be specified at purchase	
Power	12V (100-240V Power adapter provided)	Requires external power source	

Tabla 25; Especificaciones técnicas del Geteway para administrar la red de sensores.

9.4.6 Anemómetro ultrasónico.

Se usará un dispositivo llamado Anemómetro Ultrasónico el cual entrega datos del viento (dirección y velocidad). Factores clave a la hora de evaluar la propagación del fuego.

Transductor de Dirección y Velocidad Viento Sónico. T035-WINSON. Siap + Micros:



9.4.7 Características.

Principio de medición: Anemómetro ultrasónico para la medición de la velocidad y dirección del viento. El instrumento se basa en la propiedad para que las ondas acústicas a lo largo de una sección, sean influenciadas por los movimientos del aire circundante.

El instrumento específico está equipado con un total de 3 transductores que realizan la doble función de transmisor y receptor de ondas acústicas. Cada transductor (transmisor) está conectando con un par (receptores) transductores, generando un total de 6 posibles caminos.

Esta innovadora solución, permite tener dos caminos más que los sensores ultrasónicos más tradicionales de 4 transductores que trabajan acoplados (dos en dos). El hecho de tener hasta 6 caminos, permite garantizar una mayor exactitud en la medición de la velocidad y la dirección, así como la posibilidad de continuar de mantener la medida también en caso de obstrucción de uno de los tres transmisores.

9.4.8 Especificaciones.

Specifiche Tecniche		Especificaciones Técnicas	
Velocità Vento		Velocidad Viento	
Campo di misura	0+75m/s	Rango de medición	
Sensibilità	0,01m/s	Resolución	
Accuratezza	±0,20m/s or 2% (0+35m/s), ±3% >35m/s	Exactitud	
Tempo di risposta	250ms	Tiempo de respuesta	
Direzione Vento		Direccion Viento	
Campo di misura	0+359,9°	Rango de medición	
Sensibilità	0,1°	Resolución	
Accuratezza	±2° > 1m/s	Exactitud	
Bussola	0+359,9°	Brújula	
Caratteristiche uscite		Características de las salidas	
Interfacce di uscita seriale	RS232 / RS485 (MODBUS-NMEA) SDI-12	Interfaz de salida serial	
Uscite analogiche (velocità e direzione)	0+2 Vdc	Salidas Analógicas (velocidad y dirección)	
Altre Caratteristiche		Otras características	
Temperatura di funzionamento	-40°C ÷ 70°C	Temperatura de funcionamiento	
Grado di protezione	IP 66	Grado de protección	
EMC	EN 61326-1:2013	EMC	
Protezioni	Contro inversione di polarità e scariche atmosferiche Polarity reverse and transient	Protecciones	
Misura della temperatura aria	Interna con sensore di precisione Internal precision sensor	Medición de temperatura Aire	
Alimentazione	Vcc = +9 ÷ +24 Vdc	Alimentación	
Corrente assorbita in misura (mA)	<18mA	Corriente absorbida en medición (mA)	
Corrente assorbita max con riscaldatore termostato (mA)	<500 mA (duty cycle 100%)	Corriente absorbida max con calefactor termostato (mA)	
Tempo di avvio	15s Riscaldatore non attivo / calentador inactivo	Tiempo de arranque	
Realizzato in	Polipropilene & Poliammide	Material	
Peso	620 g	Peso	
Palo di supporto	Øext max = 50mm ; Øint min = 45mm	Mástil de soporte	

Tabla 26; Especificaciones técnicas de los Anemómetros utilizados como estaciones meteorológicas.

9.4.9 Kit solar fotovoltaico + almacenamiento de energía.

Se proveerá de una fuente energética al sitio nodal, esta constara de un kit de celdas fotovoltaicas más una batería de 12v. Así lograremos autonomía a la red por un gran periodo de tiempo (años).

- 1 Panel Solar 30w Poly cristalino con marco de aluminio vidrio por el frente.
- 1 Controlador Solar 12v 12 amp
- 1 Inversor de corriente de 12v DC a 120v AC 400w CE and ROHS.
- 1 Batería 12v 30 ah.



Figura 81; Panel Solar 30w Poly cristalino con marco de aluminio vidrio por el frente, Batería 12v 30 ah, Inversor de corriente de 12v DC a 120v AC 400w CE and ROHS, Controlador Solar 12v 12 amp.

9.5 REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES

a. Monopostes livianos:

Se fabrican en tramos de 3 y 6m en alturas de 6 a 36 Mts, se utilizan para, instalación de antenas Wireless WiFi, UHF, UFH, telefonía celular, repetidores, iluminación, cámara, etc.; Ideal para lugares de poco espacio. Se les puede incorporar Plataforma de trabajo, escalera guarda hombre.

Existen tres tipos para trabajo liviano, medio y pesado.



b. Contraventadas:

Las torres arriostradas (sujetas con piolas de acero) secciones triangular galvanizadas en caliente, estas torres son especiales en la prospecciones de vientos eólicos y emisoras, por sus resistencias y muy fácil de escalar para instalaciones de instrumentos, antenas etc. Su rapidez de montaje de forma manual en tramos de 3 y 6 metros según el lugar del terreno.



9.6 COSTOS Y COTIZACIÓN

Se realizaron distintas cotizaciones a los proveedores de los requerimientos, vía correo electrónico y vía telefónica. Los precios aproximados se pueden apreciar en la tabla 27.

Se tomaron en cuenta solo algunos de los costos directos del proyecto, como lo son la adquisición o inversión de los requerimientos.

Algunos costos directos no se consideraron, como la mano de obra, cálculos de obra, transporte, etc.

Se asume que la empresa tiene las faenas dispuestas y necesarias para ejecutar el proyecto aportando los recursos necesarios.

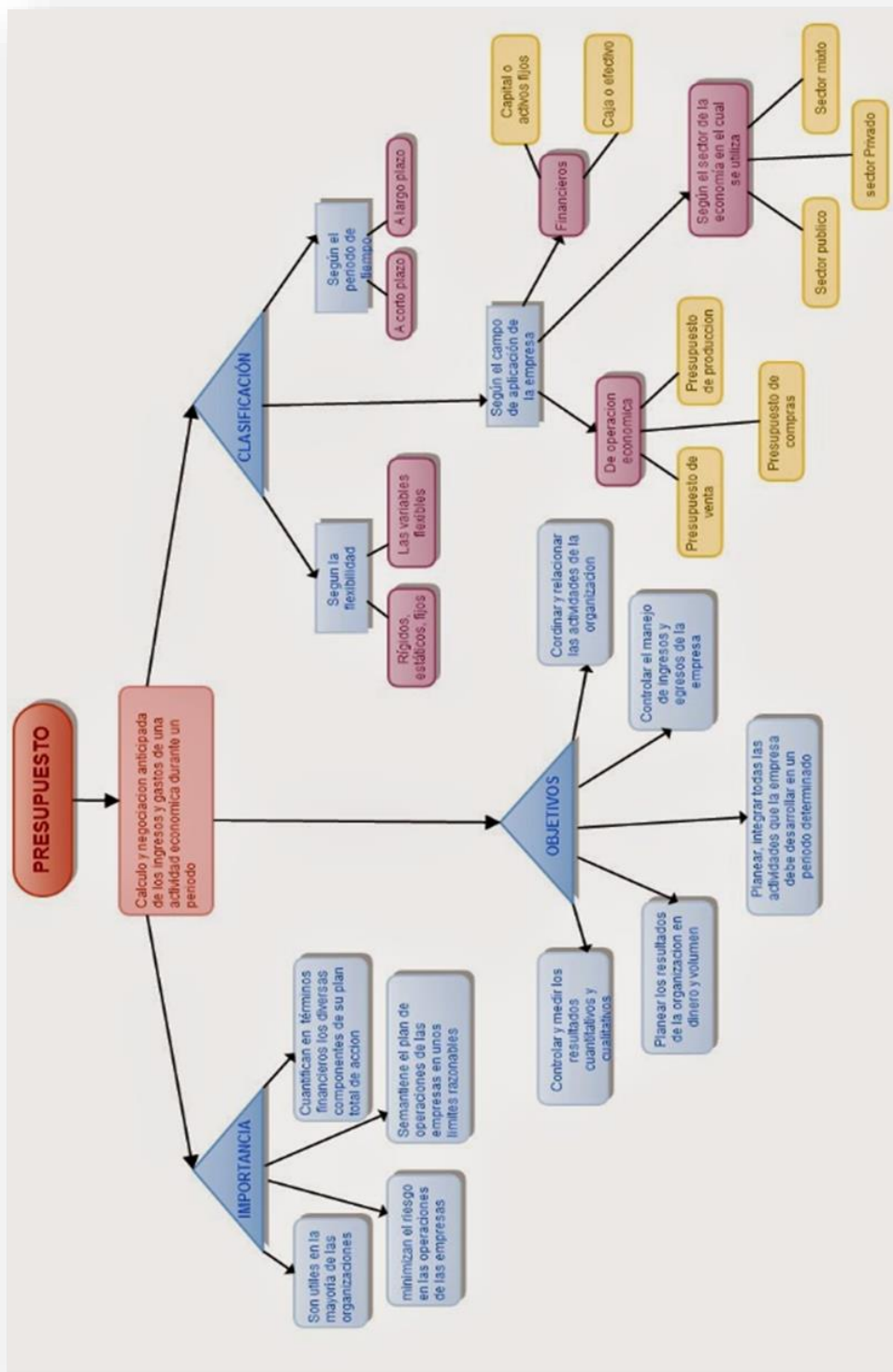


Figura 84; Buenas practicas, análisis, estructura para realizar una buena estimación de presupuesto.

9.6.1 Estimación de costos del proyecto.

Costo Neto (pesos)	Valor unitario (pesos)	Cantidad	Tipo de implementación
2.380.000	1.190.000	2	<i>Antenas Contraventadas Galvanizada de 30 Mts (Castillo Comunicaciones).</i>
40.131.000	1.911.000	21	<i>Monopostes Tubulares Galvanizados 20 Mts (Maestranza del Rio).</i>
1.542.488	73.451,81	21	<i>Nodos Sensores CM5000-SMA (Advantics).</i>
300.765	300.765,00	1	<i>Router Geteway SG1000 (Advantics).</i>
1.330.000	70.000,00	19	<i>Kit Solar Fotovoltaico + Almacenamiento de energía.</i>
3.776.330	1.888.165,00	2	<i>Transductores T008-TVDV. Siap + Micros (Anemómetros) + Panel Solar 50W + Batería 12v.</i>
49.460.583	TOTAL		TOTAL

Tabla 27; Estimación de costos del proyecto.

9.7 PROPUESTA PARA UNA IMPLEMENTACIÓN DE UNA WSN PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

- **Análisis teóricos.**

9.7.1 Presupuesto de enlace / Link Budget.

Con los equipos y la distancia definidos para la WSN, se realiza el presupuesto de enlace, partiendo de la sumatoria de la potencia del transmisor, ganancia de la antena del transmisor, pérdidas en los cables y conectores de la antena del transmisor y receptor, para obtener la ganancia total, luego se calculan las pérdidas en el espacio libre, utilizando una distancia entre nodos de 400 m, y así poder deducir si la señal es suficiente para que el transmisor y el receptor estén comunicados.

Tanto el nodo transmisor y el receptor estarán conformados por equipos del mismo modelo, el **CM5000 SMA Advantics**. Las conexiones de las antenas a las placas de transmisión son a través de conectores SMA, se evalúan pérdidas de 0.5 dB considerando que las antenas del transmisor y del receptor se encuentran a 20 m sobre el suelo (aunque también las alturas de las antenas se pueden ver afectada por las condiciones del terreno). Por consiguiente se estima que los parámetros de comunicación serán los mismos en ambos sentidos.

A continuación se realiza el cálculo para el presupuesto de enlace que consiste en hallar la ganancia total del sistema; a este valor se le resta las pérdidas del espacio libre (P_{rx}) que se producen cuando la señal viaja por el trayecto comprendido entre el emisor y receptor, y a esta sustracción se la compara con el nivel de sensibilidad del receptor para determinar la factibilidad de llevar a cabo el enlace (Caicedo Ortiz J. C., Acosta Coll M. A., Cama-Pinto A 2014).

En el caso de nuestro sistema tenemos:

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>
<i>Potencia del Tx (dBm) +</i>	0
<i>Ganancia de la Antena Tx (dBi) +</i>	9
<i>Perdidas en los cables del TX (dB) -</i>	0,5
<i>Ganancia de la Antena Rx (dBi) +</i>	9
<i>Perdidas en los cables del Rx (dB) -</i>	0,5
<i>Ganancia total (dB)</i>	17

Tabla 28; Link Budget.

A partir de la ecuación de **Friis** se puede calcular la pérdida en el espacio libre del trayecto para una longitud de 400 metros con la siguiente fórmula:

$$Prx = (Ptx * Gtx * Grx * \lambda^2) / (4\pi R)^2$$

$$Prx = -74.09 \text{ dBm.}$$

Donde; *Prx*: potencia de recepción; *Ptx*: Potencia del transmisor; *Gtx*: Ganancia del transmisor; *Grx*: Ganancia del receptor; λ^2 : Wavelength; *R*: Distancia entre antenas.

Al tener la ganancia total y las pérdidas en el espacio libre, se obtiene el nivel de la señal que llegará al receptor con la siguiente formula, Tabla 29.

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
<i>Ganancia total (dB) +</i>	17
<i>Pérdidas en el espacio libre (dB) -</i>	74,09
<i>Nivel de la señal en Rx =</i>	-57,09

Tabla 29; Nivel de señal en receptor.

Margen de tolerancia de la señal tabla 30:

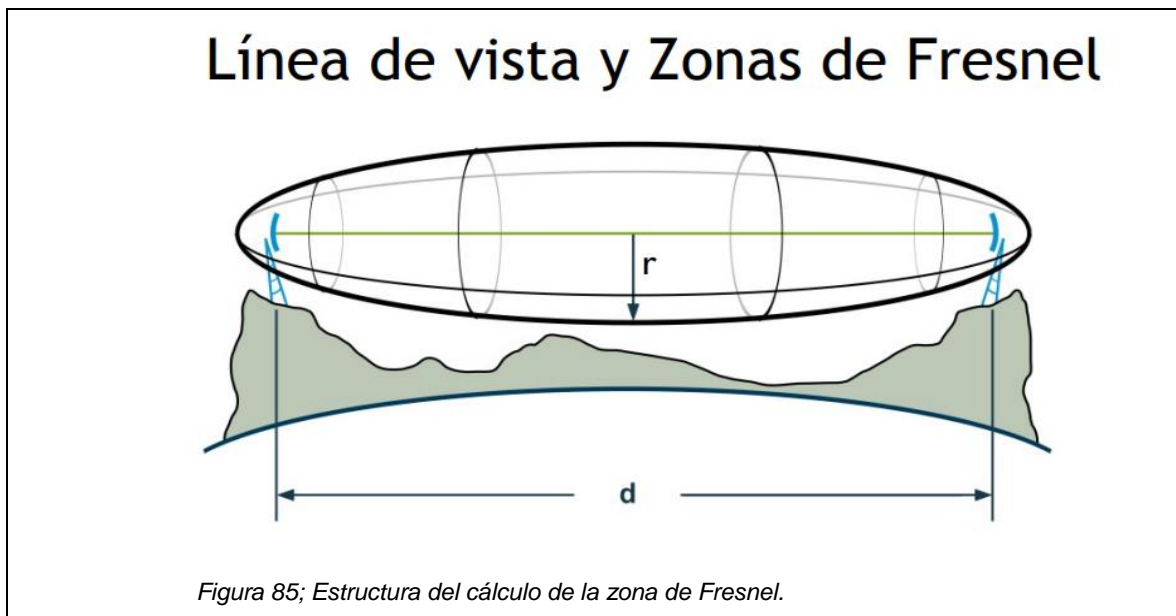
<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
<i>Nivel señal Rx (dBm) +</i>	-57,09
<i>Sensibilidad Rx (dBm) -</i>	-95
<i>Margen de tolerancia de Señal (dB) =</i>	37,91

Tabla 30; Margen de tolerancia de la señal.

Como se puede observar, $-57,09$ dBm es mayor que la sensibilidad del receptor (-195 dBm), por lo cual el nivel de señal es suficiente para que haya comunicación entre ambos dispositivos inalámbricos. De acuerdo a resultados experimentales con un margen de tolerancia superior a los 10 dB es posible el enlace con rendimientos que van desde el 70% al 100%, inferior a este valor el enlace no es posible. Con el margen de tolerancia obtenido (37.91 dB) se asegura que los enlaces se llevan a cabo. Es relevante tener en cuenta que estos son cálculos donde no se están considerando el clima, la vegetación, entre otros factores que añaden pérdidas en los enlaces (Caicedo Ortiz J. C., Acosta Coll M. A., Cama-Pinto A 2014).

9.7.2 Zona de Fresnel.

- La primera Zona de Fresnel es un volumen elipsoidal alrededor de la línea recta que une el transmisor con el receptor (línea de vista).
- La primera Zona de Fresnel es importante porque define un volumen alrededor de la Línea de vista (LOS -Line of Sight-) que debe estar despejado de todo obstáculo para que la potencia que alcanza a la antena receptora sea máxima.
- Objetos en la zona de Fresnel como árboles, colinas y edificios pueden atenuar considerablemente la señal recibida, aun cuando la línea entre el TX y el RX no esté bloqueada.



$$r = 17.31 * \sqrt{(d1 * d2) / (f * d)}$$

Donde; *r*: radio en metros de Fresnel; *d1*: distancia desde el transmisor al centro del elipsoide en metros; *d2*: distancia desde el centro del elipsoide al receptor en kilómetros; $d=d1+d2$; *f*: Frecuencia en GHz.

$$r = 17.31 * \sqrt{(0.2 * 0.2)/(2.4 * 0.4)}$$

$$r = 3.54 \text{ Metros.}$$

- Primera zona Fresnel: 3.54 metros.
- 60% de la primera Zona de Fresnel: 2.12 metros.

9.7.3 Discusión.

- Se puede concluir que los cálculos generales de los enlaces fueron satisfactorios mostrándonos los requisitos mínimos (teóricos) para que dichos enlaces inalámbricos comuniquen de forma óptima.
- Como se pudo apreciar en la plataforma de simulación; los parámetros de Potencia y Fresnel fueron superados de forma clara, ya que, el terreno presenta una pendiente constante, también las antenas tienen una altura definida ampliamente superior a lo requerido por la teoría.

En esta etapa del presente capítulo, se presentará una propuesta tipo de una red de sensores inalámbricos para poder aplicarlo en la prevención de incendios forestales.

