UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE REDES Y COMUNICACIONES

Diseño de red inalámbrica para una compañía del sector minero

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero de Redes y Comunicaciones

AUTOR

Christian José Pascual Mendoza (0000-0003-1834-2853)

ASESOR:

Rodríguez Gutierrez Alfredo Efraín (0000-0001-6246-049X)

Lima, 24 de abril de 2021

DEDICATORIA

Agradecimiento a mis padres, profesores, hermanos y amigos que siempre me apoyaron.

RESUMEN

La siguiente tesis, es sobre el diseño de la red inalámbrica para una compañía del sector minero, utilizando fórmulas, estándares y buenas prácticas brindadas por diversas entidades internacionales, que nos permiten el mejor diseño posible. En el capítulo 1 se dará aspectos introductorios acerca de la compañía y los objetivos planteados. En el capítulo 2, se da soporte científico y teórico a la tecnología, estándares y especificaciones empleadas. En el capítulo 3, se plantea el problema a resolver, sus causas, consecuencias, requerimientos y posible solución. En el capítulo 4, a nivel técnico, se propone las especificaciones y mejores prácticas en el desarrollo del diseño como es: las frecuencias libres de 2.4 GHz para acceso a la red, 5 GHz para la utilización de mesh y la frecuencia de 60 GHz para los enlaces microondas. En el capítulo 5, se validará el diseño propuesto contra los objetivos específicos propuestos en el capítulo 1. Finalmente, en el capítulo 6 y 7, se da recomendaciones y conclusiones.

Palabras claves: mapa de calor; site survey WiFi; WLAN

ABSTRACT

The following thesis is about the design of the wireless network for one mining company, using formulas, standards and good practices provided by various international entities, which allow us the best possible design. In chapter 1 introductory aspects about the company and its objectives will be given. In Chapter 2, scientific and theoretical support is given to the technology, standards and specifications used. In chapter 3, the problem to be solved, its causes, consequences, requirements and possible solution are presented. In chapter 4, at a technical level, the specifications and best practices in the development of the design are proposed, such as: the free frequencies of 2.4 GHz for network access, 5 GHz for the use of mesh and the frequency of 60 GHz for microwave links. In Chapter 5, the proposed design will be validated against the specific objectives proposed in Chapter 1. Finally, in Chapter 6 and 7, recommendations and conclusions are given.

Keywords: HeatMap; site survey WiFi; WLAN

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: ASPECTOS INTRODUCTORIOS 12
1.1. INTRODUCCIÓN 12
1.2. ORGANIZACIÓN OBJETIVO 12
1.2.1. CAMPO DE ACCIÓN 13
1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 14
1.3.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 14
1.3.2. PROBLEMAS QUE RESOLVER 14
1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO GENERAL Y ESPECÍFICOS 15
1.4.1. OBJETIVO GENERAL 15
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
1.4.3. INDICADORES DE LOGRO DE LOS OBJETIVOS 16
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 17
1.6. ESTADO DEL ARTE 17
1.6.1 ANTECEDENTES 17
1.6.2. SITUACIÓN ACTUAL 20
1.6.3. TENDENCIAS 20
1.6.4. TESIS DESARROLLADAS POR OTROS AUTORES 22
1.6.5. CASOS DE ÉXITO EMPRESARIALES 23
1.6.7. APORTE EMPRESARIAL 23
1.6.8. APORTE ACADÉMICO 24
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 25
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS 25
2.1.1. ARQUITECTURA GENERAL IEEE 802.11 25
2.1.2. ESTANDARES INALAMBRICOS 26
2.1.3. DECIBELIO (DB) 28
2.1.4. DECIBELIO MILIVATIO (DBM) 28
2.1.5. ATENUACIÓN (DB) 28
2.1.6. RELACIÓN SEÑAL A RUIDO (SNR) 29
2.1.7. POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EQUIVALENTE (PIRE) 30
2.1.8. PERDIDA EN EL ESPACIO LIBRE 31
2.1.9. POTENCIA RECIBIDA 32
2.1.10. INDICADOR DE FUERZA DE LA SEÑAL RECIBIDA (RSSI) 33
2.1.11. MODULACIÓN 33
2.1.12. NORMAS DE CODECS DE VIDEO 34
2.1.13. TECNOLOGÍA MESH O EN MALLA, IEEE 802.11S 35
2.2. ENTIDADES INTERNACIONALES DE ESTÁNDARES Y NORMAS 35
2.2.1. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 35
2.2.2. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE) 38
2.2.3. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNIÓN (ITU) 39

2.3. ETAPAS DEL DISEÑO DE COBERTURA INALÁMBRICA 39
2.3.1. ETAPA DE DOCUMENTACIÓN DE ESTADO ACTUAL 39
2.3.2. DEFINICIÓN DEL DISEÑO 39
2.3.3. ELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO 41
2.3.4. CANTIDAD DE EQUIPOS DE COMUNICACIÓN A UTILIZAR. 41
3. CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 42
3.1. RED MESH DE 5 GHZ EN LA OFICINA DE LIMA 43
3.1.1. PROBLEMAS 43
3.1.2. CAUSAS 43
3.1.3. CONSECUENCIAS 43
3.1.4. REQUERIMIENTOS 43
3.1.5. POSIBLE SOLUCIÓN 43
3.2. COBERTURA Y CALIDAD DE SEÑAL EN OFICINAS DE LIMA 44
3.2.1. PROBLEMAS 44
3.2.2. CAUSAS DEL PROBLEMA 46
3.2.3. CONSECUENCIAS 48
3.2.4. REQUERIMIENTOS 49
3.2.5. POSIBLE SOLUCIÓN 49
3.3. FALTA DE COBERTURA OUTDOOR EN LA UNIDAD MINERA 49
3.3.1. PROBLEMAS 49
3.3.2. CAUSAS DEL PROBLEMA 49
3.3.3. CONSECUENCIAS 49
3.3.4. REQUERIMIENTOS 50
3.3.5. POSIBLE SOLUCIÓN 50
3.4. SITIOS REMOTOS SIN RADIO ENLACES 50
3.4.1. PROBLEMAS 50
3.4.2. CAUSAS 50
3.4.3. CONSECUENCIAS: 51
3.4.4. REQUERIMIENTOS 51
3.5. GESTIÓN DE INTERESADOS: 51
3.6. ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL TRABAJO 56
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN 57
4.1. DISEÑO DE RED INALÁMBRICA MESH EN OFICINAS DE LIMA 57
..... 57
4.2. DISEÑO DE COBERTURA PARA USUARIOS DE LA OFICINA 71
4.3. DISEÑO DE RED INALÁMBRICA EN UNIDAD MINERA 78
4.4. DISEÑO DE ENLACE MICROONDAS EN LA UNIDAD MINERA 82
4.3.1. DISEÑO DEL ENLACE DE SISTEMAS A CAMPAMENTO 1 83
4.3.2. DISEÑO DEL ENLACE DE SISTEMAS A CAMPAMENTO 2 86
CAPÍTULO 5: PRUEBAS, RESULTADOS Y VALIDACIÓN 90
5.1. CUMPLIMIENTO DEL DISEÑO DE COBERTURA DE LA RED MESH DE TRANSPORTE PARA LA OFICINA DE LIMA 90