9.7.4 Estructura de red.

El sistema planteado de monitoreo de incendios forestales, puede consistir en la cantidad de nodos que uno desee, de acuerdo al límite de la tecnología Zigbee, que en teoría una red Zigbee puede constar de un máximo de **65535** nodos distribuidos en subredes (IEEE Computer Society, & LAN/MAN Standards Committee 2011).

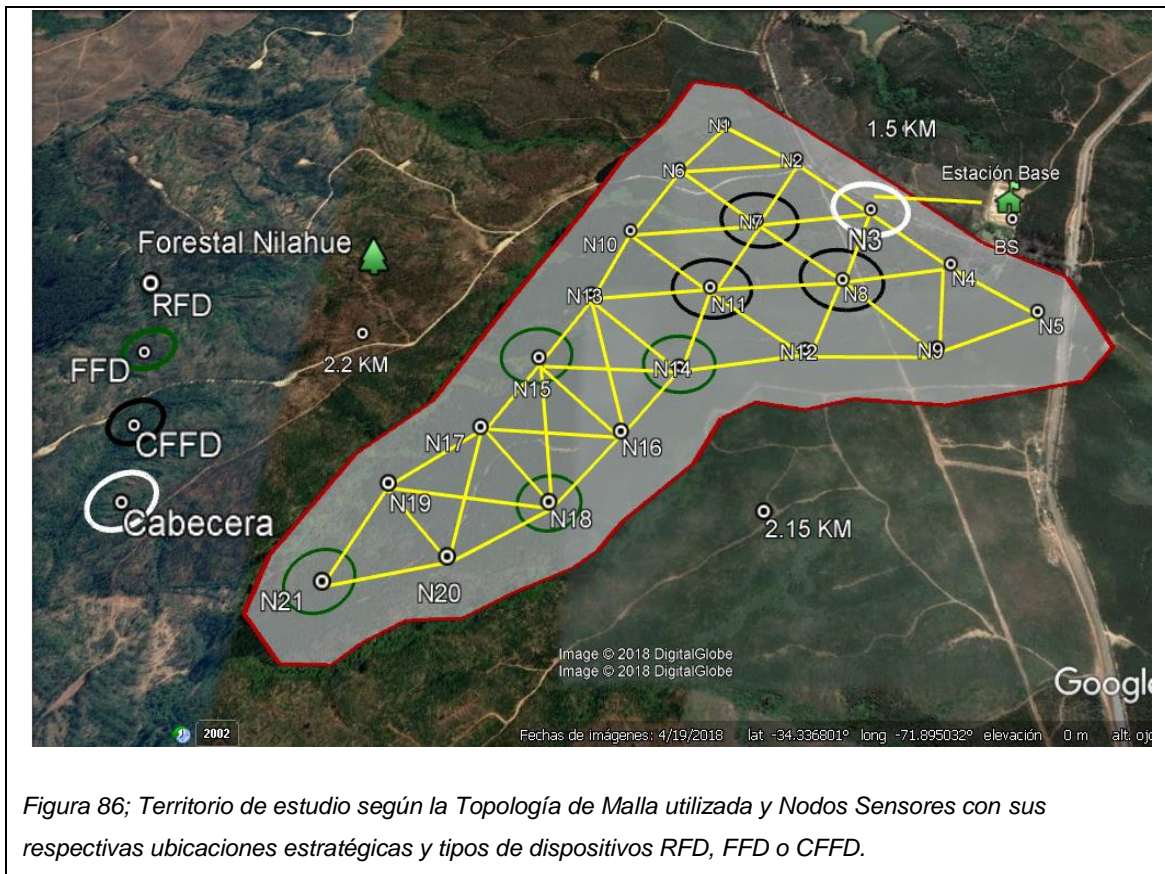
Dicha red Zigbee, consistirá de 21 dispositivos. Los cuales son: Los nodos finales que son Dispositivos de Funcionalidad Reducida (Reduce-function device – **RFD**), así como también dispositivos de Funcionalidad Completa **FFD** (Full-function device), y finalmente un coordinador de red que es dispositivo de funcionalidad completa coordinador de red (Cordinator Full-function device – **CFFD**).

Para el óptimo consumo de energía y la cantidad de información a transmitir, se utiliza una topología malla, que se muestra en la Ilustración 86 modelada en Radio Mobile.

Los nodos sensores tendrán como objetivo el monitoreo de la temperatura ambiente, de la humedad relativa y las variables del viento donde estén ubicados. En cada nodo se predefiniría un umbral para cada factor, en donde cuando se supere una temperatura y la humedad relativa disminuya de un tal porcentaje sumado a posibles cambios climáticos, este nodo active una alarma, así esa información recolectada es enviada al nodo **FFD** o **CFFD** más cercano, este tiene por función la fusión de datos y la transmisión de paquetes de datos.

Vía los nodos **FFD**, la información recolectada por los nodos finales es fusionada y transmitida al coordinador de red **CFFD** más cercano que puede ser transmitido a los nodos relacionados. Un Coordinador de Red **CFFD** se ocupa principalmente de las funciones básicas de gestión de red, como la configuración de red, equipos de registro y control de acceso. La información de

datos puede ser transmitido a los routers por comunicación inalámbrica. Al recibir los datos, los routers establecen una base de datos local y luego transmiten los datos al ordenador central de monitoreo.



9.8 SIMULACIONES

9.8.1 Simulación de enlace en Radio Mobile.

Los enlaces de interconexión se realizaron de forma simulada en un software llamado Radio Mobile (<http://radiomobile.pe1mew.nl/>), el cual permite acercarse lo más posible a la realidad del proyecto. Software capaz de dibujar la topología seleccionada, obtener los datos espaciales, datos de enlace y posicionar con coordenadas los componentes de la red.

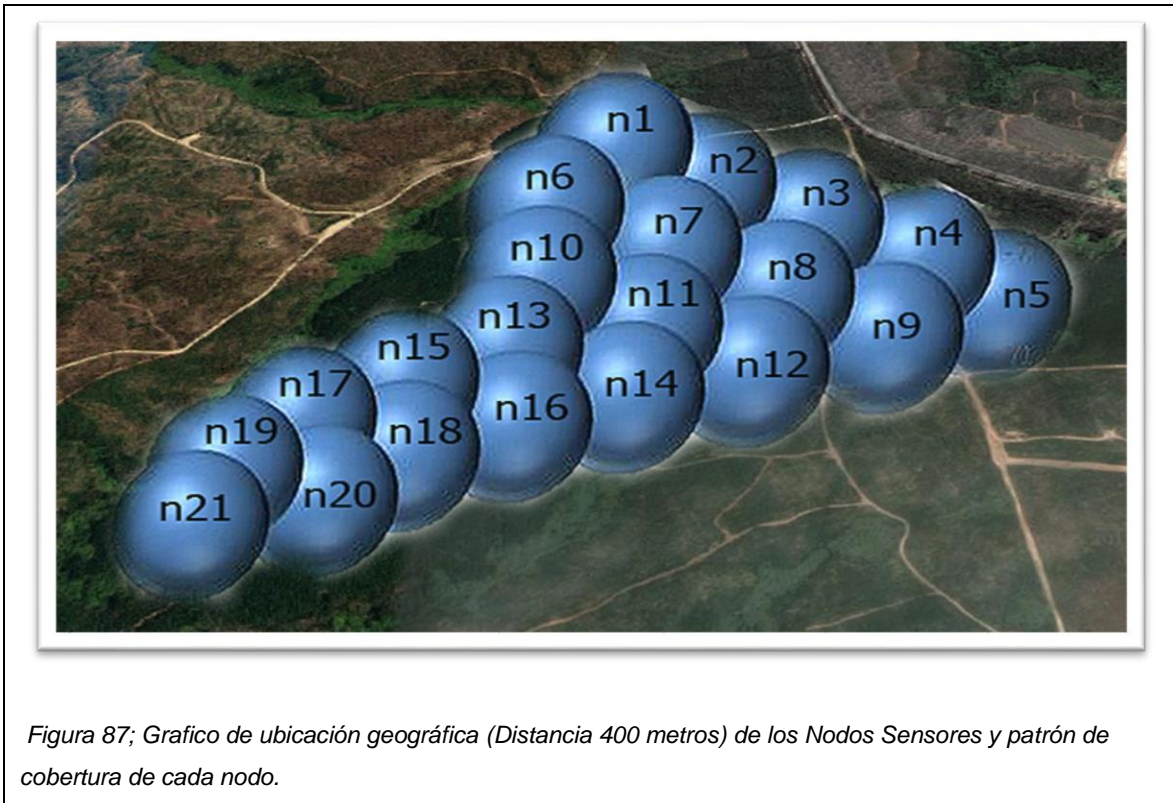
También es capaz de dibujar colores en áreas de cobertura apropiadas, agrupar los nodos por sistemas diferenciados, configurar los parámetros de potencia, sensibilidad, tipos de antenas y sus patrones de radiación, etc.

Se analizarán los niveles de potencia Tx y Rx, Línea de vista y Zona de Fresnel, utilizando un apartado adicional que incluye el Software llamado **Radio Link**.

Ubicación geográfica de los 21 Nodos Inalámbricos, Calculadas por Google Earth y Radio Mobile. Cuadro con coordenadas de cada Nodo, tabla 31.

N° Nodo	Ubicación Geográfica Latitud	Longitud	Altura (Mts)
1	-34,323214	-71,882468	514,5
2	-34,324625	-71,880305	528
3	-34,326521	-71,878329	532
4	-34,328383	-71,876376	544
5	-34,329863	-71,874345	564
6	-34,325023	-71,883973	501
7	-34,326912	-71,88174	513,7
8	-34,328879	-71,87951	528
9	-34,330934	-71,877312	553,9
10	-34,327267	-71,885456	507
11	-34,329117	-71,883221	524
12	-34,330978	-71,880798	535,3
13	-34,329331	-71,886517	501
14	-34,331444	-71,884133	518
15	-34,331189	-71,887815	494,5
16	-34,333134	-71,885628	500
17	-34,333022	-71,889121	491,3
18	-34,334802	-71,887296	491,7
19	-34,334373	-71,891159	456,9
20	-34,335984	-71,889519	462
21	-34,336494	-71,892234	452,9

Tabla 31; Ubicación geográfica específica de los Nodos, utilizando coordenadas obtenidas de Google Earth. Altura de los nodos.



9.8.2 Radio Mobile: Topología y proceso de configuración.

Figura 88; Topología malla completa y Mapa con Escala de Grises:

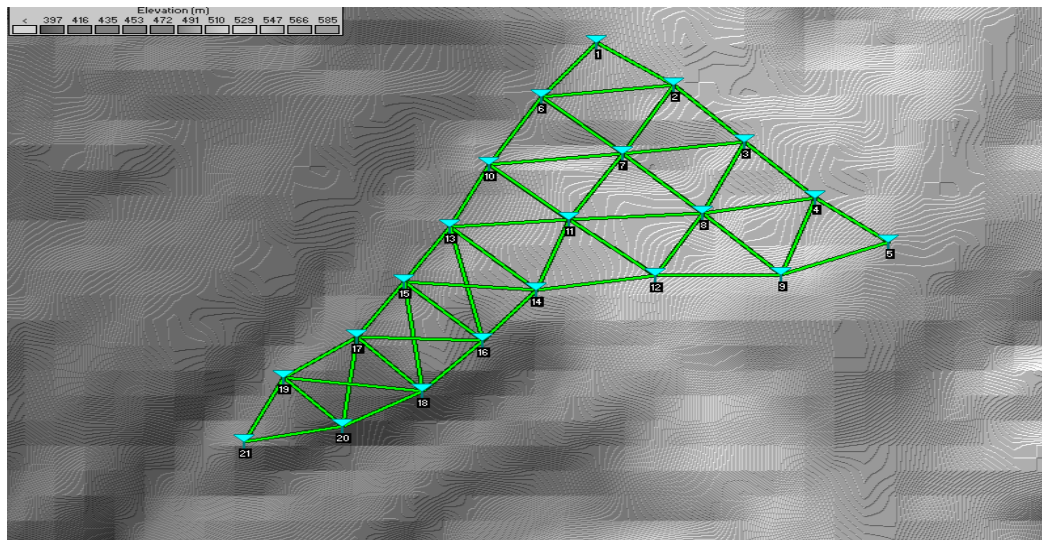


Figura 89; Topología en Malla y colores de las características del terreno; Altura, pendiente y presencia de material vegetal.

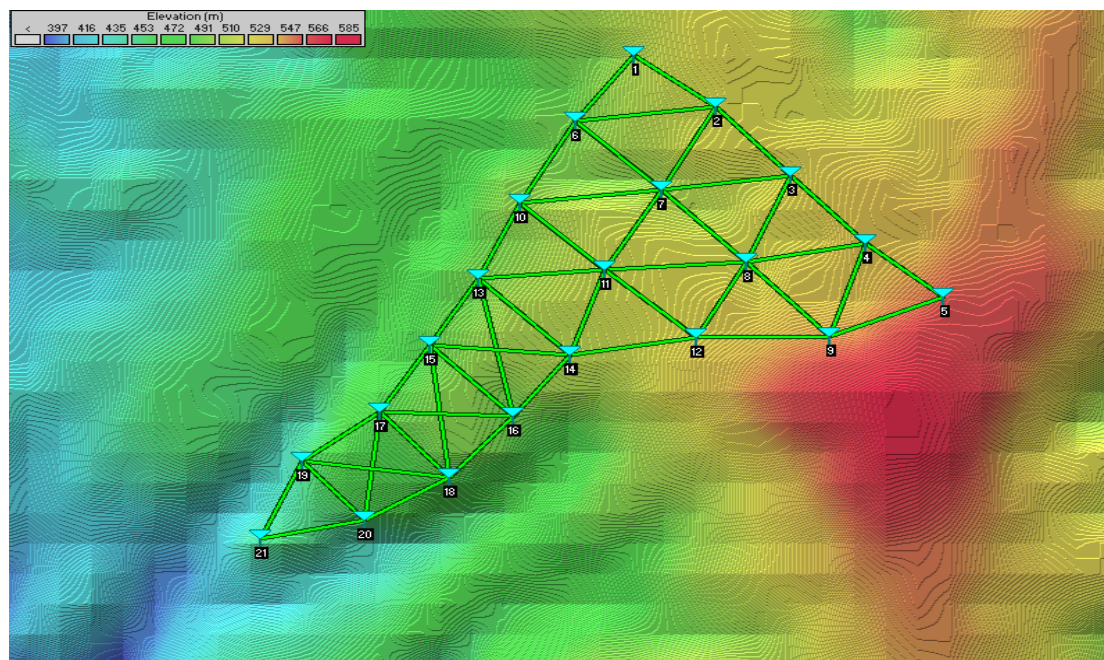


Figura 90; Topología y Mapa con colores (Verde y Negro) de acuerdo a su cobertura (BestSites):

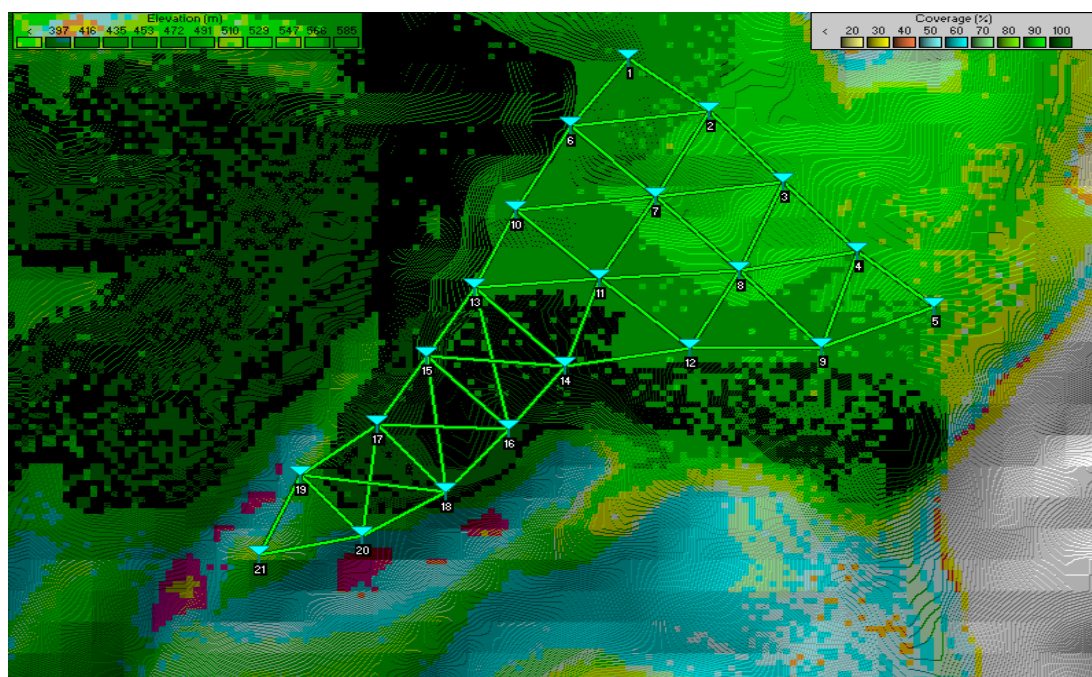
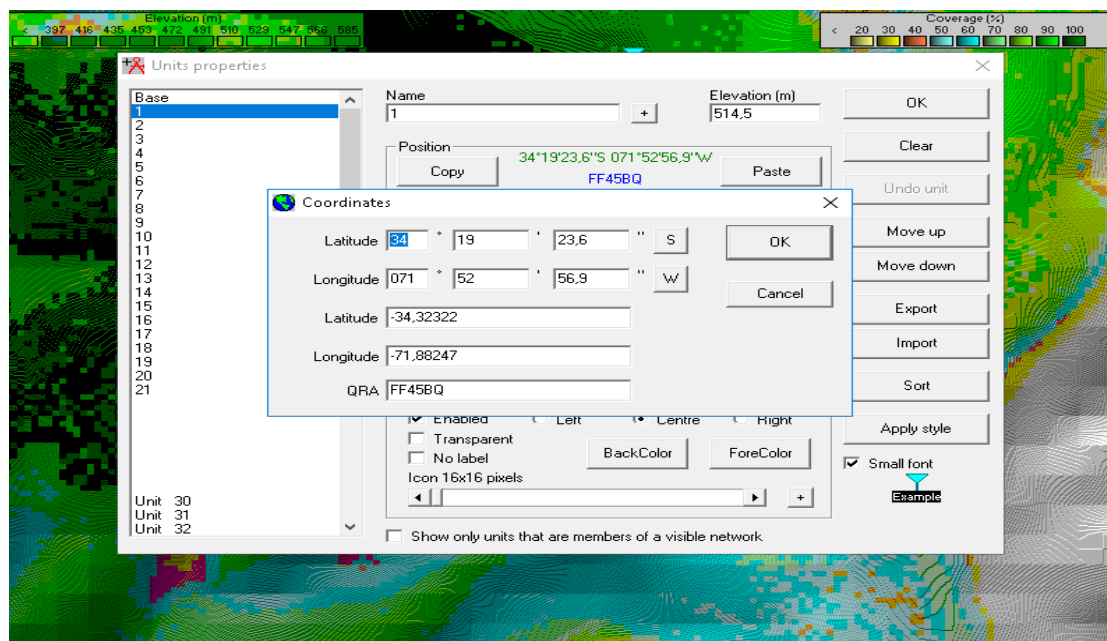


Figura 91; Ubicación de los Nodos según su altura y coordenadas, obtenidas de Google Earth y Radio Mobile:



Parámetros de los sistemas planteados, agrupaciones de dispositivos (vecinos), configuración de parámetros de conexión (Network Properties); Figura 92; frecuencia de trabajo, tipo de clima y perdidas del tipo de geografía 5% Mediterráneo/bosque.

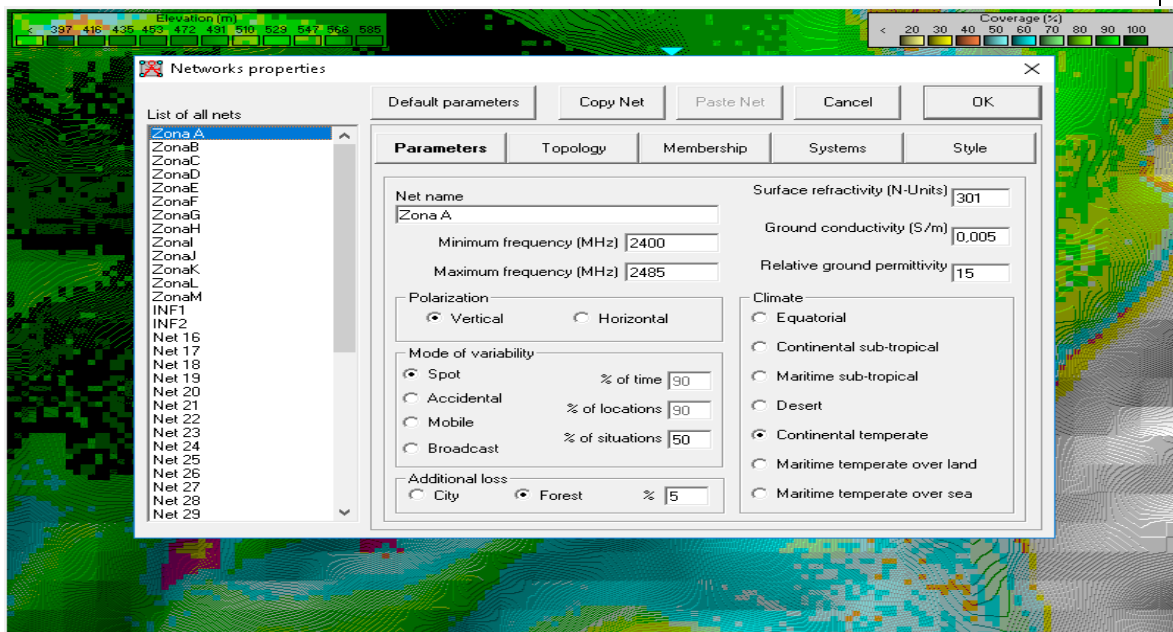


Figura 93; Miembros de la red del N1 al N21 (Nodos inalámbricos), Altura de las estructuras 20 Metros, Rol de antena; Comando:

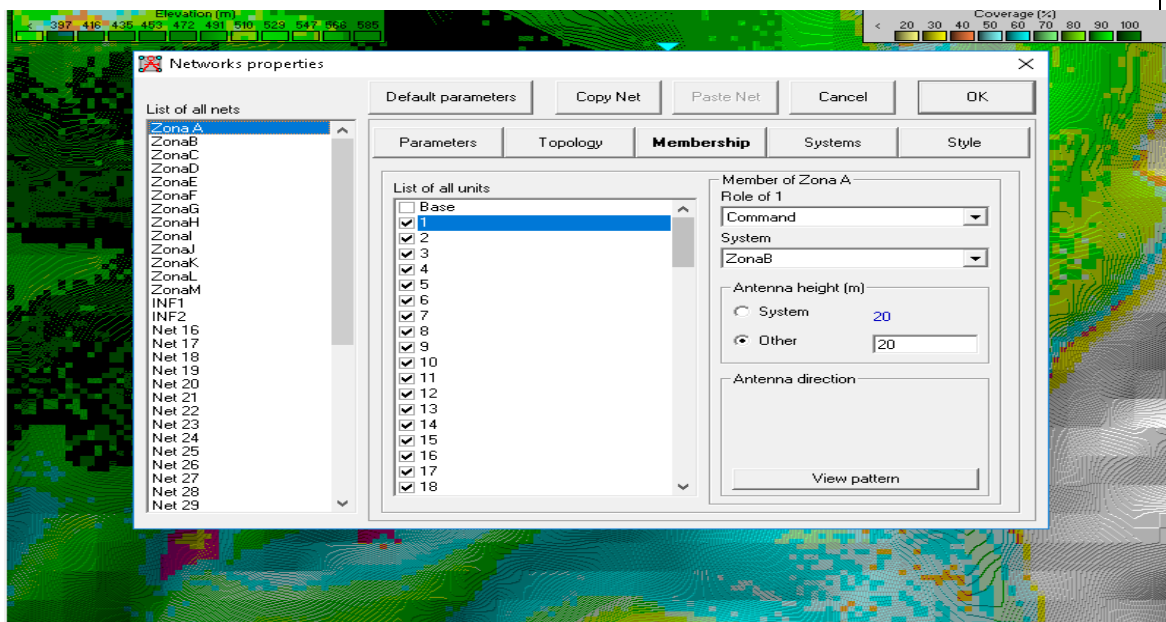


Figura 94; Configuración del sistema, parámetros obtenidos de las hojas de datos de los dispositivos (Potencia Tx, Sensibilidad, Tipo Antena, Altura, etc.).

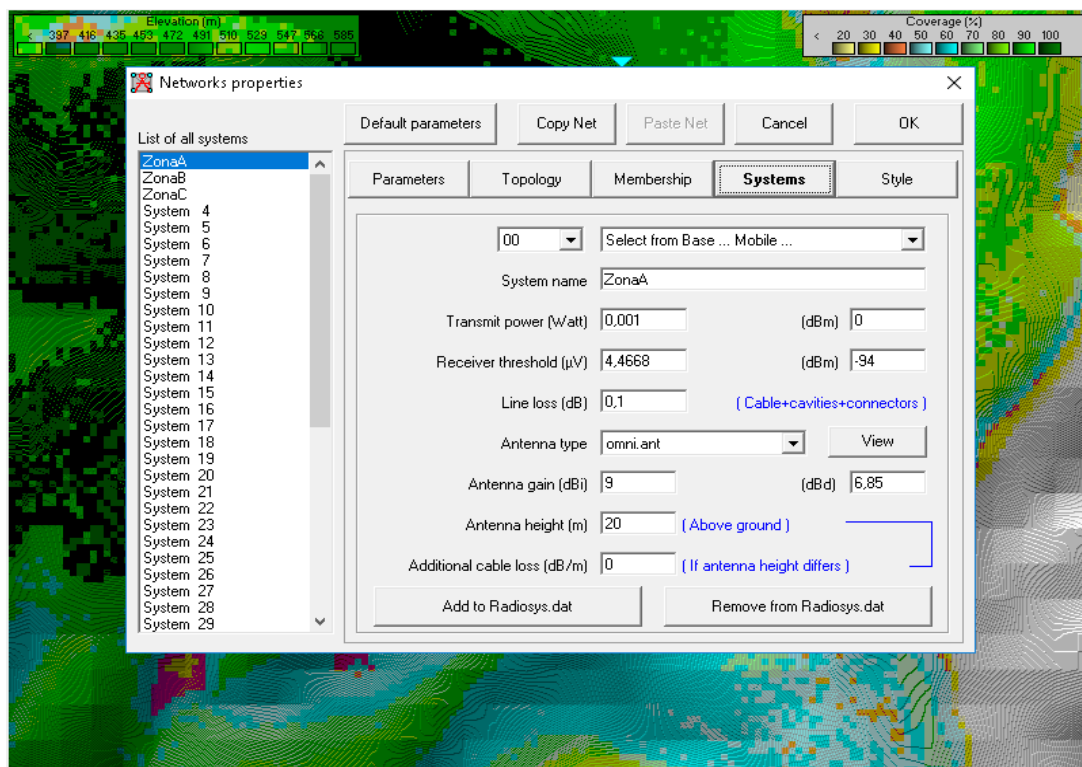
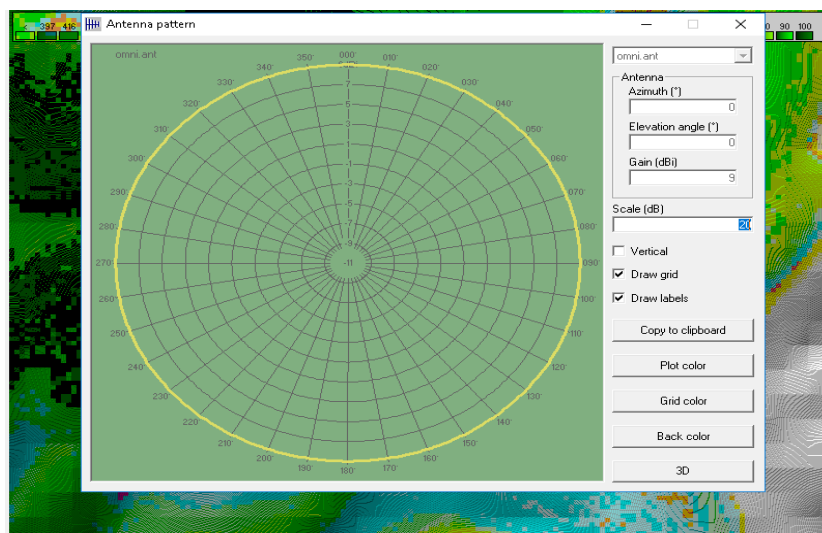


Figura 95; Patrones de radiación de antenas omnidireccionales de cada Nodo Inalámbrico:



9.8.3 Radio Link: Análisis de potencia y zona de Fresnel.

Se procederá a mencionar brevemente. Los enlaces obtenidos en *Radio Link*, aquí se podrá verificar la correcta interconexión de los Nodos con sus parámetros antes mencionados, así se logrará evidenciar de forma clara la factibilidad técnica de la red. Cabe señalar que se mostrarán algunas ilustraciones, las más significativas.

Como la comunicación se genera con un salto (hop) de cada nodo a sus nodos vecinos más próximos y tomando en cuenta la distancia (aprox. 400 Mts) de separación de cada uno de ellos. Interesa que dichos dispositivos tengan sus líneas de vista, Zona de Fresnel y otros parámetros de forma correcta. Se pondrá un cuadro con los promedios de los niveles obtenidos en Radio link de cada Nodo con sus caminos probables (Vecinos próximos) a modo de resumen.

Figura 96; Ejemplos de parámetros obtenidos, Nodo 20 con Nodo 21.

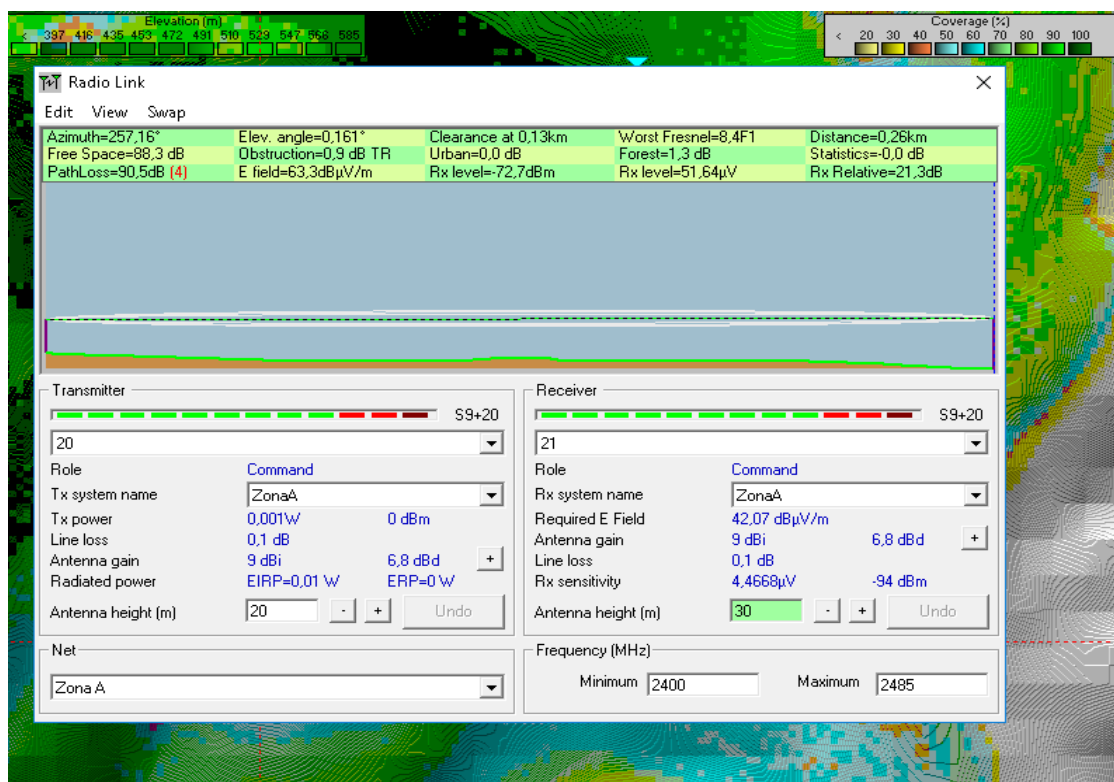


Figura 97; Ejemplos de parámetros obtenidos, Nodo 20 con Nodo 19.

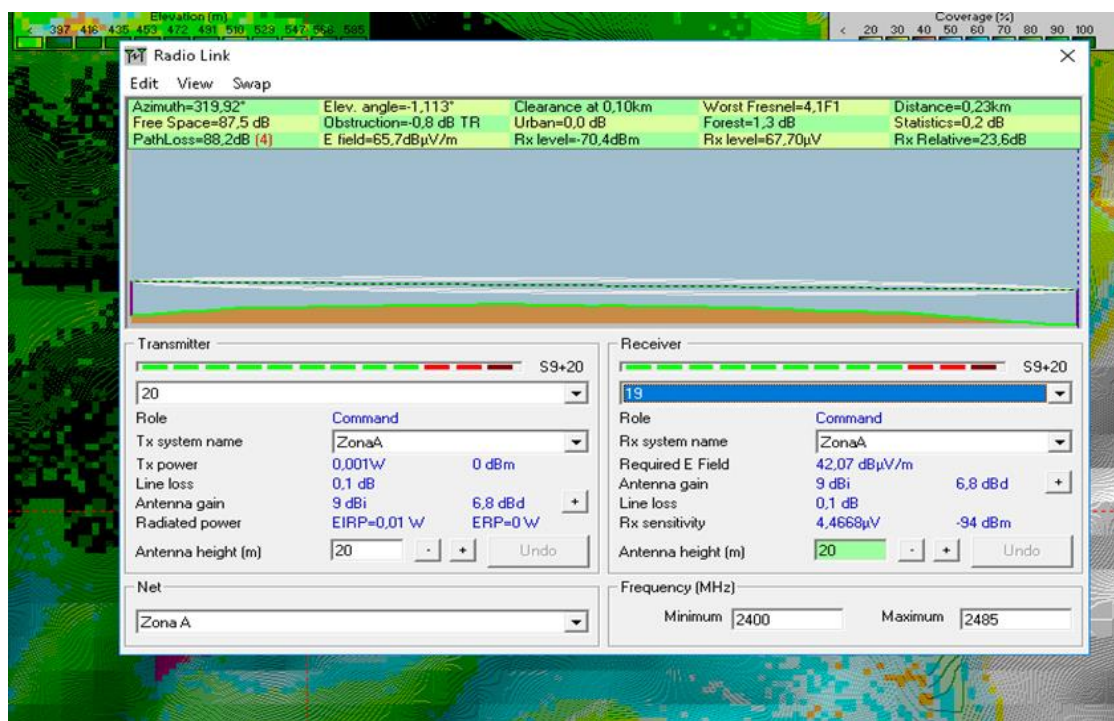


Figura 98; Ejemplos de parámetros obtenidos, Nodo 19 con Nodo 18:

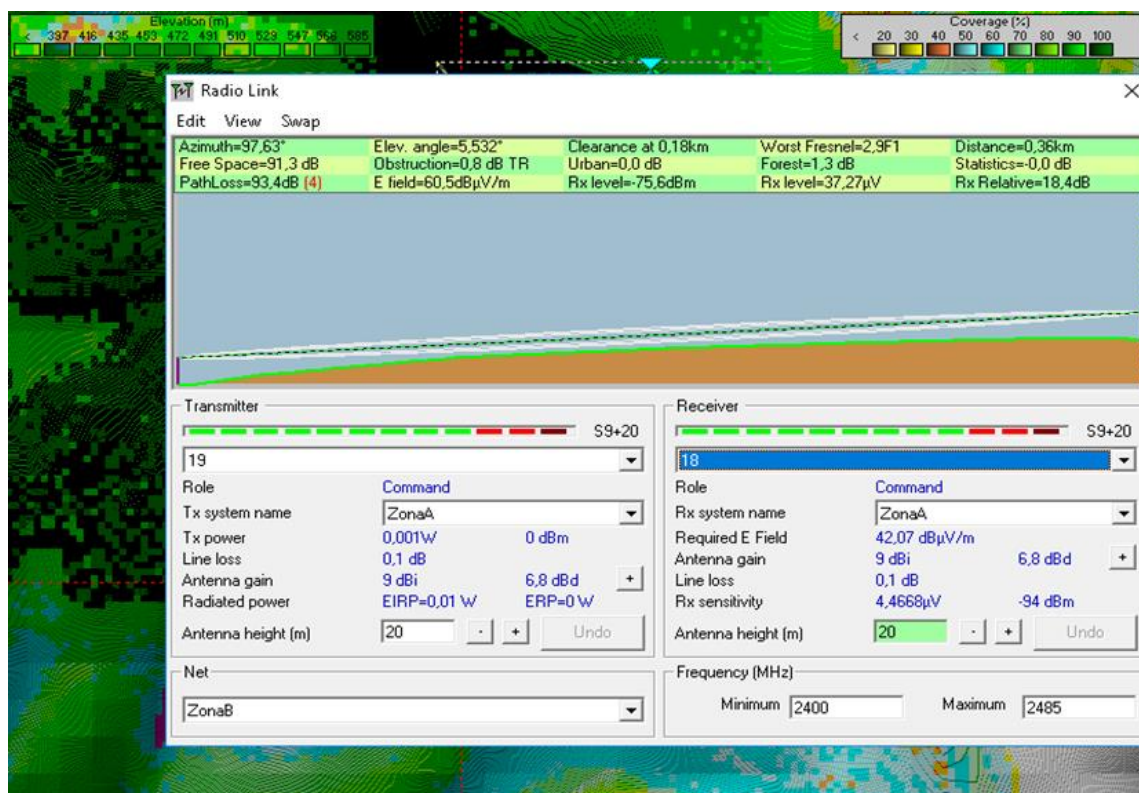


Figura 99; Ejemplos de parámetros obtenidos, Nodo 19 con Nodo 17:

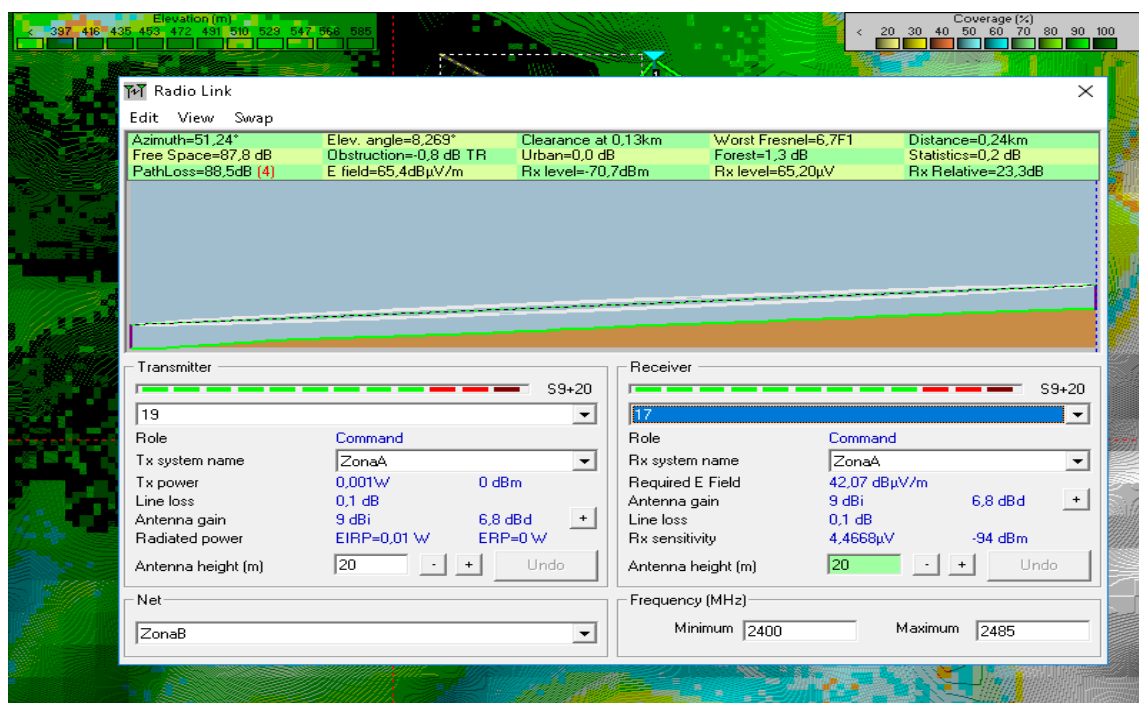


Figura 100; Ejemplos de parámetros obtenidos, Nodo 18 con Nodo 15:

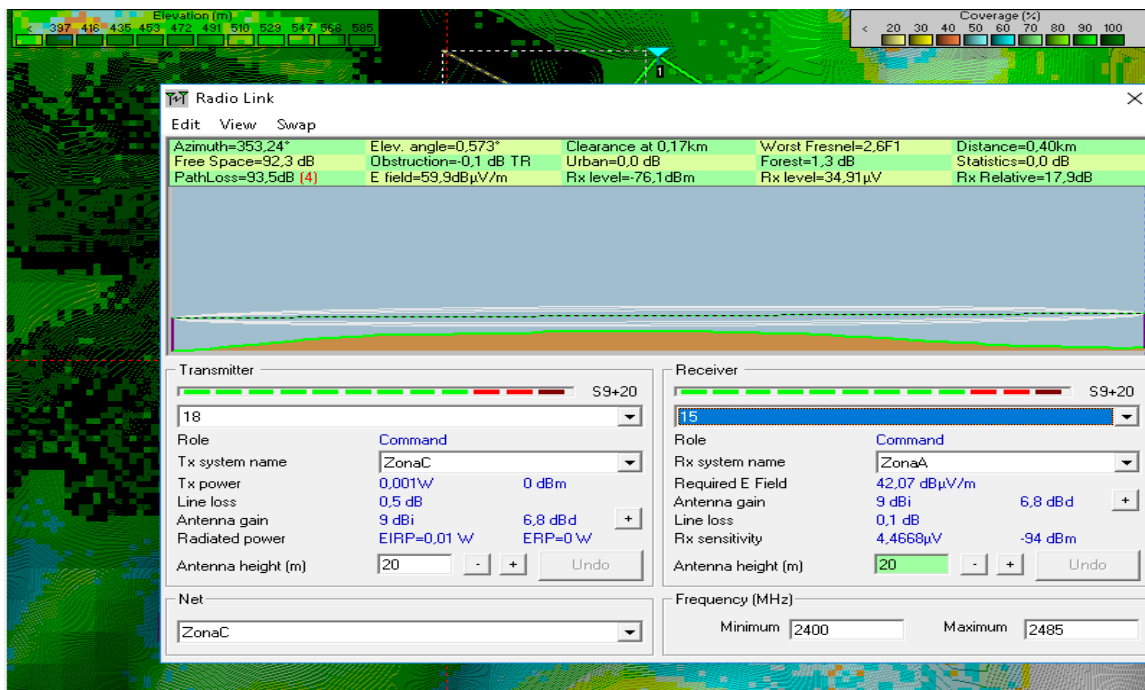
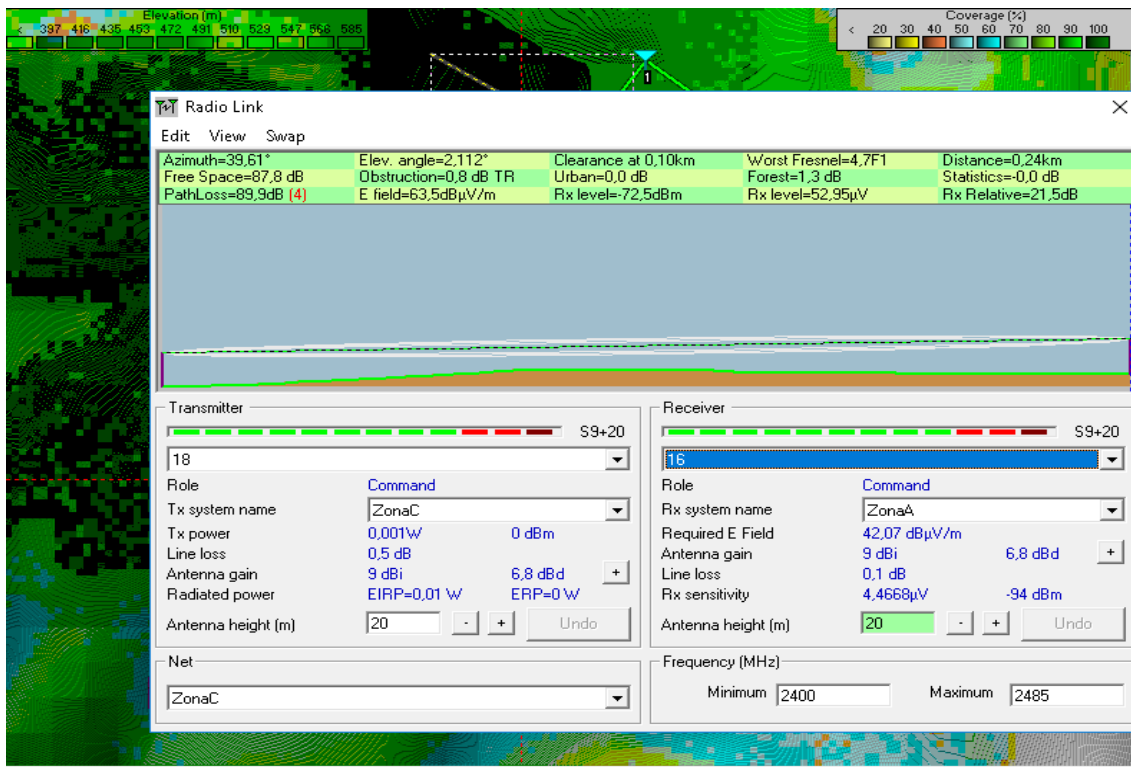


Figura 101; Ejemplos de parámetros obtenidos, Nodo 18 con Nodo 16:

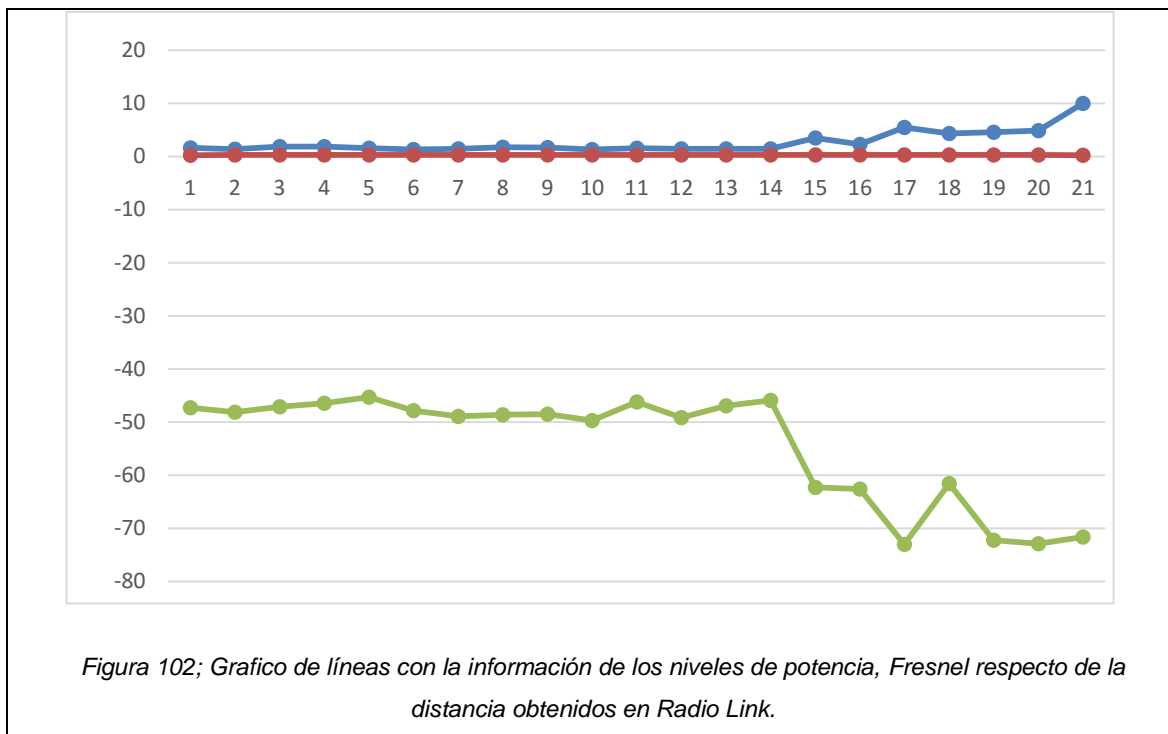


Se puede apreciar la factibilidad técnica de instalación que nos permite el territorio de estudio, se puede desprender también, que existe una elevación intermedia en el terreno (100 metros aprox.), ya que, los niveles de Potencia del sistema empiezan a aumentar notablemente del Nodo 14 en adelante. A continuación se mostrara una tabla de resumen con todos los valores promedio de Rx y Tx obtenidos de Radio Link de los Nodos con cada uno de sus caminos probables o Vecinos.

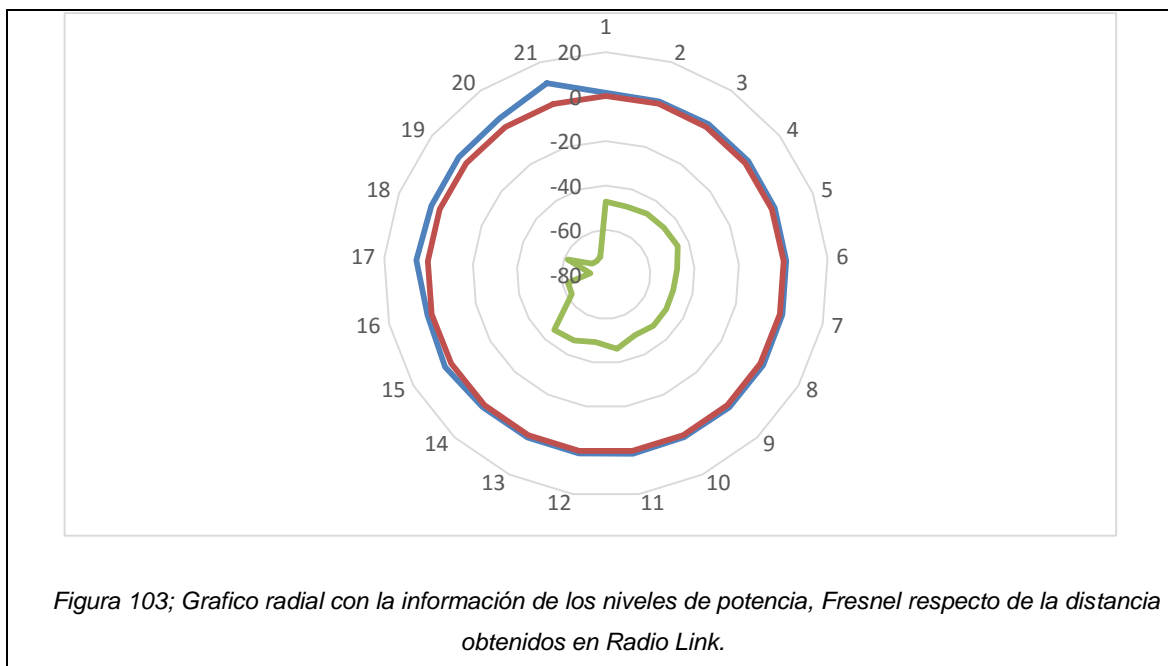
Tabla 32; Con los datos de Fresnel, distancia, Rx level, promedios extraídos de Radio Link:

Worst Fresnel Promedio % Vecinos	Distance (Km) Promedio Vecinos	Rx Level (dBm) Promedio Vecinos	N° de Nodos	Vecinos
1,65	0,26	-47,25	N1	6,2
1,38	0,29	-48,13	N2	7,6,3,1
1,88	0,29	-47,08	N3	8,7,4,2
1,9	0,28	-46,45	N4	9,6,5,3
1,56	0,28	-45,3	N5	9,4
1,32	0,28	-47,8	N6	10,7,2,1
1,47	0,29	-48,9	N7	11,10,8,6,3,2
1,75	0,3	-48,6	N8	12,11,9,7,4,3
1,7	0,3	-48,48	N9	12,8,5,4
1,3	0,31	-49,7	N10	13,11,7,6
1,55	0,29	-46,21	N11	14,13,12,10,8,7
1,42	0,3	-49,15	N12	14,11,9,8
1,46	0,3	-46,94	N13	16,15,14,11,10
1,44	0,31	-45,9	N14	16,15,13,12,11
3,48	0,3	-62,28	N15	18,17,16,14,13
2,3	0,3	-62,54	N16	18,17,15,14,13
5,5	0,3	-72,96	N17	20,19,18,16,15
4,34	0,28	-61,56	N18	20,19,17,16,15
4,57	0,3	-72,23	N19	20,18,17
4,86	0,28	-72,86	N20	19,18,17
10	0,26	-71,6	N21	20,19