5.2. CUMPLIMIENTO DEL DISEÑO DE COBERTURA DE LA RED INALÁMBRICA PARA USUARIOS DE LA OFICINA DE LIMA 101
5.3. CUMPLIMIENTO DEL DISEÑO DE COBERTURA DE LA RED INALÁMBRICA PARA LA UNIDAD MINERA 105
5.4. CUMPLIMIENTO DEL DISEÑO DE ENLACES DE LA UNIDAD MINERA 110
5.4.1. CUMPLIMIENTO DEL ENLACE DE SISTEMAS A CAMPAMENTO 01 110
5.4.2. CUMPLIMIENTO DEL ENLACE DE SISTEMAS A CAMPAMENTO 02 113
6. CONCLUSIONES 116
7. RECOMENDACIONES 117
8. REFERENCIAS 118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de objetivos, indicadores y métricas 16
Tabla 2: Historia de las redes inalámbricas 18
Tabla 3: Atenuaciones según material en 2.4 GHz y 5 GHz 29
Tabla 4: Potencias y ganancias máximas 31
Tabla 5: Velocidad según resolución y cuadros por segundo 35
Tabla 6: Registro de incidencias 45
Tabla 7: Interesados en el proyecto 52
Tabla 8: Objetivos, causas, consecuencias y requerimientos 53
Tabla 9: Parámetros de cálculo 59
Tabla 10: Potencia recibida a varias distancias 60
Tabla 11: Atenuaciones según material en 2.4 GHz y 5 GHz 61
Tabla 12: Calculo de potencia recibida a través de concreto 62
Tabla 13: Cálculo de potencia recibida a través de drywall 62
Tabla 14: Cálculo de potencia a través de vidrio 63
Tabla 15: Tabla de rendimiento según modulación por fabricante Aruba 69
Tabla 16: Velocidad según resolución y cuadros por segundo 70
Tabla 17: Parámetros a considerar en 2.4 GHz 72
Tabla 18: Nivel de recepción 73
Tabla 19: Pérdida por materiales 74
Tabla 20: Calculo de potencia afectada por concreto 74
Tabla 21: Calculo de potencia afectada por drywall 74
Tabla 22: Resumen de cantidad de APs por piso para las oficinas de Lima 77
Tabla 23: Tabla de Rendimiento de AP Aruba 575 77
Tabla 24: Parámetros a considerar 79
Tabla 25: Resultados obtenidos a distintos metros 79
Tabla 26: Atenuación por concreto 80
Tabla 27: Atenuación por metal 80
Tabla 28: Atenuación por drywall 80
Tabla 29: Atenuación por vidrio 81
Tabla 28: Parámetros de cálculo 83
Tabla 29: Resultados del cálculo 84
Tabla 30: Cálculo de Fresnel 85
Tabla 31: Parámetros de cálculo para Campamento 2 86
Tabla 32: Resultados del Nivel de Recepción 86
Tabla 33: Resultados de la Evaluación de Fresnel 87
Tabla 34: Especificaciones Ubiquiti AirFiber 60 89
Tabla 35: Cálculo de potencia recibida a través de drywall 91
Tabla 36: Cálculo de RRSI a cada AP 96
Tabla 37: Resumen de objetivos cumplidos 100

Tabla 38: Porcentaje de potencia 102
Tabla 39: Resumen de objetivos cumplidos 105
Tabla 40: Potencias recibidas a través de concreto en 2.4Ghz 106
Tabla 41: Potencias recibidas a través de drywall en 2.4Ghz 107
Tabla 42: Resumen de objetivos cumplidos 109
Tabla 43: Parámetros de cálculo para Campamento 1 110
Tabla 44: Resultados 111
Tabla 45: Comparación de resultados 112
Tabla 46: Parámetros de cálculo para Campamento 2 113
Tabla 47: Resultados 114
Tabla 48: Comparación de resultados 115
Tabla 49: Resumen de objetivos cumplidos 116

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Evolución del estándar 802.11 19
Imagen 2: Características del estándar WIFI 7 22
Imagen 3: Capas física y de enlace de datos 26
Imagen 4: Las 5 primeras generaciones de estándares inalámbricos 27
Imagen 5: Las 6 generaciones de estándares inalámbricos actuales 27
Imagen 6: Visualización de la relación de señal a ruido 30
Imagen 7: Visualización de la relación de señal a ruido 32
Imagen 8: Ejemplo de Mapa de colores de intensidad de señal en DBM 33
Imagen 9: Modelo OSI versus TCP/IP 36
Imagen 10: Diferencias entre tipos de diseños 40
Imagen 11: Diagrama de Red simple de la empresa minera 42
Imagen 12: Mapa de calor actual del piso 30 de la oficina de Lima 46
Imagen 13: Mapa de calor actual del piso 31 47
Imagen 14: Mapa de calor actual del piso 32 47
Imagen 15: Mapa de calor actual del piso 33 48
Imagen 16: Zonas sin cobertura 51
Imagen 17: Poder VS interés 52
Imagen 18: Estructura de descomposición del trabajo 56
Imagen 19: Plano en AutoCAD del Piso 17 57
Imagen 20: Ruido en la banda de 5 GHz 58
Imagen 21: Análisis de mapa de calor del Piso 30 60
Imagen 22: Mapa de colores de intensidad de señal en DBM en Aruba Visual RF 61
Imagen 23: Cobertura de 5Ghz en Piso 30 63
Imagen 24: Mapa de calor AP1 en 5Ghz, Mesh 64
Imagen 25: Cobertura de AP 2 en 5Ghz, Mesh 64
Imagen 26: Cobertura de AP 3 en 5Ghz, Mesh 65
Imagen 27: Cobertura AP 4 en 5Ghz, Mesh 65
Imagen 28: Cobertura AP 5 en 5Ghz, Mesh 66
Imagen 29: Cobertura de AP 6 en 5Ghz, Mesh 66
Imagen 30: Cobertura de AP 7 en 5Ghz, Mesh 67
Imagen 31: Cobertura de Piso 31 en 5Ghz, Mesh 67
Imagen 32: Cobertura de Piso 32 en 5Ghz, Mesh 68
Imagen 33: Cobertura Piso 33 en 5Ghz, Mesh 68
Imagen 34: Visualización de ruido en el piso 30 71
Imagen 35: Potencia según distancia 73
Imagen 36: Diseño de Mapa de Calor PISO 30 75
Imagen 37: Diseño de Mapa de Calor de PISO 31 75
Imagen 38: Diseño de Mapa de Calor de PISO 32 76
Imagen 39: Diseño de Mapa de Calor de PISO 33 76