9.8.4 Gráfico de líneas.



9.8.5 Gráfica radial.

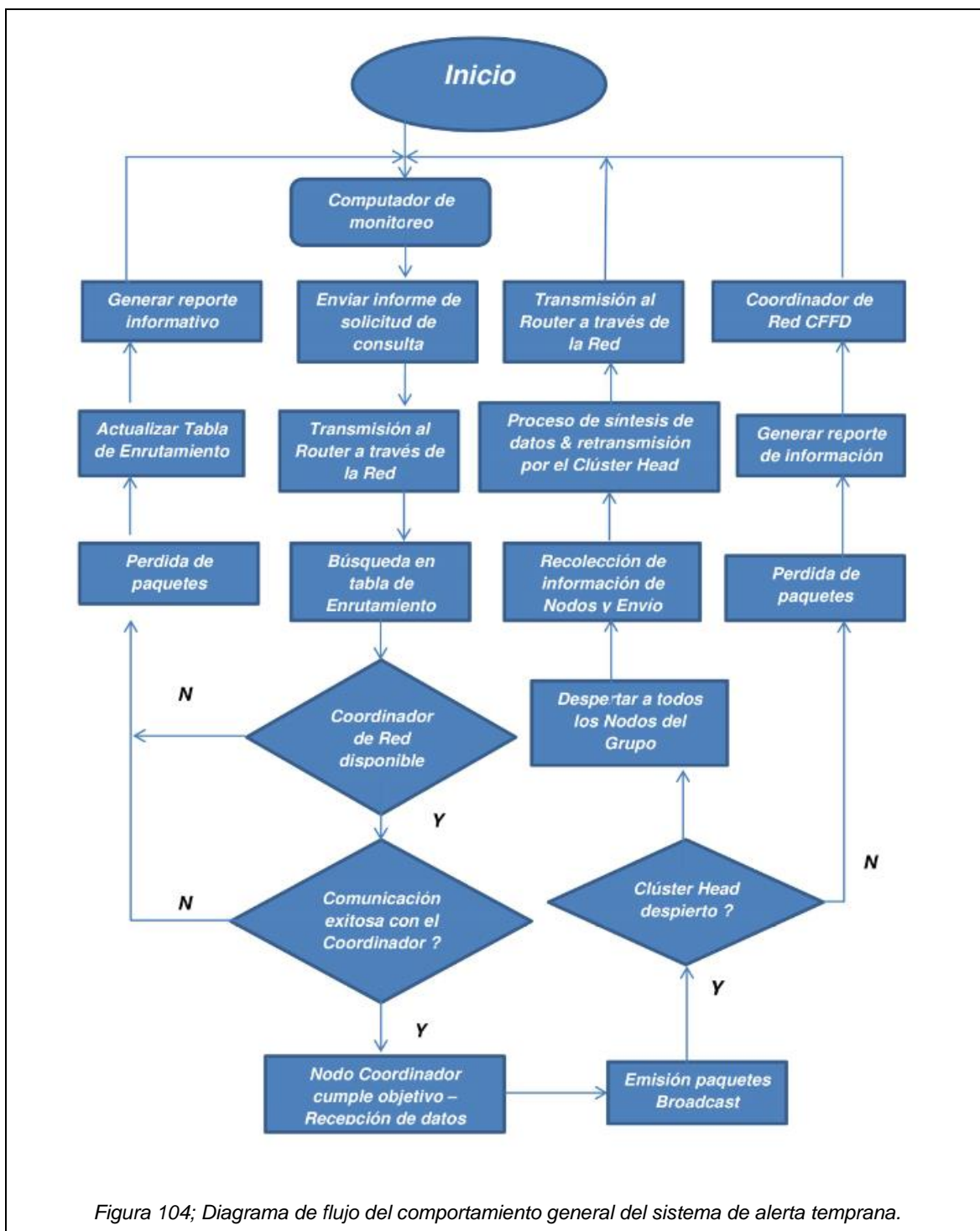


9.8.6 Comportamiento del Nodo Sensor.

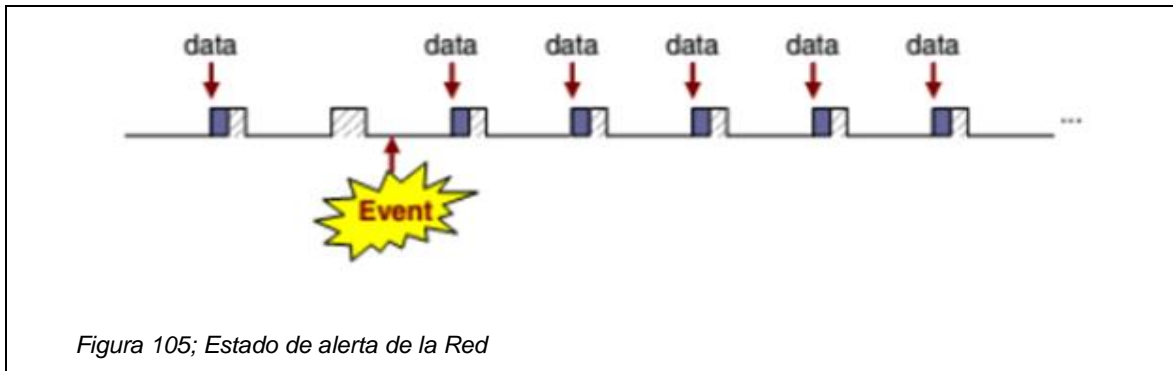
Para proporcionar la transmisión de datos dentro de la red Zigbee en esta propuesta, se utiliza un sistema de solicitudes activas (**Broadcast**) de información por el ordenador de control y respuestas pasivas (**Unicast**) por los nodos sensores. La Ilustración 104 muestra el proceso de transmisión de datos. Cuando el equipo de monitoreo, operado por un trabajador o un software automático, envía una orden para solicitar información sobre el estado de la temperatura, la humedad del bosque y las velocidades y dirección del viento, la orden se transmite al router o Gateway. El Gateway analiza las tablas de enrutamiento de acuerdo con la orden y decide el nodo coordinador de destino, y este luego transmite la orden al nodo **CFFD** que corresponda. Luego el nodo **CFFD**, se comunica con los nodos finales **RFD** para despertarlos y que estos le envíen su información recolectada.

Después de recibir los datos recolectados que fueron enviados por los nodos, el nodo **CFFD** integra y devuelve los datos al ordenador central de monitoreo a lo largo de la ruta de origen. Si la red de destino no se encuentra o no está conectada, el nodo **CFFD** abandonará el paquete de datos y generará un informe al ordenador principal de supervisión. La mayoría de los nodos en el sistema están en un estado inactivo para ahorrar energía y extender la vida útil de la red (IEEE Computer Society, & LAN/MAN Standards Committee 2011).

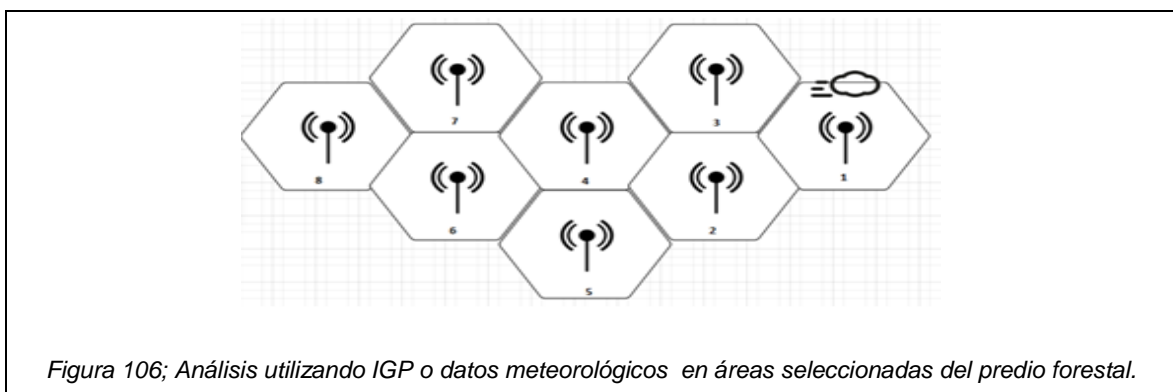
9.8.7 Mapa o diagrama de flujo del sistema.



También el sistema, al detectar un incendio, automáticamente entra en un estado de alerta, esto quiere decir que avisa a la red (su nodo **CFFD**) y este automáticamente enruta este nodo al gateway o computador local, y así que la prioridad de ruta a este segmento de la red, para que se monitoree, esto sin dejar de ver el comportamiento de los demás segmentos. Este comportamiento se puede apreciar en la Ilustración siguiente:



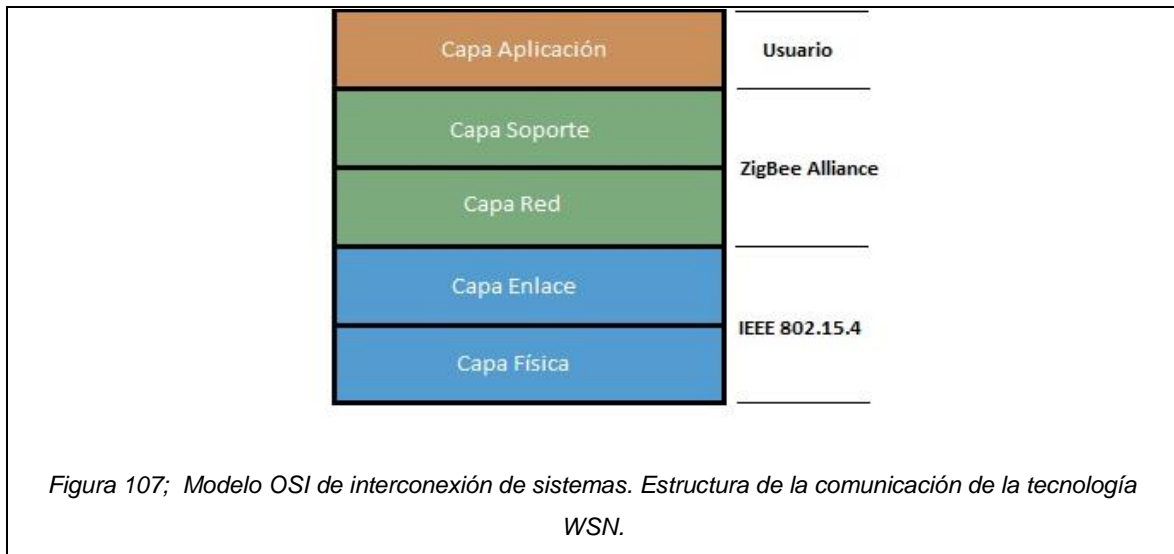
Como complemento también este sistema se puede adaptar al modelo de predicción utilizado por CONAF (Índice de grado de peligro), ya que en vez de calcular ese índice en base a factores “globales” de temperatura, humedad relativa, entre otros, también se pueden implementar haciendo una matriz usando las WSN utilizándolos en áreas más pequeñas en donde se pueda calcular el índice en cada una de esas áreas, hay que tener en cuenta que este factor a calcular, puede adaptarse solo tomando en cuenta la temperatura y humedad relativa de cada nodo, pero se puede estimar la velocidad del viento en base a las estaciones meteorológicas ubicadas en un los nodo **3** y **21** en particular. El esquema que se explica se puede apreciar en la Ilustración:



9.9 ANÁLISIS DE TRANSMISIÓN O ENCAMINAMIENTO DE DATOS

Para llevar la información dentro de la red Zigbee, en esta propuesta, se utilizará un protocolo de enrutamiento proactivo **AODV**, que es el que usa Zigbee, basado en el sistema operativo propuesto por el fabricante TinyOS, todo esto para optimizar el consumo de energía en el sistema y tener una respuesta rápida a los eventos. También hay que tener en cuenta la Zona de Fresnel al momento de instalar estos dispositivos, investigadores recomiendan que los nodos inalámbricos estén a una altura mínima de 1.2 Mts para evitar que la primera zona de la zona Fresnel no este interrumpida.

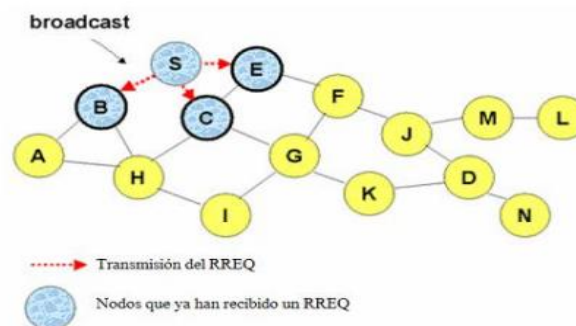
AODV (Ad-Hoc On-Demand Distance Vector) Fue creado por *Charles E. Perkins* como evolución de su anterior protocolo DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector). El **DSDV** inundaba la red de mensajes de control, de forma que la red se congestionaba y limitaba la duración de las baterías de los terminales. El **AODV** es uno de los protocolos más utilizados de los algoritmos reactivos, siendo idóneo para las redes Ad hoc. Este protocolo intercambia mensajes cuando necesita establecer una comunicación, es decir, envía mensajes a los vecinos para calcular cada ruta. Cada nodo tiene asociada una tabla de encaminamiento que utiliza para poder establecer enlaces con otros nodos. Cuando un nodo quiere transmitir un paquete a un destino, lo primero que debe hacer es buscar en su tabla de encaminamiento a ver si existe una ruta hacia este destino previamente calculada. En el caso de encontrarla no iniciaría ningún proceso de descubrimiento de ruta, supondría que la que tiene almacenada en su tabla de encaminamiento es correcta y está actualizada. En el caso contrario, comenzará el proceso de descubrimiento de ruta (Route Discovery) para encontrar un camino válido.



9.9.1 Descubrimiento de ruta AODV.

El proceso comienza con el envío de un paquete **RREQ** (Route Request) en modo broadcast. Este paquete llega a los nodos vecinos que se encuentran a un salto de distancia y estos a su vez lo reenvían a sus vecinos y así sucesivamente hasta llegar al destino. Cualquier nodo que durante el proceso de búsqueda conozca la ruta hacia el destino, puede contestar con un paquete de **RREP** al nodo origen indicando la ruta que necesita.

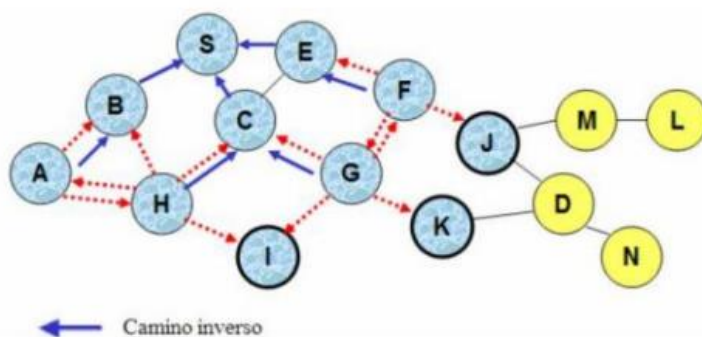
Figura 108 - Descubrimiento de Ruta. Iniciar el envío de datos del nodo S al nodo D.



En el ejemplo de la figura 108, se quiere iniciar una comunicación entre el nodo S y el nodo D. Para ello el nodo S inicia un descubrimiento de ruta enviando un mensaje en modo broadcast a sus nodos vecinos. Estos nodos vecinos irán reenviando el mensaje hasta llegar al destino. Todos los nodos mientras se va realizando el proceso de búsqueda, van actualizando las tablas de encaminamiento. En el formato del paquete **RREQ** del protocolo de encaminamiento **AODV**, se encuentran los siguientes campos: Dirección IP origen, número de secuencia del origen, dirección IP del destino, número de secuencia del destino, **RREQ** Identificador y contador de saltos (hop count). El campo “**RREQ Identificador**”, es el identificador que se va modificando cada vez que se genera un envío de **RREQ**.

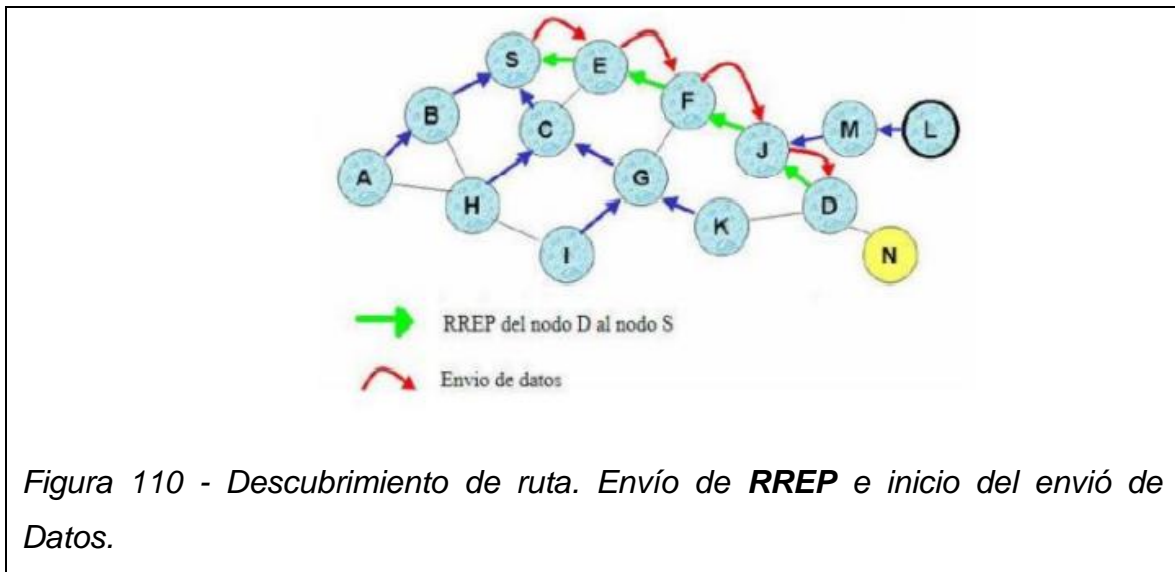
Esto sirve para que los nodos que lo vaya recibiendo (nodos intermedios) sepan si el paquete es idéntico al anterior (tiene el mismo identificador) y deben descartarlo, o por el contrario, si deben retransmitirlo (porque el identificador de paquetes es distinto).

En la figura 109, se ve el funcionamiento del campo “**RREQ Identificador**”



En el ejemplo de figura 109, el nodo C vuelve a recibir el paquete en modo broadcast de los nodos H y G, pero detecta que el mensaje lo había recibido anteriormente y lo descarta sin reenviar nuevamente. Cuando el mensaje llega al nodo destino, este responde al **RREQ** enviando de forma unicast un mensaje

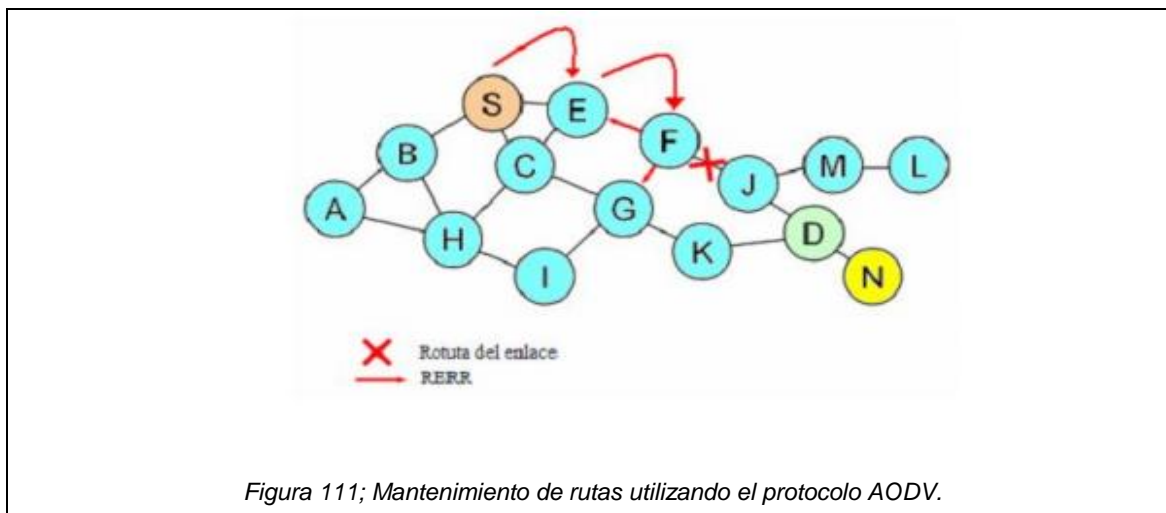
RREP (Route Reply). El mensaje **RREP** contiene la ruta hacia el origen invirtiendo el camino del **RREQ**.



En Ilustración, se ve como el **RREP** sabe el camino hasta el nodo S al invertir la secuencia del **RREQ** de llegada. Una vez seleccionado el camino, ya se inicia el envío de datos.