Imagen 40: Capacidades binarias soportadas de AP Aruba 575 78
Imagen 41: Mapa de calor de dos APs outdoors 81
Imagen 42: Ubicación geográfica de enlaces 82
Imagen 43: Enlace Sistemas a Campamento 01 84
Imagen 44: Enlace Campamento 1 a Sistemas 85
Imagen 45: Enlace Sistemas a Campamento 02 87
Imagen 46: Enlace Campamento 02 a Sistemas 88
Imagen 47: Diseño mesh del Piso 30 91
Imagen 48: Mapa de calor de AP1 en Aruba Visual RF 92
Imagen 49: Mapa de calor de AP1 en Ekahau 92
Imagen 50: Verificación de cobertura de AP 2 en Mesh, 5 GHZ 93
Imagen 51: Cobertura de AP 3 93
Imagen 52: Cobertura AP 4 94
Imagen 53: Cobertura AP 5 94
Imagen 54: Cobertura de AP 6 95
Imagen 55: Cobertura de AP 7 95
Imagen 56: Cobertura de Piso 31 en Mesh, 5 Ghz 96
Imagen 57: Cobertura de Piso 32 97
Imagen 58: Cobertura Piso 33 97
Imagen 59: Modulación por RSSI 98
Imagen 60: Velocidad según modulación y estándar 99
Imagen 61: Mapa de Calor Piso 30 101
Imagen 62: Sectorización del mapa de calor del piso 30 101
Imagen 63: Tabla de Rendimiento de AP Aruba 575 103
Imagen 64: Capacidades binarias soportadas de AP Aruba 575 104
Imagen 65: Prueba de velocidad 104
Imagen 66: Mapa de calor de dos APs outdoors 106
Imagen 67: Tabla de rendimiento de AP Aruba 575 en 2.4Ghz 108
Imagen 68: Capacidad binanria de AP Aruba 575 en 2.4Ghz 108
Imagen 69: Prueba con cliente 109
Imagen 70: Notas y observaciones para la frecuencia de 60 Ghz. 111
Imagen 71: Perfil de propagación de enlace a Campamento 01 112
Imagen 72: Perfil de propagación de enlace a Campamento 02 114

CAPÍTULO 1: ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1.1.INTRODUCCIÓN

Actualmente, las personas, sus vehículos, electrodomésticos, herramientas y cualquier otro objeto pueden tener la necesidad de estar conectado inalámbricamente y de estar en constante movimiento, por lo que se necesitan conexiones inalámbricas rápidas y seguras, que permitan flexibilidad y confiabilidad en las comunicaciones. Asimismo, las redes inalámbricas permiten un ambiente más colaborativo y productivo, promoviendo la comunicación en toda la empresa y mayor adquisición de datos del entorno para la toma de mejores decisiones empresariales. Esto implica considerar las soluciones inalámbricas con criterios económicos flexibles, con alta disponibilidad, seguridad y velocidad. Es por esto, que la aplicación de las redes inalámbricas, en cualquier industria, dentro de estas la industria minera, es tan importante y conlleva, según su propósito sea en oficinas o en plantas industriales, cumplir con estos criterios. Finalmente, se está volviendo más común el uso del estándar 802.11 ax (WIFI 6), estándar que permite conexiones alrededor de los 10 Gbps y el estándar 802.11S, que permite el uso de puntos de acceso sin cableado físico, soportado con tecnología mesh bajo el estándar 802.11s.

1.2.ORGANIZACIÓN OBJETIVO

La presente tesis, abarcará el diseño de la red inalámbrica en una compañía minera, teniendo como alcance sólo las oficinas administrativas y una unidad minera, que se beneficiarán con buena cobertura y velocidad de conexión en sus comunicaciones de datos, voz y video. Esta compañía nació en el año de 1970, con más de 50 años de experiencia. Actualmente, la compañía cuenta con diversas unidades mineras, participación en otras empresas y proyectos mineros. Asimismo, tienen varias oficinas en Lima y varias unidades mineras. Por otro lado, cuentan con un datacenter en Telefónica en donde residen todos sus servidores empresariales.

La empresa tiene como visión, ser una empresa minero-metalúrgica líder en Perú que genere el mayor valor para la sociedad y tiene como una de sus misiones, formar y mantener un equipo humano multidisciplinario, alineado con su visión, que trabaje con

excelencia y altos estándares de seguridad, respeto al medio ambiente y al entorno social. Otra misión con que cuenta es, aplicar los más altos estándares de la industria y promover la innovación permanente. Actualmente, cuenta con más de 1000 colaboradores distribuidos en todas las unidades y sedes administrativas. Cuenta además de los accionistas, un directorio, un CEO, 2 vicepresidentes y alrededor de 5 gerentes. Entre sus gerencias tenemos: La Gerencia de Tecnología de la Información, Contabilidad, Auditoría interna, Logística, Recursos Humanos, Legal, Gerencia de Asuntos Sociales, Gerencia de Innovación, Gerencia de Cumplimiento, De Proyectos, Geología, Exploraciones, Gestión Ambiental, Planeamiento, Seguridad, Gestión de activos, Gerencia Técnica de Operaciones a Tajo Abierto, De Operaciones, De Plantas e Investigaciones Metalúrgicas

En la Gerencia de Tecnología de la Información, se encuentran las áreas de Infraestructura y Operaciones, Base de Datos, Aplicaciones y otras. El área de Infraestructura y Operaciones cuenta con jefes, analistas y terceros desplegados en las distintas unidades. Los terceros siempre son liderados por un analista o jefes de área.