9.9.2 Mantenimiento de rutas AODV.

Cuando una ruta es encontrada se le da un tiempo de vida y se considera útil hasta que este tiempo no expira. Esto se utiliza para no tener que iniciar un descubrimiento de ruta para cada mensaje de información que se quiere enviar. Durante una comunicación entre el nodo fuente y el destino puede ocurrir que alguno de los nodos modifique su posición. Esto puede dar lugar a que se rompa el enlace y que la ruta quede inutilizada. Véase figura 111.



El nodo vecino al enlace roto debe ser el encargado de informar al resto. Para ello se utiliza el envío del mensaje **RERR** (Route Error). El mensaje viene a ser igual que el mensaje **RREP** pero con un número de salto (hop count) igual a infinito. Es decir, el nodo que detecta roto el enlace envía un **RERR** con valor de hop count hacia la fuente de valor infinito, lo que hace que cualquier otra ruta sea mejor y deban reencaminarse los paquetes por otro sitio. De esta manera, el nodo fuente decide si ha terminado la comunicación con el nodo destino o si por el contrario debe iniciar un nuevo proceso de descubrimiento de ruta. En Ilustración, el mensaje de **RERR** hace el camino invertido, de forma que recorre todos los nodos desde el F al nodo S. Así todos los nodos intermedios borran la ruta errónea, actualizando las tablas.

AODV presenta una serie de opciones de optimización, como la posibilidad de reparar a nivel local un enlace roto que forma parte de una ruta activa. Cuando se rompe un enlace, en lugar de enviar un paquete de **RERR** a la fuente, el nodo que ha detectado la rotura puede intentar repararlo localmente enviando un **RREQ** con el número de secuencia del destino incrementado en uno hacia ese destino. Los paquetes de datos se quedan almacenados en este nodo esperando recibir un **RREP** con una nueva ruta disponible hacia el destino. Si este nuevo procedimiento de descubrimiento de ruta no tiene éxito y el **RREP** no llega, entonces sí que será necesario informar a la fuente acerca de la rotura del enlace enviándole un paquete **RERR**.

X CONCLUSIONES

Luego de explorar la estructura de las comunicaciones inalámbricas y en particular el aprendizaje de una tecnología bastante interesante y vanguardista como lo son las Redes Ad Hoc o sin infraestructura definida, específicamente su aplicación en Redes Sensoriales, se pudo apreciar claramente que es una tecnología bastante útil para diferentes usos específicos de los cuales se pueden obtener múltiples beneficios y nuevos conocimientos; por ejemplo; en el área de la salud, la agricultura, el estudio de la flora y fauna, alertas tempranas, automatización industrial, etc.

En este caso se aproximó al estudio de creación de una red de alerta temprana para incendios forestales DTIF, en una determinada ubicación territorial y con metodologías para el correcto flujo de los datos a través de distancias que pueden ser bastante extensas. Situaciones en las cuales nuestra red debe ser capaz de configurarse, consumir poca energía, y ser en términos generales una ayuda sostenible para la detección y la toma de decisiones en una organización con o sin fines de lucro.

Finalmente podemos evaluar el cumplimiento de los objetivos específicos para proporcionar información bastante relevante respecto de la viabilidad del proyecto y los cumplimientos de las principales tareas.

10.1 OE1: Crear un modelo red WSN prototipo, adaptable a diferentes geografías, escalable e inteligente para una instalación de Forestal Nilahue de 170 Hectáreas.

El primer objetivo hacía alusión a la creación de una red de alerta temprana para incendios forestales DTIF en términos generales, para un terreno de 170 hectáreas.

Como se pudo evidenciar en el terreno se distribuyeron 21 nodos inalámbricos con una separación equidistante o teselación formada por triángulos equiláteros. A una distancia de 400 metros cada uno. Distancia sustentada a cabalidad por el dispositivo cm5000 que se comunica vía radio frecuencia en la banda ISM 2.4 GHz. A demás la escalabilidad del sistema es bastante probable de ejecutar, ya que, en el sector de estudio existen innumerables territorios forestales cercanos y de similares características geomorfológicas.

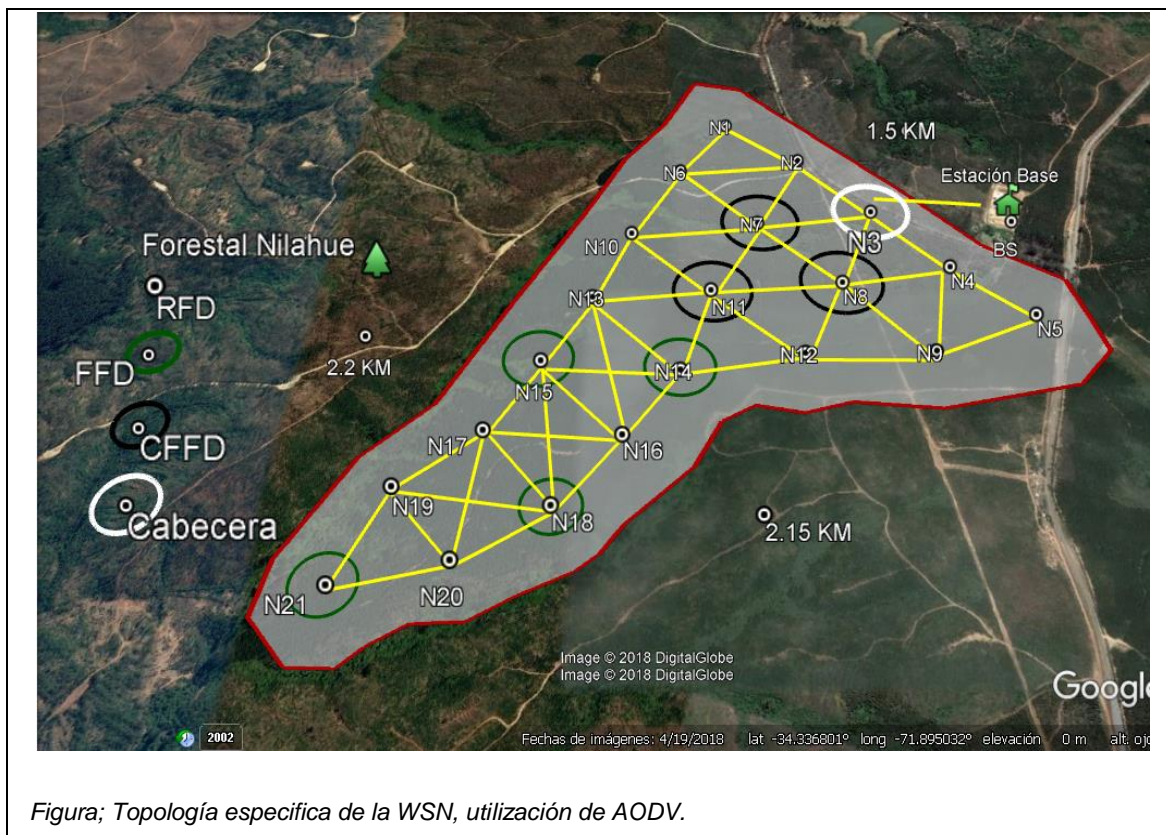


Figura 112; Posibles Áreas adyacentes de interés para la expansión o escalabilidad del sistema propuesto.

CON ESTO SE VALIDA CLARAMENTE EL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO.

10.2 OE2: Proponer un método de rutas dinámicas para la red, así transmitir la información a una central de monitoreo vía radio frecuencia en la banda 2,4 GHz con un 50% de mayor velocidad que los métodos actuales.

Se distribuyó una red de topología específica (malla) por todo el terreno y se empleó una estructura de enrutamiento (protocolo AODV) para los paquetes de datos sobre las variables en estudio.



También se puede apoyar el argumento, analizando la **Latencia** de la red de alerta, dato clave que puede ayudar a determinar el tiempo en que la data podría llegar de forma efectiva a la central de monitoreo y así reducir el tiempo de detección en un 50% como mínimo. Se debe recordar que la comunicación (Tiempo – Latencia) en redes de computadoras en su mayoría de aplicaciones es del orden de los milisegundos (FCC BUAP 2006). Y también según estudios formales de incendios forestales para áreas con climas marinos; el tiempo de detección ronda los 5 minutos y media hora hasta llegar al primer ataque. Se podría apoyar en las siguientes ecuaciones.

- ***Latencia = Tiempo de propagación + Tiempo de transmisión + Tiempo de cola. (1)***

- ***Tiempo de propagación = Distancia a recorrer / Velocidad de la luz. (2)***
- ***Tiempo de transmisión = Tamaño real del paquete / Tasa de tx teórica. (3)***

10.3 OE3: Evaluar la distribución geográfica de los Nodos en el predio forestal, para asegurar una correcta línea de vista (LOS) y despeje de la primera Zona de Fresnel (>= 60%) utilizando Radio Mobile.

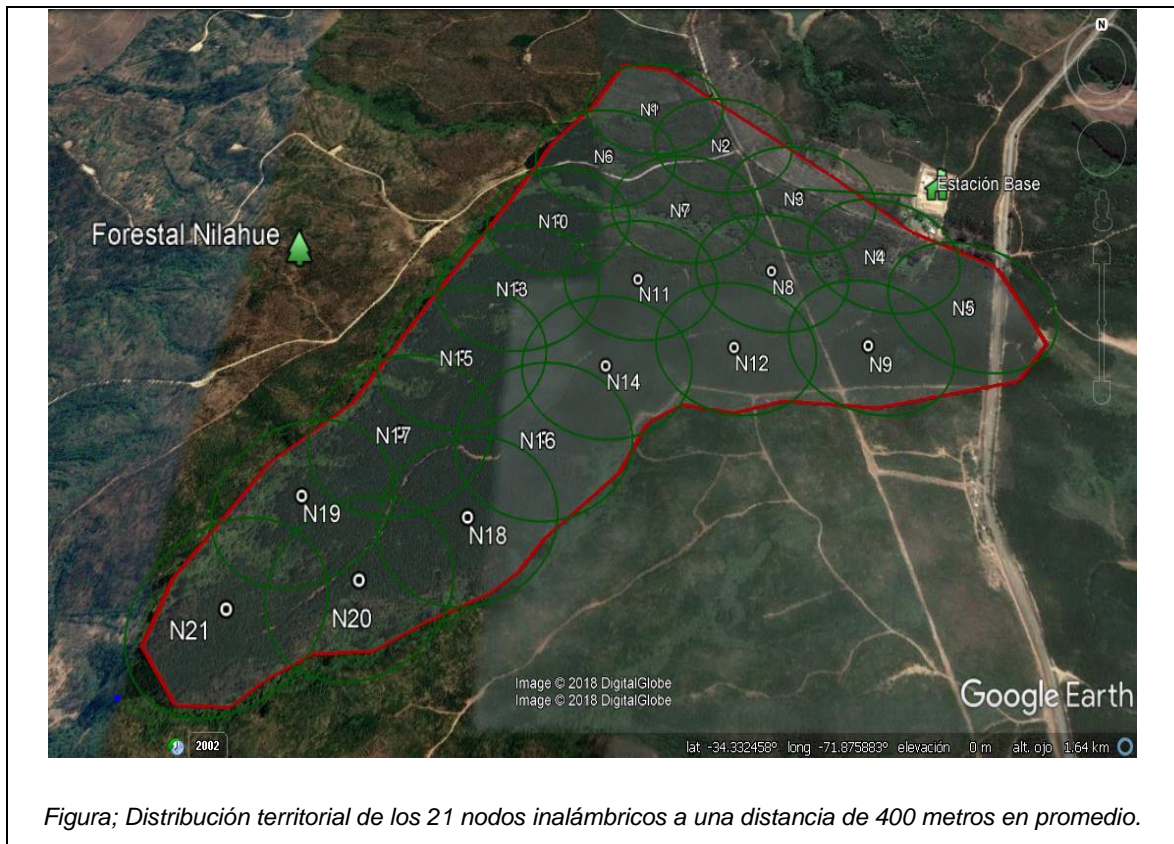
Se pudo apreciar claramente que en teoría la red necesitaba solo un poco más de 2 metros de altura para despejar (60%) la primera Zona de Fresnel, como lo pudimos evidenciar con los cálculos matemáticos. Y los nodos estarán a altura de 20 metros, pensando en que la altura promedio de los arboles es de 18 metros. También los análisis de potencia fueron satisfactorios.

Seguidamente con la aplicación de la simulación a través de Radio Mobile se pudo obtener todos los valores que nos interesaban de los enlaces para evaluar nuestro proyecto. (Véase tabla 32).

Allí obtuvimos despejes de Fresnel superiores al 100 % de la primera zona, obteniendo resultados satisfactorios.

10.4 OE4: Ubicar los Nodos a aproximadamente de 300 a 400 metros de distancia y lograr alcanzar niveles señales entre -45 y -75 dBm para así tener un enlace óptimo, haciendo uso de la ecuación correspondiente y Radio Mobile.

Conjuntamente con el objetivo 03 se obtuvieron niveles de señales adecuados respecto de los parámetros planteados al principio del proyecto. Los niveles de potencia entre -45 y -75 dBm lo cual se considera excelente para la comunicación. También la interconexión territorial de los Nodos se obtuvo a través de coordenadas GPS entregadas por Google Earth y Radio Mobile, ubicando los sitios a 400 metros en promedio y cubriendo toda el área de estudio.



10.5 Respecto del cumplimiento de la carta **GANTT ESPERADA VS GANTT RESULTANTE**, al compararlas quedaría graficadas de la siguiente manera:

- El proyecto comenzó con una estructura determinada respecto de los días de vida del mismo. Al principio se estimaron erróneamente los días necesarios para el estudio del terreno y los requerimientos técnicos. Se esperaban más días de lo real que se redujo bastante por la estructura del suelo con pendiente homogénea.
- Posteriormente a la mitad del proceso se produjeron des-alineamientos en los tiempos por motivos relacionados con la instalación de los sitios, se necesitó instalar para rayos, cercar los sitios, y mecanismos de seguridad. Obteniendo así un cambio en la programación.
- Finalmente se concluyó el proyecto con éxito temporal.

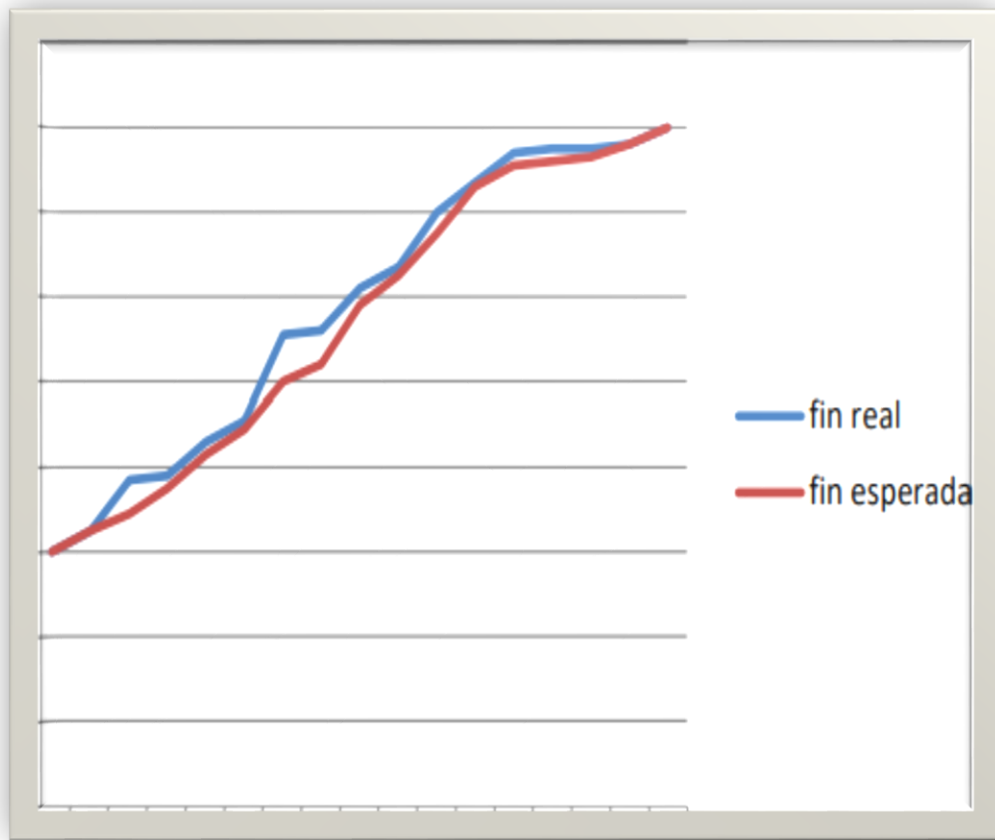


Figura 113; Carta Gantt esperada vs Gantt real.

10.6 FINAMENTE, SE REALIZA UNA TABLA MATRIZ DE MÉTRICAS PARA COMPROBAR EL ESTADO DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO Y SI SE CUMPLIERON:

	Métrica/Unidad	VAM	CEM	REM
OE01	Cubrir área de 170 hectáreas.	Área de trabajo: 0 metros.	Área de trabajo: 170 hectáreas = Perímetro: 5.900 metros.	Área de trabajo: 170 hectáreas = Perímetro: 5.900 metros. Obtenida al 100%.
OE02	Tiempo de respuesta promedio en Áreas Forestales superior a 30 minutos.	Tiempo de Respuesta: >= 30 min.	Tiempo de Respuesta: <= 15 min.	Tiempo de Respuesta: <= 5 min. Latencia en milisegundos.
OE03	Despejar zona o buscar zona elevada.	Obstrucción de primera zona de Fresnel mayor a 40%	Obstrucción de primera zona de Fresnel inferior a 20%	Obstrucción de primera zona de Fresnel despejada sobre el 100%.
OE04	Potencia Recibida $Pr = Pt + Gt + Gr - Lb$	Se desconoce actualmente.	Potencia Recibida (Prx) entre los -45 a los -70 dBm	Potencia Recibida (Prx) entre los -45 a los -70 dBm. Niveles excelentes de señal.

Tabla 33; Métricas REM con los valores obtenidos después la solución general.

ANEXO A

▪ **PROPUESTA PARA PREDECIR LA DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN DE UN INCENDIO FORESTAL USANDO WSN.**

Esto se puede lograr mediante el control de los tres eslabones de la cadena de fuego (Combustible, oxígeno y fuente de calor). El monitoreo de las fuentes de calor se realiza mediante la medición de la temperatura con sensores de temperatura en los nodos WSN desplegados en el bosque.