1.2.1. CAMPO DE ACCIÓN

Dentro del área de infraestructura y operaciones, se encuentra la subárea de redes y comunicaciones. Esta subárea liderada desde la oficina de Lima, que se encarga de coordinar entre todas las áreas de infraestructura y comunicaciones de las distintas unidades mineras, que son lideradas por los administradores de cada unidad minera. Esta subárea de comunicaciones cuenta con el desafío de mantener operativo la infraestructura, gestionar sus problemas y solucionar incidentes con el mejor precio posible y cumpliendo con las regulaciones peruanas y estándares de la industria. En esta tesis, debido a la complejidad geográfica de las unidades, solo se abarcará la oficina administrativa de Lima y una de sus unidades mineras.

1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El área de sistemas cuenta con diversos problemas en la oficina de Lima y en su unidad minera, entre las que destacan la falta de cobertura y acceso inalámbrico a la red de datos, voz y video por parte de los directivos, empleados, invitados y vehículos en superficie. Asimismo, al no haber buena cobertura de señal red inalámbrica, en todas las áreas habitables y productivas de la unidad minera, se realiza conexiones lentas y ocasiona quejas desde los accionistas hasta los empleados ubicados en la unidad minera.

Por otra parte, todas las unidades tienen una implementación con más de tres años de antigüedad, de distintas marcas, no estandarizada y descentralizada; ocasionando que las velocidades de conexión sean lentas, ya que utiliza distintos estándares de redes inalámbricas obsoletas. Con todo lo mencionado anteriormente, se dificulta la solución de problemas cuando un dispositivo genera lentitud, afectando a los usuarios y ocasionando más reclamos al área de sistemas o las gerencias. Finalmente, se propondrá el uso de la frecuencia de la tecnología mesh en la banda de 5 Ghz.

1.3.2. PROBLEMAS QUE RESOLVER

- La red de acceso inalámbrica de las oficinas no cuenta con buena calidad de señal, cobertura y velocidad binaria para transmitir datos usando mesh en la banda de 5 GHz.
- La red de acceso inalámbrica de las oficinas no cuenta con buena calidad de señal, cobertura y velocidad binaria para transmitir datos, voz y video para la banda de 2.4 GHz.
- La red de acceso inalámbrica de la unidad minera no cuenta con buena calidad de señal, cobertura y velocidad binaria para transmitir datos, voz y video en exteriores.
- La red inalámbrica de la unidad minera cuenta con enlaces microondas de transporte lentos y saturados, que impiden una buena comunicación punto a punto.

1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la red inalámbrica para mejorar las comunicaciones de datos, de la oficina principal de Lima y una de sus unidades mineras, de la empresa de minas; cumpliendo con estándares y recomendaciones de la ITU, IEEE 802.11 y afines.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Entre los objetivos específicos tenemos:

Diseñar la red mesh inalámbrica para transportar los datos de los usuarios de la oficina, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando la pérdida en el espacio (LBF), el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI), la relación señal a ruido (SNR) y capacidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 5 GHz.

Diseñar la red de acceso inalámbrica para los usuarios de la oficina, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el RSSI, LBF y velocidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 2.4 GHz.

Diseñar la red de acceso inalámbrica para exterior para los usuarios de la unidad minera, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el LBF, RSSI, la SNR y velocidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 2.4 GHz.

Diseñar los enlaces punto a punto, aplicando las fórmulas de propagación de señales electromagnéticas calculando el nivel de recepción y pérdida en el espacio libre definidos por la ITU e IEEE para la banda de 60 GHz.

1.4.3. INDICADORES DE LOGRO DE LOS OBJETIVOS

En la siguiente tabla el resumen de los objetivos específicos, indicadores y métricas.

Tabla 1: Tabla de objetivos, indicadores y métricas

OBJETIVOS ESPECIFICOS	INDICADORES	MÉTRICA
Diseñar la red mesh inalámbrica para transportar los datos de los usuarios de la oficina, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el LBF, RSSI, SNR y capacidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 5 GHz	· Calcular el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI). Este debe ser mayor a -65 dbm	· dbm
	· Calcular la relación señal a ruido (SNR). Este no debe bajar de 25 db	· db
	· Calcular la capacidad binaria (MBPS) mínima, de al menos 10 Mbps para cada usuario.	· mbps
Diseñar la red de acceso inalámbrica para los usuarios de la oficina, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el RSSI, LBF y velocidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 2.4 GHz	· Calcular el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI). Este debe ser mayor a -65 dbm	· dbm
	· Calcular la relación señal a ruido. Este no debe bajar de 25 db	· db
	· Calcular la capacidad binaria (MBPS) mínima, de al menos 10 Mbps para cada usuario.	· mbps
Diseñar la red acceso inalámbrica para exterior para los usuarios de la unidad minera, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el LBF, RSSI, la SNR y velocidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 2.4 GHz	· Calcular el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI). Este debe ser mayor a -65 dbm	· dbm
	· Calcular la relación señal a ruido. Este no debe bajar de 25 db.	· db
	· Calcular la capacidad binaria (MBPS) mínima, de al menos 10 Mbps para cada usuario.	· mbps
Diseñar los enlaces punto a punto, aplicando las fórmulas de propagación de señales electromagnéticas calculando el nivel de recepción, pérdida en el espacio libre y capacidad binaria definidos por la ITU e IEEE para la banda de 60 GHz.	· Calcular el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI). Este debe ser mayor a -65 dbm	· dbm
	· Calcular la capacidad binaria (MBPS) mínima, de al menos 10 Mbps para cada usuario.	· mbps

Fuente: Propia

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto, permitirá lo siguientes beneficios:

- El presente proyecto, desde el punto de vista empresarial, permitirá que el equipo directivo, perciba mayor productividad por parte de los empleados, ya que incentiva, flexibiliza y garantiza la permanente conexión, evitando que los procesos sean realmente lentos por falta de comunicación y permitiendo el ahorro de costos en soporte. Asimismo, aportará con el establecimiento de una cultura de comunicación de puertas abiertas hacia los empleados, desde la gerencia. Además, permite que los altos directivos tengan todas las herramientas posibles, sin preocuparse por que estén siempre funcionando, permitiendo mayor productividad. Finalmente, la empresa tendrá fluidez en las comunicaciones inalámbricas con sus clientes, invitados, accionistas, empleados y público en general fomentando la innovación empresarial.

- Por otro lado, se justifica desde el punto de vista académico, ya que aportará una metodología de diseño de una red inalámbrica abarcando datos, voz y video, aplicando recomendaciones, normas, modulaciones, codificaciones, estándares y regulaciones actuales como el IEEE 802.11ax e ITU, que forman la línea base para poder actualizar las infraestructuras inalámbricas a futuros requerimientos de velocidad y capacidad.

1.6. ESTADO DEL ARTE

1.6.1 ANTECEDENTES

Las redes inalámbricas están formadas por ondas electromagnéticas. Según el libro de Cisco Press, Deploying License-Free Wireless Wide-Area Networks, alrededor del año 1600, el Dr. William Gilbert, lo detecta en el cuerpo humano y describe esto como electricidad. Luego, en 1865, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es fundada, con el objetivo de facilitar la conectividad internacional de las redes de comunicaciones, atribuyendo en el plano mundial, el espectro de frecuencias radioeléctricas y elaboran las normas técnicas que garantizan la interconexión armoniosa de redes y tecnologías. En 1886, el físico alemán Heinrich Hertz demuestra por primera

vez, la existencia de ondas electromagnéticas, según lo previsto por James Clerk Maxwell, en 1867. Años más tarde, en 1934, la Ley de Comunicaciones de Estados Unidos, establece la FCC (Federal Communications Commission), cual tiene la responsabilidad de la radio transmisión. En 1970, la Universidad de Hawai desarrollo la primera red inalámbrica llamada ALOHAnet, con 400MHz de frecuencia. Luego, en 1985, la FCC autoriza la transmisión de espectro expandido sin licencia en tres bandas industriales, científicas y médicas (ISM) a 900 megahercios (MHz), 2,4 gigahercios (GHz) y 5,8 GHz con potencia de salida legal máxima del transmisor de 1 vatio (1W) o 30 dbm. En 1997, IEEE ratifico el estándar original 802.11 con 2Mbps. En junio de 2012, el estándar G.729, para la codificación de voz y audio, es liberado. El anexo D de este estándar, proporciona una extensión de velocidad de bits más baja, de 6,4 kbit/s.

A continuación, en la tabla 2, una traducción de la historia de las redes inalámbricas, según el libro de Cisco Press, Deploying License-Free Wireless Wide-Area Networks:

Tabla 2: Historia de las redes inalámbricas

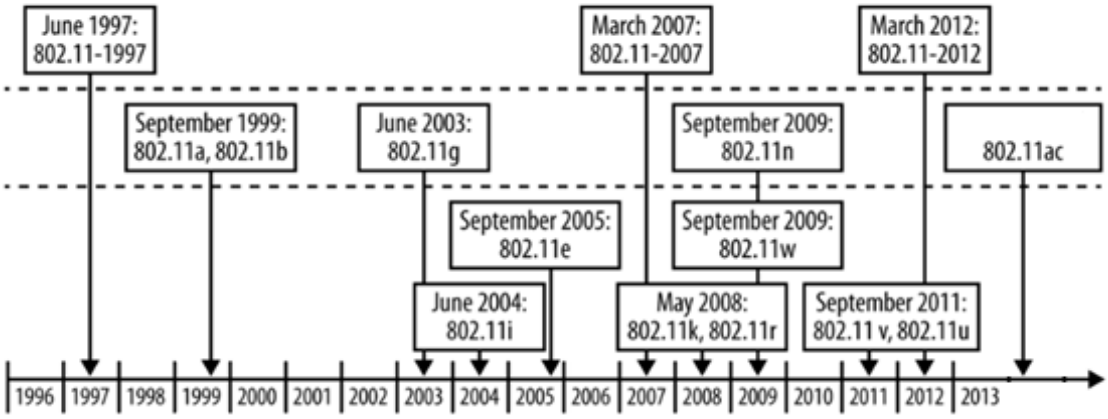
AÑO	EVENTO
1600	El Dr. William Gilbert detecta la actividad electromagnética en el cuerpo humano y la describe como electricidad
1837	Samuel F.B. Morse inventa el telégrafo Morse y envía mensajes a través de cables mediante código Morse
1865	Científicos, inventores y aficionados comienzan a realizar experimentos con tecnología inalámbrica.
1867	El matemático y físico escocés James Clerk Maxwell desarrolla la teoría que predice la existencia de ondas electromagnéticas.
1886	El físico alemán Heinrich Hertz es el primero en demostrar la existencia de ondas electromagnéticas según lo predicho por James Clerk Maxwell.
1896	El italiano Guglielmo Marconi demuestra la telegrafía de ondas eléctricas
1901	Marconi transmite la letra "s" en código Morse a través del Océano Atlántico desde Inglaterra a Canadá.
1906	El profesor Reginald Fessenden transmite voz y música en Massachusetts.
1910	El gobierno de los EE. UU. Exige que todos los barcos estén equipados con un telégrafo inalámbrico.
1912	El transatlántico "insumergible" Titanic se hunde después de chocar con un iceberg en el Atlántico Norte. El telégrafo inalámbrico se utiliza para solicitar ayuda de otros barcos en el área.
1912	El Departamento de Comercio de EE. UU inicia la regulación de la radiodifusión, Oficina de Navegación. Las estaciones transmisoras simplemente tenían que suministrar al gobierno una descripción de su equipo de transmisión

1912	La estación de radio KQW realiza transmisiones frecuentes desde San José, California.
1920	La estación de radio KDKA comienza la transmisión comercial regular desde Pittsburgh, Pensilvania.
1921	El gobierno de los Estados Unidos exige que todas las estaciones de radiodifusión soliciten una transmisión licencia.
1927	La responsabilidad de regular la transmisión de radio se transfiere a la Radio Fecleral Comisión.
1934	La Ley de Comunicaciones de 1934 establece la FCC. La responsabilidad de regular la transmisión por radio se transfiere a la FCC.
1985	La FCC autoriza la transmisión de espectro ensanchado sin licencia en tres industriales, bandas científicas y médicas (ISM) a 900 megahercios (MHz), 2,4 gigahercios (GHz) y 5.8 GHz. La potencia de salida legal máxima del transmisor es de 1 vatio (IW).
1994	La FCC comienza a utilizar subastas de espectro. Corporaciones ofertan de miles a millones de dólares para comprar el derecho de usar bandas de frecuencia inalámbricas específicas.
1997	La FCC autoriza la transmisión sin licencia en tres bandas desde 5.1 a 5.8 GHz, conocidas como Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII). Transmisor legal máximo en potencia de salida varía de 50 milivatios (50 mW) a 1 Watt.

Fuente: Unger, 2003.

A continuación, una línea de tiempo de los estándares anteriores a 802.11ax, tomado del libro, 802.11ac: A Survival Guide por Matthew S. Gast, publicado por O'Reilly Media, Inc., en el 2013.