El combustible es monitoreado sabiendo el tipo de crecimiento, su humedad y cantidad, la humedad del combustible es un factor importante a la hora de predecir los incendios forestales. Para ello se pueden crear mapas utilizando algún Software SIG por ejemplo, donde levantemos información acerca del combustible disponible en el lugar de la instalación de la red.

El oxígeno también se puede monitorear mediante la adopción de las previsiones meteorológicas, especialmente la velocidad del viento para el área geográfica en la que se encuentra el bosque. Sin embargo, las condiciones meteorológicas pueden cambiar rápidamente en pequeñas áreas por lo tanto se necesitan valores en tiempo real de mediciones. Para ello nuestro sistema estará compuesto de Anemómetros ultrasónicos en dos sitios nodales de la red.

Entonces para predecir la dirección de propagación primero se necesita una red WSN ya instalada en un predio o bosque, donde mida temperatura y humedad del combustible, que en este caso sería la vegetación.

▪ **LA PROPUESTA QUE SE OFRECE FUNCIONA DE LA SIGUIENTE MANERA:**

Cuando la red está desplegada y cada nodo está monitoreando temperatura y humedad, hasta que un nodo activa su señal de alerta indicando que la temperatura supero el umbral establecido. Cuando esto sucede, un perímetro alrededor de este nodo se genera, tal como se muestra en la Ilustración. Cada nodo de la red posee un ID único de la red, al momento de detectar fuego, este nodo crea un ID temporal (IDT) incremental desde 1, siendo IDT01 por ejemplo el nodo que detecto el fuego.

Los nodos vecinos reciben los datos de IDT01 y estos crean a la vez sus IDT y tiempo de recepción de datos desde IDT01, incluyendo los datos de temperatura y humedad. Cuando los nodos vecinos se comunican entre sí para crear el perímetro, comparan los IDT y tiempo de recepción de datos entre sí, el IDT mayor y/o con menor tiempo de recepción desde IDT01, se le asigna el IDT menor siguiente a IDT01 y así sucesivamente con los nodos vecinos formando un perímetro.

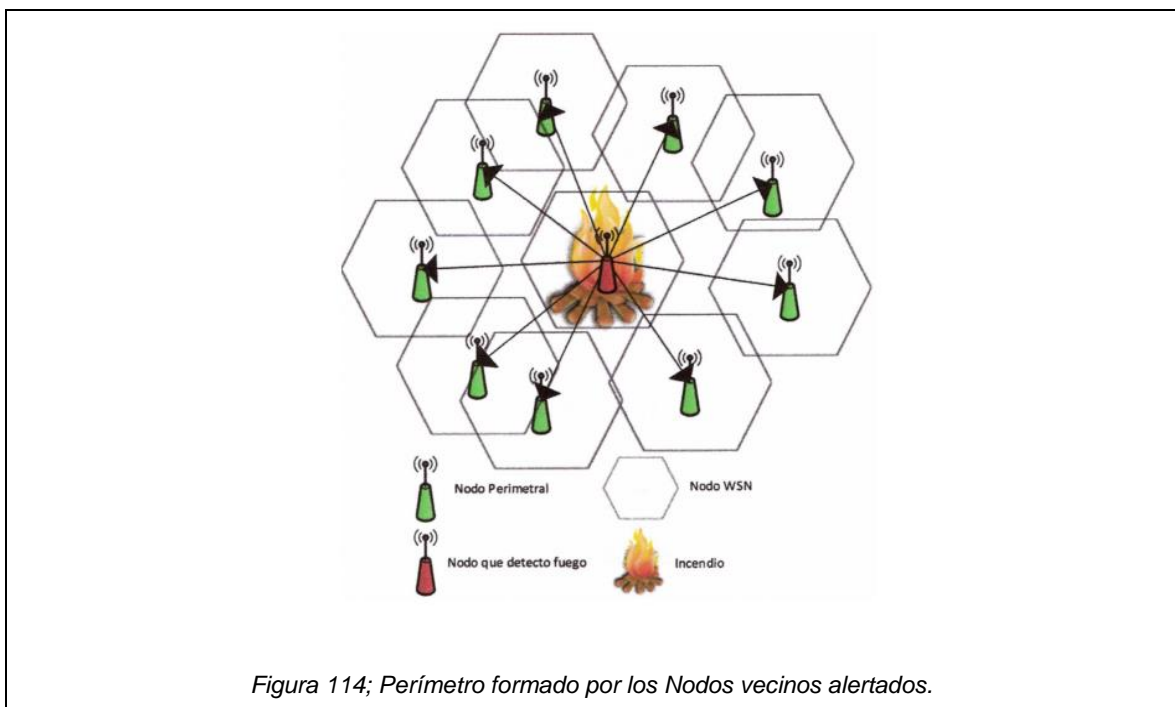
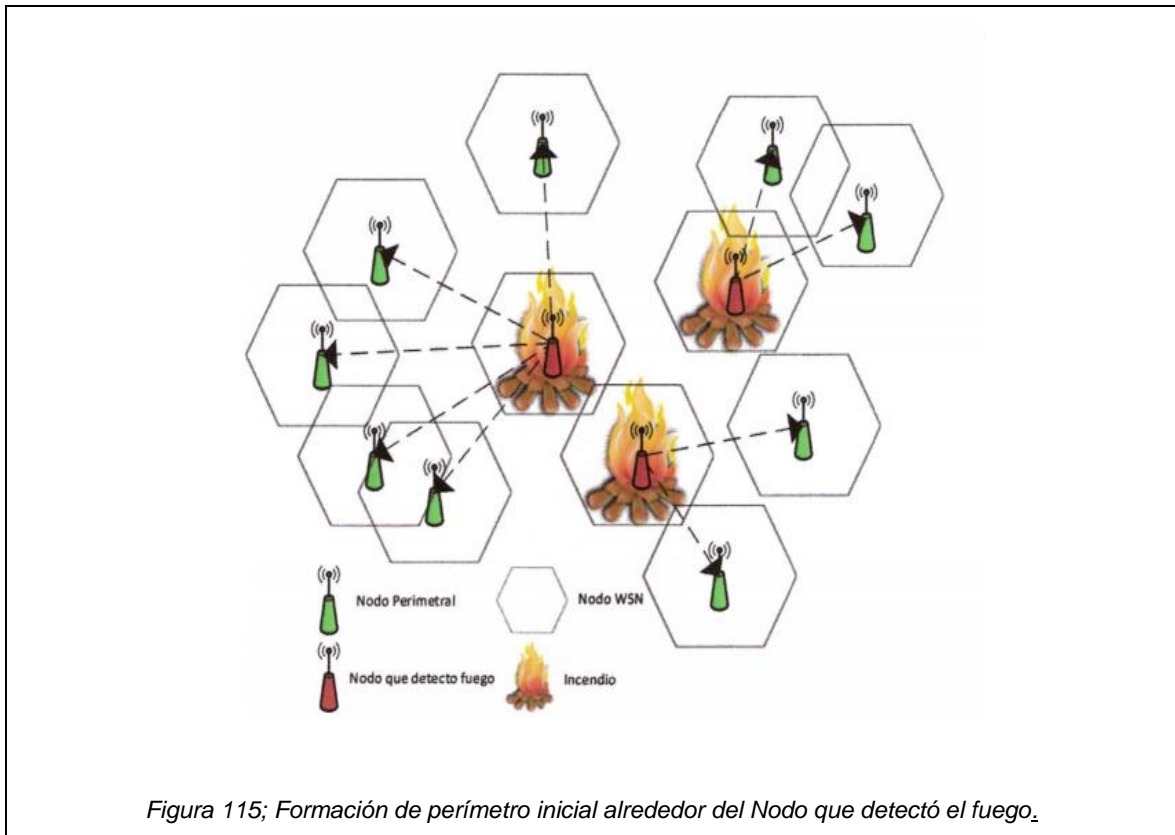
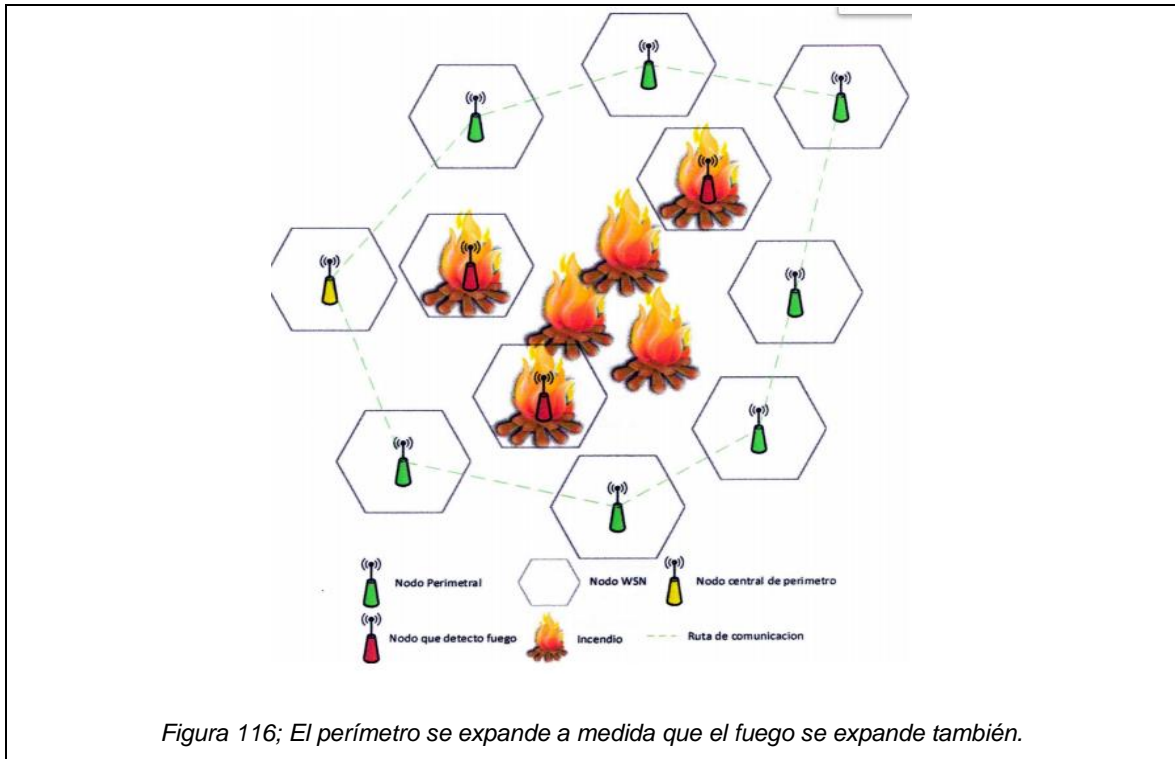


Figura 114; Perímetro formado por los Nodos vecinos alertados.

Una vez definido el perímetro (con sus IDT y tiempo de recepción), estos siguen midiendo temperatura y humedad, pero esta vez se comunican con un nodo central del perímetro (NCP), el cual es el nodo más joven o reciente incluido en el perímetro (por su IDT y tiempo de recepción de datos respecto al nodo inicial que detectó el fuego) Cuando el fuego se siga expandiendo, el proceso de formación del perímetro se realiza de forma similar, tal como se muestra en la figura 115:



En el caso de que exista más de un origen del fuego, el nodo central del perímetro se sigue escogiendo el más joven, el cual tiene la función de reunir la información y hacerla llegar de manera eficiente y eficaz al Gateway, tal como se aprecia en la Ilustración 116:



Para predecir la dirección de propagación, cuando la información es reunida por el NCP, calculamos el calor de pre ignición, el cual es Calor requerido para llevar a la ignición a un elemento combustible, este se define como la siguiente ecuación:

$$Q_{ig} = C_{pd} * \Delta T_{ig} + M_f (C_{pw} * \Delta T_B + V)$$

Donde; C_{pd} : Calor específico de madera seca; ΔT_{ig} : Rango de temperatura de ignición; M_f : Humedad de combustible; C_{pw} : Calor específico del agua; ΔT_B : Rango de temperatura de ebullición; V : Calor latente de evaporación.

Los detalles del cálculo son dados en; *Frandsen (H. Frandsen. The effective heating of fuel particles ahead of a spreading fire. USDA Forest Serv., Intermountain Forest and Range Exp. Sta., Ogden, Utah).*

La temperatura de ignición es asumida dentro del rango de 20° a 320°C y la temperatura de punto de ebullición del agua es de 100°C. Entonces la ecuación queda así:

$$Q_{ig} = 250 + 1.116 * M_f$$

En esta ecuación la única variable que se necesita es la humedad del combustible, de la cual se reúne de los nodos que están monitoreando. El valor mínimo calculado de todos los nodos es la más probable dirección en el cual el fuego se expandirá. Esta información proporcionara información crucial a las autoridades correspondientes.

ANEXO B

- **INTEGRACIÓN DE ANÁLISIS MEDIANTE EL MÉTODO DE “LA ROSA DE LOS VIENTOS”.**

WRPLOT View; (<https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>) es un Software totalmente operativo de rosa de los vientos para analizar datos meteorológicos. Proporciona gráficos de rosa de los vientos, análisis de frecuencia y gráficos de varios formatos de datos meteorológicos.

Una rosa de los vientos representa la frecuencia de ocurrencia de vientos en cada uno de los sectores de dirección del viento y las clases de velocidad del viento especificados para una ubicación y un período de tiempo determinados.

Utilizando métodos como el cálculo de la rosa de los vientos con datos meteorológicos globales y datos propios de nuestras estaciones meteorológicas, podríamos aportar de gran manera a la hora de predecir la propagación de los eventos.

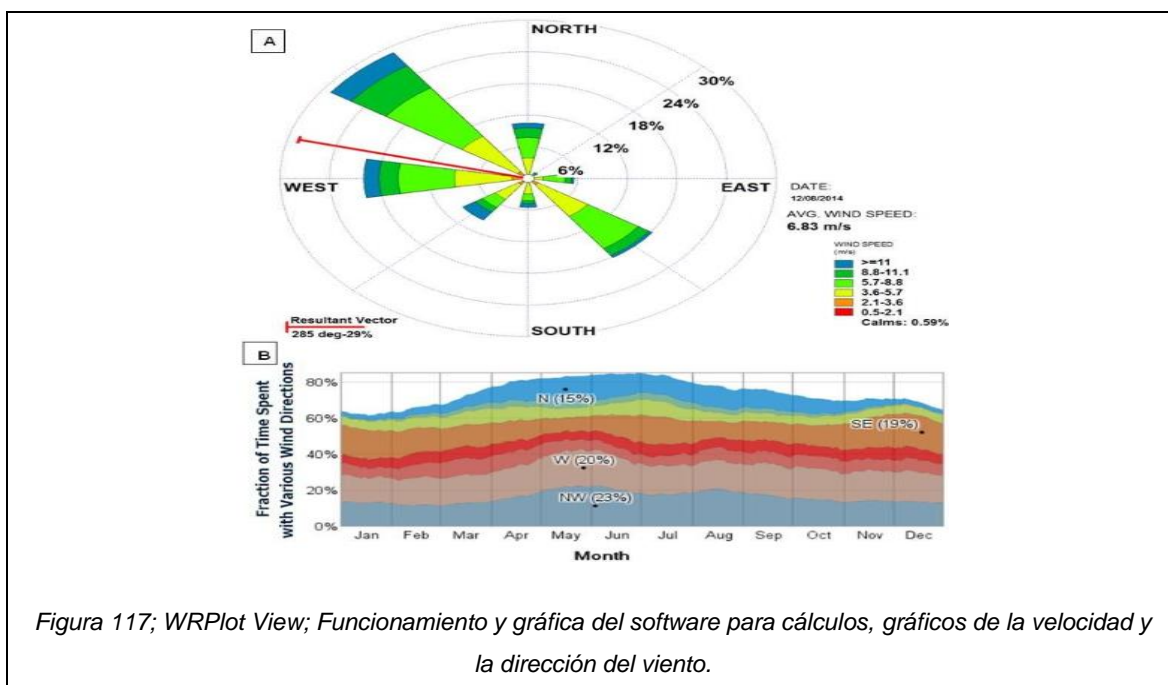


Figura 117; WRPlot View; Funcionamiento y gráfica del software para cálculos, gráficos de la velocidad y la dirección del viento.

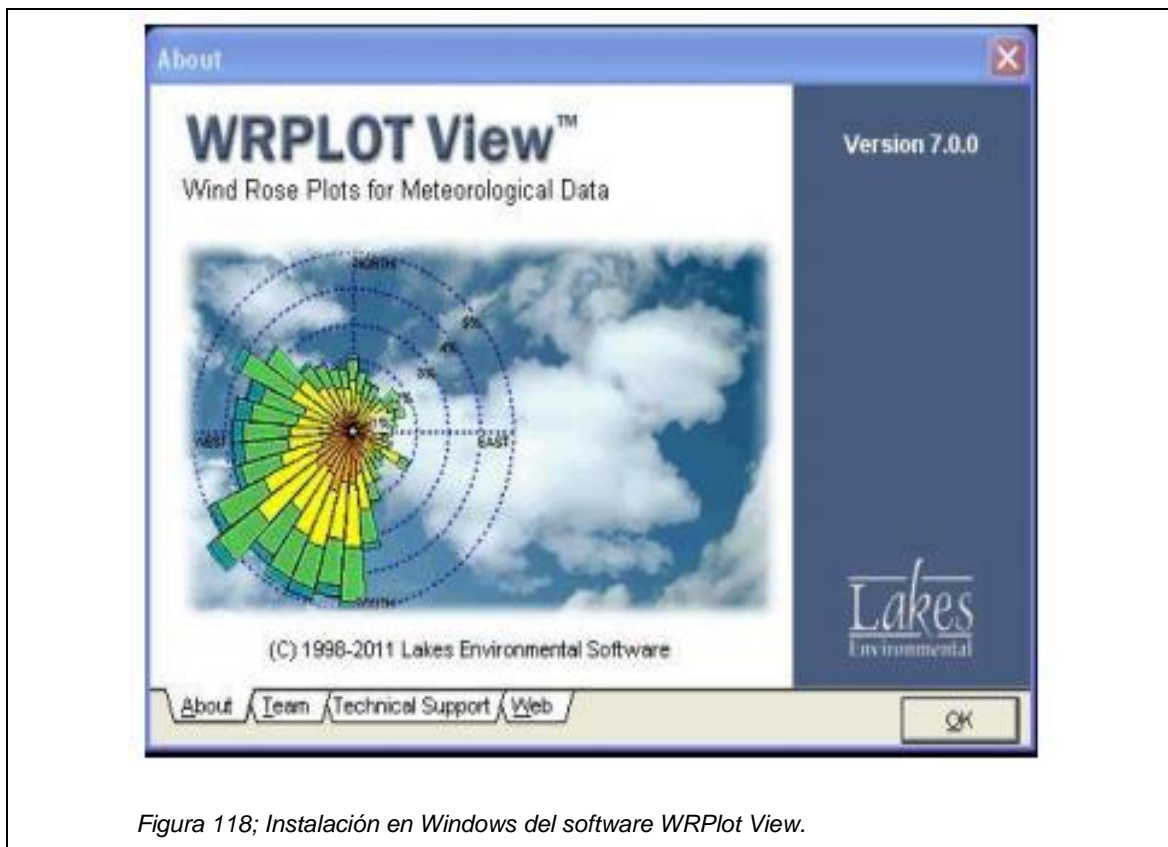


Figura 118; Instalación en Windows del software WRPlot View.