Imagen 1: Evolución del estándar 802.11



Fuente: Gast, 2013

El estándar anterior al 802.11ax, fue el 802.11ac que se aprecia en la imagen superior y tiene como ultimo draft el D7.0 aprobado el 23 de octubre del 2013.

1.6.2. SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente, las tecnologías inalámbricas, soportan el estándar 802.11ax (WIFI 6) que se lanzó por primera vez en mayo de 2014, con el objetivo de mejorar el rendimiento por área en escenarios de alta densidad. Los primeros drafts preliminares del estándar 802.11ax, D1.0 y D2.0, se lanzaron a fines de 2016 y 2017 respectivamente, con la última versión el D6, aprobada en este año, que cuadriplica la velocidad del estándar anterior 802.11ac; sin embargo, no todas las marcas lo comercializan y lo implementan en todas sus líneas de productos debido al alto costo; sin embargo, están implementándolo cada vez en más productos según los procesos de producción son más económicos. Actualmente, contiene varios avances importantes, incluido un nuevo enfoque de acceso aleatorio basado en acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal, así como nuevas técnicas de reutilización de frecuencia espacial. Además, incluye, mejoras de la capa física, las extensiones de múltiples entradas y múltiples salidas de múltiples usuarios, los avances de ahorro de energía, etc, que hacen de este estándar un avance muy significativo con respecto a su predecesor 802.11ac en sus versiones 1 y 2 (wave 1 y wave 2).

1.6.3. TENDENCIAS

Los diseños de redes inalámbricas siguen mejorando con el paso del tiempo, así que nuestra infraestructura no puede quedar obsoleta y degradada. Si bien se cuenta con el estándar 802.11ax, la industria y entidades normativas siguen haciendo esfuerzos para obtener mejores rendimientos. Es así como se está desarrollando la próxima generación de Wi-Fi, 802.11be. A primera vista, la nueva enmienda IEEE 802.11be no es más que 11ax escalado con doble ancho de banda y mayor número de flujos espaciales, que en conjunto proporcionan velocidades de datos de hasta 40 Gbps. Una inmersión un poco más profunda en las actividades 802.11 revela que 11be admitirá aplicaciones en tiempo real. En realidad, 11be introduce muchos más cambios revolucionarios en Wi-Fi, que formarán una base para una mayor evolución de Wi-Fi. Aunque en mayo de 2020, el proceso de desarrollo se encontró en la fase inicial sin ningún borrador de especificación, el análisis de la discusión en el Grupo de trabajo 802.11 proporciona información sobre las principales innovaciones de 11be. Además de lo anterior, se incluye operación nativa

de enlaces múltiples, optimización de sonido de canal que abre la puerta para MIMO masivo, técnicas avanzadas de en las capas física (PHY) y MAC (media Access control), la cooperación de varios puntos de acceso. El documento analiza cientos de características propuestas para la nueva tecnología, enfocándose en los problemas abiertos que pueden ser resueltos por los investigadores que desean contribuir al desarrollo de 802.11be.

A continuación, un resumen de las principales características candidatas mencionadas en la Solicitud de Autorización de Proyecto (PAR):

- 320 MHz de ancho de banda y una utilización más eficiente del espectro no contiguo.

- Agregación y operación multibanda/multicanal.

- 16 flujos espaciales y mejoras de protocolos de entrada y salida múltiples (MIMO).

- Coordinación de puntos de acceso múltiple (AP) (por ejemplo, transmisión coordinada y conjunta).

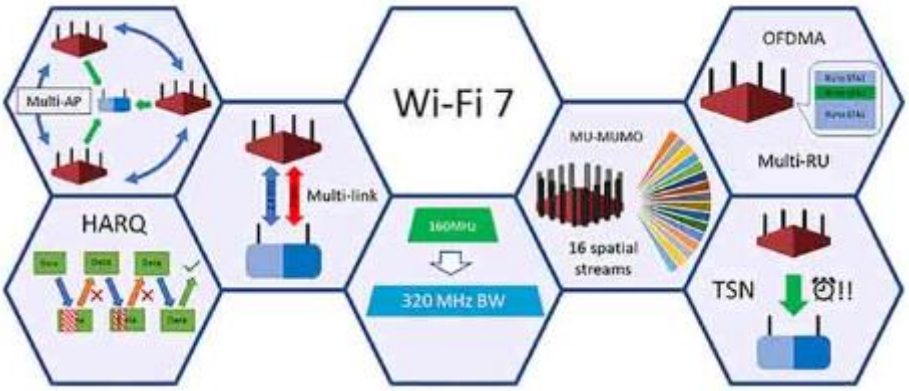
- Adaptación de enlace mejorada y protocolo de retransmisión (por ejemplo, solicitud de repetición automática híbrida (HARQ)

- Si es necesario, adaptación a las normas reguladoras específicas del espectro de 6 GHz

- Integración de extensiones de redes sensibles al tiempo (TSN) para tráfico en tiempo real de baja latencia (IEEE 802.11aa).

A continuación, una imagen con las principales características de este estándar extraída del artículo: Current Status and Directions of IEEE 802.11be, the Future Wi-Fi 7 publicada por la IEEE.

Imagen 2: Características del estándar WIFI 7



Fuente: Khorov, Levitsky and Akyildiz, 2020

1.6.4. TESIS DESARROLLADAS POR OTROS AUTORES

Entre los pocos trabajos encontrados referente a un diseño de red inalámbrica contemplando solamente estándares actuales se halló que el trabajo de Diploma de Ariel García Amores, Cálculo de Cobertura en Redes Inalámbricas de Área Local, provee una metodología de cálculo con una serie de pasos para dar mejor cobertura y rendimiento, haciendo hincapié en el análisis de cobertura con modelos de propagación y métodos de predicción usando las fórmulas de Friss, el cual se encuentra en las recomendaciones de IUT serie P número 525-3, ratificado en noviembre del 2016, en el cual se facilitan métodos para calcular la atenuación en el espacio libre.

Por otro lado, en la tesis de licenciatura de Taylor Barrenechea (2011), Diseño de una red LAN inalámbrica para una empresa de Lima indica lo siguiente “es indispensable el uso de una alternativa tecnológica económica y eficiente a fin de asegurar que los trabajadores tengan la información oportuna, no pierdan tiempo y sean más eficientes, incrementando la productividad y permitiendo el rápido desarrollo de la empresa” (p. 2).

Con aseveración indicada por el autor Barrenechea se deduce que las redes inalámbricas son una parte fundamental de toda red y debe dar toda la capacidad para albergar conexiones de data, voz y video. Asimismo, el autor da importancia el uso de un simulador para comprobar el correcto dimensionamiento de una red diseñada, él indica "Se usará un simulador para comprobar el correcto funcionamiento de la red inalámbrica diseñada." (p. 2).

1.6.5. CASOS DE ÉXITO EMPRESARIALES

Según el caso de éxito de Cisco en la empresa Bexco, centro de Convenciones y exposiciones de Busan, con el empleo de la tecnología WIFI 6, se aumentó a cuatro veces la velocidad, permitiendo hasta 9.6 Gbps las transferencias de datos. Asimismo, permite una cobertura más amplia y el uso de más dispositivos.

Por otro lado, en el caso de éxito de implementación de la marca Aruba, Pairi Daiza quietly integrates technology to enhance the visitor experience at unique European destination with Aruba Architecture, se implementó WIFI 6 (802.11ax), con lo cual se llega a una comunicación sin cortes que permite conectarse de un punto de acceso inalámbrico a otro de forma transparente para el usuario. Este parque de atracciones turísticas de vida animal, ubicado en Bélgica, número uno en Europa, ha usado 300 puntos de accesos separados por alrededor de 20 metros, con postes camuflados de 4 metros.

1.6.7. APORTE EMPRESARIAL

Esta tesis, desde el punto de vista empresarial, aportará una solución óptima de rendimiento y capacidad, utilizando las últimas normas, estándares, tecnologías (modulaciones y codificaciones) y regulaciones, beneficiándola económicamente, no solamente por la disminución de averías de equipos, también por el aumento de productividad, disponibilidad, movilidad, comunicación, innovación y capacidad de compartir información en tiempo real por parte de los usuarios. Los resultados llevan a la empresa a la vanguardia en el uso de las tecnologías que le dará protagonismo ante la sociedad, accionistas, directores y empleados.

1.6.8. APORTE ACADÉMICO

Esta tesis, desde el punto de vista académico, aportará una metodología de diseño de una red inalámbrica abarcando datos, voz y video, aplicando normas, estándares, tecnologías (modulaciones y codificaciones que usa el estándar 802.11ax, también denominado WIFI 6) y regulaciones actuales, que forman la línea base para poder actualizar las infraestructuras inalámbricas a futuros requerimientos de velocidad y capacidad, aplicando las normas, estándares, tecnología y regulaciones de la industria que continuamente se actualizan, debido a la competencia entre fabricantes y a la demanda de los usuarios.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

La popularización de las computadoras en el hogar creó la necesidad de interconectar todos los dispositivos posibles, como computadoras de escritorio, conmutadores, computadoras portátiles, impresoras, módems de cable, etc. La WLAN (Wirelless Local Area Network, Red de área local inalámbrica) se volvió atractiva ya que no requería cables y daba movilidad a las computadoras portátiles, pero para implementarse requería el espectro de radiofrecuencia (RF). El espectro de RF está regulado por agencias gubernamentales, lo que exige que los usuarios obtengan licencias para usarlo. A las industrias, universidades y radioaficionados se les asignaron bandas sin licencia para su uso en laboratorios y comunicaciones de corto alcance, como es el caso de las bandas ISM (Equipos industriales, científicos y médicos) y la banda U-NII (Infraestructura de información nacional sin licencia). Estas bandas se utilizaron en hornos microondas, alarmas de automóviles, teléfonos inalámbricos y otros dispositivos similares. Con el tiempo, los reguladores admitieron que estas bandas también podrían usarse para comunicaciones de banda ancha de corto alcance. Las bandas UNII están sujetas a DFS (Selección de frecuencia dinámica) porque se comparten con las operaciones de radar y tienen que cambiar las frecuencias si se detecta una señal de radar. A continuación, se detallarán con mayor detalle entidades, estándares y normas en la transmisión de datos, que permitirá tener el conocimiento básico que permita diseñar una red inalámbrica.

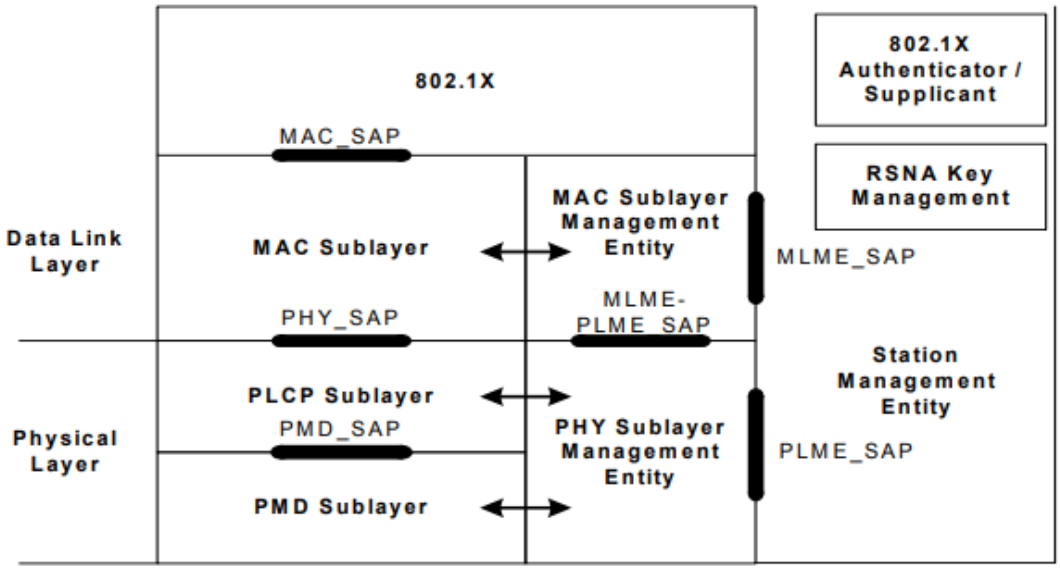
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1.1. ARQUITECTURA GENERAL IEEE 802.11

Estándares inalámbricos

La arquitectura general de IEEE 802.11, extraído de Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 3: Capas física y de enlace de datos



Fuente: 802.11 Working Group, 2016

En la figura anterior se resume la vista arquitectónica, enfatizando la separación del sistema en cuatro partes principales: la subcapa MAC de la capa de enlace de datos, la capa física, IEEE 802. 1x y los protocolos de autenticación de la capa superior. La capa de enlace de datos consta de una capa IEEE 802.1x y una subcapa MAC. La capa física consta de dos subcapas: una subcapa de protocolo de convergencia de capa física (PLCP) y una subcapa física dependiente del medio (PMD). La capa física y la subcapa MAC tienen subentidades de gestión, que se comunican con la entidad de gestión de la estación.