SIMULADOR FARSITE.

(<https://www.firelab.org/project/farsite>).

FARSITE calcula el crecimiento y el comportamiento de los incendios forestales durante largos períodos de tiempo en condiciones heterogéneas de terreno, combustibles y clima.

FARSITE es un sistema de simulación de crecimiento de incendios. Utiliza información espacial sobre topografía y combustibles junto con archivos meteorológicos y de viento. Incorpora los modelos existentes para fuego de superficie, fuego de corona, manchados, combustión post-frontal y aceleración de fuego en un modelo de crecimiento de fuego bidimensional.

Es ampliamente utilizado por el Servicio Forestal de EE. UU., El Servicio de Parques Nacionales y otras agencias federales y estatales de manejo de tierras para simular la propagación de incendios forestales y el uso de incendios para el beneficio de recursos en todo el paisaje. Está diseñado para usuarios familiarizados con los combustibles, el clima, la topografía, las situaciones de incendios forestales y la terminología asociada. Debido a su complejidad, solo los usuarios con el entrenamiento y la experiencia adecuados en comportamiento contra incendios deben usar FARSITE, donde se deben utilizar las salidas para tomar decisiones sobre la gestión de incendios y tierras.

FARSITE es un sistema de modelado determinista, lo que significa que los resultados de la simulación pueden compararse directamente con los insumos. Este sistema se puede usar para simular acciones de supresión de aire y tierra, así como para "juegos" de incendios, hacer múltiples preguntas "qué pasaría si" y comparar los resultados.

FARSITE es un sistema de modelado espacial contra incendios que produce salidas que son compatibles con gráficos para PC y estaciones de trabajo y software GIS para su posterior análisis y visualización. Acepta los temas de datos de trama GRASS y ARC / INFO GIS.

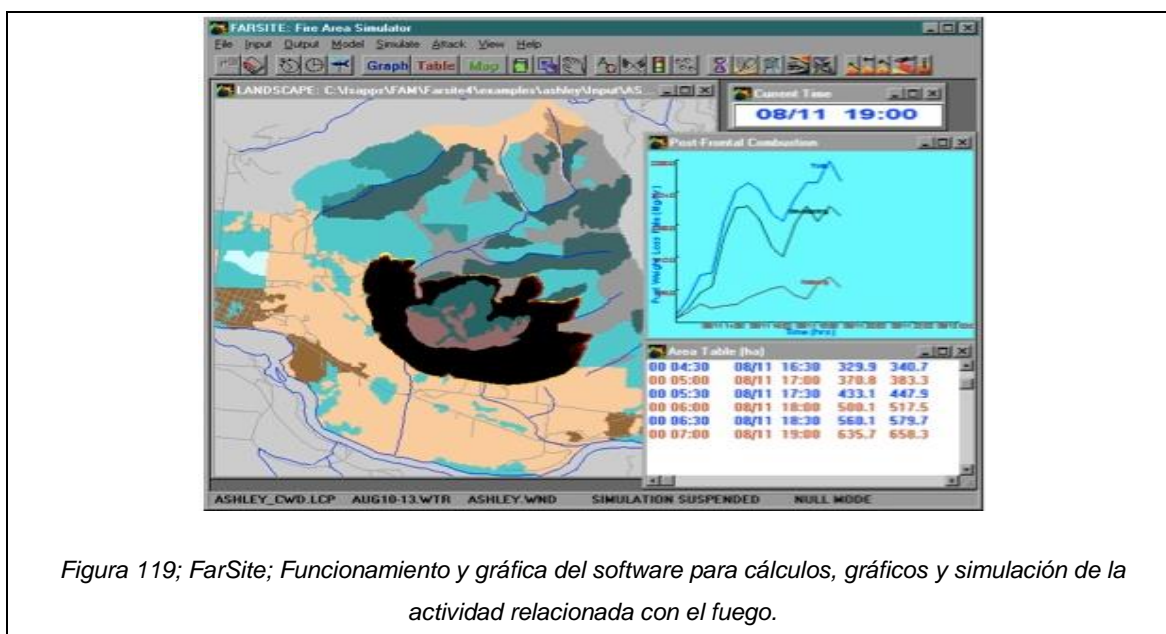


Figura 119; FarSite; Funcionamiento y gráfica del software para cálculos, gráficos y simulación de la actividad relacionada con el fuego.

XI. REFERENCIAS

Urzúa, N., & Cáceres, F. (2011, 10 junio). *Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile* [Revista RIAT]. Recuperado de <http://riat.utralca.cl/index.php/test/article/view/108/74>. [1].

Corporación Nacional Forestal, C. N, CONAF. (s.f.). *¿Cuándo ocurren incendios forestales?* Santiago, Chile Recuperado de <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/>. [2].

Corporación Nacional Forestal, C. N, CONAF. (s.f.). *Datos de incendios forestales*. Santiago, Chile Recuperado de <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/4/>. [3].

Schüler, S. C. (2014). *Análisis de visibilidad de puntos de observación terrestre fija para la detección de incendios forestales de CONAF, en la Región de Los Lagos*. Valdivia, Chile Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/fifc965a/doc/fifc965a.pdf>. [4].

Corporación Nacional Forestal, C. N, CONAF. (s.f.). *Catastro Vegetacional*. Santiago, Chile Recuperado de <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/4/>. [5].

Corporación Nacional Forestal, C. N, CONAF. (s.f.). *¿Cuándo ocurren los incendios forestales?* Santiago, Chile. Recuperado de www.conaf.cl/wpcontent/files.../1542636585TABLA7_TEMPORADA2018_07.xls. [6].

Corporación Nacional Forestal, C. N, CONAF. (s.f.). *Combate de incendios forestales – Detección de incendios forestales*. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/deteccion-de-incendios-forestales/>. [7].

Ulibarry, P. G., & Cáceres, F. (2017, 7 mayo). *Experiencia comparada: instituciones y estrategias de prevención y combate de incendios forestales*. Recuperado de <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=391844>. [8].

Silva, F. R., & Castillo, M. E. (2015, mayo). *Determining response times for the deployment of terrestrial resources for fighting forest fires. A case study: Mediterranean*. Santiago, Chile. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext. [9].

Corporación Nacional Forestal, C. N, CONAF. (s.f.). *Refuerzo internacional para el combate de los incendios forestales comienza a materializarse*. Santiago, Chile Recuperado de <http://www.conaf.cl/refuerzo-internacional-para-el-combate-de-los-incendios-forestales-comienza-a-materializarse/>. [10].

Redacción, B. B. C. MUNDO. (2017, 27 enero). *Rusia envía un avión supe tanque a Chile para ayudarle a apagar los peores incendios forestales de su historia*. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-38767110>. [11].

Flandez, J. D. (2011). *Análisis de cobertura visual de puntos de observación terrestre fija de detección de incendios forestales de CONAF Región de Los Ríos*. Valdivia, Chile Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/fiff584a/doc/fiff584a.pdf>. [12].

Neelam, V., Vishwanathan, P., & Suman, S. (2013). *Performance Evaluation of Multi-hop Wireless Sensor Networks*. Recuperado de https://www.tetcos.com/downloads/WSN_Multi_Hop.pdf. [13].

Reyes, J. S. (s.f.). *Localización en interior utilizando Redes de Sensores Inalámbricos*. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11750/fichero/Carpeta+3%252FCapitulo3.pdf>. [14].

Comisión nacional forestal, CONAFOR. (2010). *Incendios forestales Guía práctica para comunicadores*. San Juan de Ocotán Zapopan, Jal., México Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/249Reporte%20semanal%20de%20incendios%20forestales.pdf>. [15].

Ramos, V., De Miguel-Bilbao, S., & García, J. (2013, diciembre). *Innovación tecnológica para la salud y la seguridad electromagnética, Personal technological innovation for health and personal electromagnetic safety*. Madrid, España Recuperado de <http://gesdoc.isciii.es/gesdoccontroller?action=download>. [16].

González, A. J. (2009, abril). *Departamento de Electrónica Universidad Técnica Federico Santa María, Aplicaciones de Redes de Sensores Encalabrinamos y Dispositivos móviles*. Santiago, Chile Recuperado de http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/talks/2009/telematica/WSN_Mobile_Devices.pdf. [17].

Corporación Nacional Forestal, C. N, CONAF. (s.f.). *Incendios forestales en Chile; Estadísticas históricas*. Santiago, Chile Recuperado de <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>. [18].

Bio Bio Chile, Barría, F. (2017, 16 febrero). *Chile vive temporada de incendios forestales con cifras de destrucción jamás registradas*. Recuperado de <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/chile/2017/02/16/chile-vive-temporada-de-incendios-forestales-con-cifras-de-destruccion-jamas-registradas.shtml>. [19].

Bio Bio Chile, Reyes, C. (2017, 6 febrero). *Cifran en US\$400 millones las pérdidas por incendios para el sector silvoagropecuario*. Recuperado de <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/chile/2017/02/06/cifran-en-us400-millones-las-perdidas-por-incendios-para-el-sector-silvoagropecuario.shtml>. [20].

El Mostrador, Urquiza, C., & Barrios, C. (2017, 27 enero). *Plantaciones forestales: solo uno de los factores en la tormenta perfecta que incide en los incendios que tienen al país en llamas*. Recuperado de <https://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2017/01/27/plantaciones-forestales-solo-uno-de-los-factores-en-la-tormenta-perfecta-que-incide-en-los-incendios-que-tienen-al-pais-en-llamas/>. [21].

Salinas, R. T, García, G. A, & Henríquez, N. C. (2016b, marzo). *Desarrollo forestal, escasez hídrica, y la protesta social mapuche por la justicia ambiental en Chile*. Sao paulo, Brasil Recuperado de http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt_1809-4422-asoc-19-01-00121.pdf. [22].

Donoso, P. J, Otero, L. A, & Universidad Austral de Chile. (2005, 12 septiembre). *Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile?* Valdivia, Chile Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v26n3/art02.pdf>. [23].

Mendoza Olavarria, S. H, & Universidad de Chile. (2009, Noviembre). *Levantamiento, análisis y propuesta de rediseño de procesos en el ámbito del control de incendios forestales*. Santiago, Chile Recuperado de repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/cf-mendoza_so/pdfAmont/cf-mendoza_so.pdf. [24].

T13, *Informe de Contraloría revela graves irregularidades en CONAF*. (2018, 30 mayo). Recuperado de <http://www.t13.cl/noticia/nacional/informe-contraloria-acusa-graves-irregularidades-parte-conaf>. [25].

Retamal V., R., & La Tercera. (2017, 30 enero). *Bajos sueldos, mínima capacitación y poco contingente: Las carencias que denuncian los brigadistas de CONAF*. Recuperado de <http://www2.latercera.com/noticia/bajos-sueldos-minima-capacitacion-poco-contingente-las-carencias-denuncian-los-brigadistas-conaf>. [26].

Arellano G., M. J., & Ladera Sur. (2015, 5 mayo). *Bosque Nativo, sus tipos y relevancia en el territorio nacional*. Recuperado de <https://laderasur.com/articulo/tipos-de-bosques-madera-y-arquitectura/>. [27].

Cooperativa.cl. (2015, 18 marzo). *Brigadistas de CONAF paralizan y denuncian "completa precariedad laboral"*. Recuperado de <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/trabajo/denuncias/brigadistas-de-conaf-paralizan-y-denuncian-completa-precariedad-laboral/2015-03-18/131651.html>. [28].

Farooq, H., & University of Oklahoma. (2003, 16 enero). *Performance Analysis of AODV Routing Protocol for Wireless Sensor Network based SmartMetering*. Oklahoma, USA. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/246545395_Performance_Analysis_of_AODV_Routing_Protocol_for_Wireless_Sensor_Network_based_Smart_Metering. [29].

Domingo, A. G., & Universidad Politécnica de Madrid. (2011 Mayo). *Apuntes de transmisión de calor*. Madrid, España Recuperado de <http://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>. [30].

Julio A., G., Giroz G., G., & Universidad Austral de Chile. (1975). *Notas sobre el comportamiento del fuego y su aplicación en el control de incendios forestales*. Valdivia Chile, Recuperado de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v1n1/art04.pdf>. [31].

Blanco, J., García, D., & Castellnou, M. (2008, noviembre). *Curso Básico de Incendios Forestales*. Catalunya, España Recuperado de <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc18219/doc18219-contenido.pdf>
Seguridad Pública y Protección Civil, & Seguridad Medioambiental y Protección del Entorno. (2013). *Fuegos forestales, ¿cómo son?, ¿cómo se comportan?* Recuperado de <http://p3consultores.com/incendis-forestals-com-son-com-es-comporten-i/>. [32].

Ramos Marín, C. R., & Universidad Técnica Ferrifco Santa María. (2016). *Predicción de incendios forestales a través de la aplicación de índices meteorológicos en la comuna de Viña del Mar*. Viña del Mar, Chile Recuperado de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23481>. [33].

Huerta Pérez, J. L. (s.f.). *Sensores y Acondicionadores de Señal, 4° ED. - Ramón Pallas Areny*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/175837678/Sensores-y-Acondicionadores-de-Senal-4-ED-Ramon-Pallas-Areny>. [34].

Conceptos de Viento. (s.f.). Recuperado de http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/ATLAS/documentos/Marco%20Conceptual_%20Viento.pdf. [35].

Viento. (s.f.). Recuperado de <http://www.uaaan.mx/~jaflores/viento/viento.pdf>
 Capítulo 07 El Viento. (s.f.). Recuperado de <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap7.pdf>. [36].

Pakdaman, M., & Universidad de Buenos Aires. (2014, Agosto). *Implementación y Evaluación del protocolo de Sincronización B-Mac - S-Mac en WSN*. Buenos Aires, Argentina Recuperado de <http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/tesis/LSE-FIUBA-Tesis-Maestria-Mohammad-Pakdaman-2014.pdf>. [37].

Barrera, D. (2015, 23 julio). *Protocolos de sincronización para wsn*. Recuperado de <https://prezi.com/cm-3qzh5pcs3/protocolos-de-sincronizacion-para-wsn/>. [38].

Colaboradores de Wikipedia. (2018, 23 marzo). *Red ad hoc inalámbrica+ - Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Red_ad_hoc_inal%C3%A1mbricahttp://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo4.pdf. [39].

Ray, B., & Medium.com. (2018, 16 junio). *What are ZigBee, WiFi, Bluetooth, BLE, and WiMax?* Recuperado de <https://medium.com/iotforall/what-are-zigbee-wifi-bluetooth-ble-and-wimax-260916018f34>. [40].

The Things Network. (s.f.). Recuperado de <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan>. [41].

Cuevas Shuller, S. A, & Universidad Austral de Chile. (2014). *Análisis de visibilidad de puntos de observación terrestre fija para la detección de incendios forestales de CONAF, en la Región de Los Lagos*. Valdivia, Chile Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/fifc965a/doc/fifc965a.pdf>. [42].

Fernandez-Berni, J., Carmona Galan, R., Leñam Cembrano, G., & IEEE Xplore. (2011, 25 agosto). *Wi-FLIP: A wireless smart camera based on a focal-plane low-power image processor - IEEE Conference Publication*. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/6042916>. [43].

Project Management Institute. (2004). *Fundamentos de la Dirección de Proyectos*. Newtown Square, USA. Recuperado de <https://profesores.ing.unab.cl/~druete/archivos/cursos/SI/Metodolog%C3%ADa%20de%20Gesti%C3%B3n/PMBok.pdf>. [44].

Noth Suárez, J. C, Linares Pérez, W. O, & Corporación universitaria tecnológica de bolívar. (2003). *Soluciones inalámbricas basadas en tecnologías bluetooth e irda*. Cartagena de Indias, Colombia Recuperado de <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0019039.pdf>. [45].

Yunquera Torres, J. J., & Escuela superior de ingenieros de Sevilla. (2005, 21 octubre). *Despliegue de red inalámbrica para la escuela superior de ingenieros de Sevilla*. Sevilla, España. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11138/fichero/memoria%252FCap%C3%ADtulo+3.pdf>. [46].

Caicedo Ortiz, J. C., Acosta Coll, M. A., Cama-Pinto, A., & Universidad de la Costa (CUC). (2014, 11 noviembre). *Modelo de despliegue de una WSN para la medición de las variables climáticas que causan fuertes precipitaciones*. Barranquilla, Colombia. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v13n1/v13n1a11.pdf>. [47].

Durukan Odabasi, S., & Durukan Odabasi, A. (2011, junio). *Wireless mesh sensor networks: advantages, difficulties and interconnection methods*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266260426_Wireless_Mesh_Sensor_Networks_Advantages_Difficulties_and_Interconnection_Methods. [48].

Fernández dos Santos Xaud, A., Dallora Moraes, A. L., Fernández dos Santos Xaud, M., & Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2007). *Protocolo AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector)*. Rio de Janeiro, Brasil. Recuperado de https://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/adhoc/aodv.html. [49].

Jiménez, J. A., Bonino, A., Díaz-Ramírez, A., & 1er. Congreso Nacional de tecnologías de la información y la comunicación. (2011). *Evaluación de los protocolos AODV y AOMDV en Aplicaciones de Detección de Fuego y Gas para Redes de Sensores*. Recuperado de <https://docplayer.es/18254762-Evaluacion-de-los-protocolos-aodv-y-aomdv-en-aplicaciones-de-deteccion-de-fuego-y-gas-para-redes-de-sensores.html>. [50].

IEEE Computer Society, & LAN/MAN Standards Committee. (2011, 5 septiembre). *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks— Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*. New York, USA. Recuperado de http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm_standards/2015S_zigbee/802.15.4-2011.pdf. [51].

Valdivia Arredondo, J. A., & Universidad Austral de Chile. (2013). *Análisis y propuesta de un método de prevención de incendios forestales utilizando redes de sensores inalámbricos (WSN)*. Recuperado de http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm_standards/2015S_zigbee/802.15.4-2011.pdf. [52].

Rendimiento de una Red. (s.f.). Recuperado de https://www.cs.buap.mx/~iolmos/redes/3_Rendimiento.pdf. [53].