2.1.2. ESTANDARES INALAMBRICOS

A continuación, las 5 primeras generaciones de WIFI, en donde se visualiza que las velocidades máximas teóricas aumentan según el estándar usado, extraído de la página 12 del libro CWNA-106, cuarta edición.

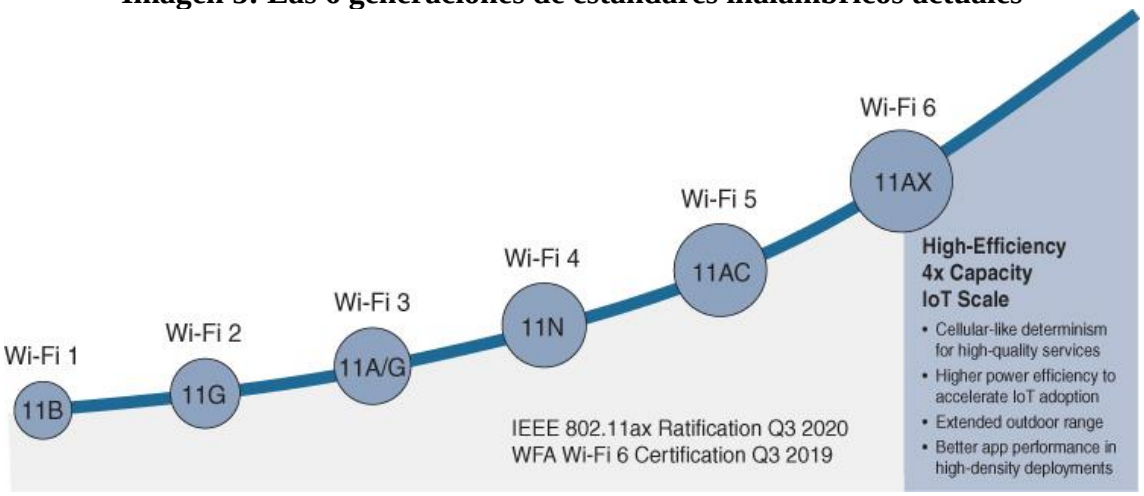
Imagen 4: Las 5 primeras generaciones de estándares inalámbricos

Wi-Fi technology	Frequency band	Maximum data rate
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz, 2.4 or 5 GHz (selectable), or 2.4 and 5 GHz (concurrent)	450 Mbps
802.11ac	5 GHz	1.3 Gbps

Fuente: Coleman & Wescott, 2014

A continuación, la lista completa de estándares inalámbricos usados hasta la actualidad, en donde se aprecia el estándar 802.11ax.

Imagen 5: Las 6 generaciones de estándares inalámbricos actuales



Fuente: Barton, Henry & Hucaby, 2020

2.1.3. DECIBELIO (DB)

El decibelio o decibel, con símbolo dB, es una unidad que se utiliza para expresar la relación entre dos valores que puede ser de presión sonora, tensión o potencia eléctrica (no es una unidad de medida). La unidad básica es el belio (o bel) de símbolo B, pero dada la amplitud de los campos que se miden en la práctica, se utiliza su submúltiplo, el decibelio.

2.1.4. DECIBELIO MILIVATIO (DBM)

El dBm (a veces también dBmW o decibelio-milivatio) es una unidad de medida de relación o razón de potencia expresada en decibelios (dB) relativa a un milivatio (mW). Se utiliza en redes de radio, microondas y fibra óptica como una medida conveniente de la potencia absoluta a causa de su capacidad para expresar tanto valores muy grandes como muy pequeñas en forma corta.

2.1.5. ATENUACIÓN (DB)

La pérdida, también conocida como atenuación, se describe mejor como la disminución de la amplitud o la señal fuerza. Una señal puede perder fuerza cuando se transmite por un cable o en el aire. Sobre la parte cableada de las comunicaciones (cable RF), la señal eléctrica de CA perderá fuerza debido a la impedancia eléctrica del cableado coaxial y otros componentes como conectores.

A continuación, se compara las diferentes atenuaciones que hay para las frecuencias de 2,4 Ghz y 5 Ghz por distintos autores. La siguiente tabla se encuentra en el diseño de referencia validado (VRD) de la marca Aruba.

Tabla 3: Atenuaciones según material en 2.4 GHz y 5 GHz

Indoor Environment	Attenuation in 2.4 GHz	Attenuation in 5 GHz
Fabric, blinds, ceiling tiles	Approximately 1 dB	Approximately 1.5 dB
Interior drywall	3–4 dB	3–5 dB
Cubicle wall	2–5 dB	4–9 dB
Wood door (Hollow –Solid)	3–4 dB	6–7 dB
Brick/concrete wall	6–18 dB	10–30 dB
Glass/window (not tinted)	2–3 dB	6–8 dB
Double-pane coated glass	13 dB	20 dB
Steel/fire exit door	13–19 dB	25–32 dB

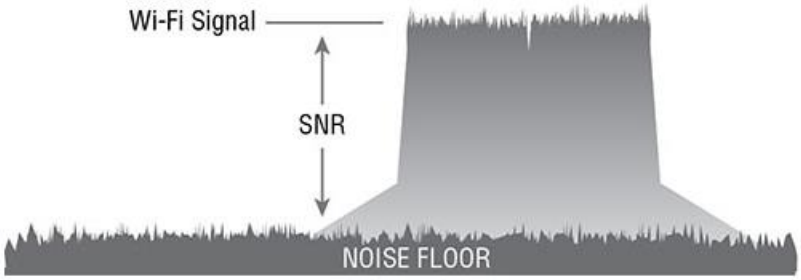
Fuente: Aruba VRD

2.1.6. RELACIÓN SEÑAL A RUIDO (SNR)

Es la relación señal/ruido o S/R (en inglés signal-to-noise ratio, abreviado SNR o S/N) se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este margen es medido en decibelios. Rango dinámico y relación señal/ruido para referirse a este margen que hay entre el ruido de fondo y nivel de referencia, pueden utilizarse como sinónimos. No ocurre lo mismo, cuando el rango dinámico indica la distancia entre el nivel de pico y el ruido de fondo. A continuación, el cálculo matemático necesario.

Según el libro, Certified Wireless Network Administrator Study Guide, en su quinta edición, muchos proveedores de Wi-Fi definen la calidad de la señal como la relación señal / ruido (SNR). Asimismo, señala que un buen SNR es de por lo menos 25 db para redes de voz y de 20 db para datos. Como se muestra en la siguiente imagen, la SNR es la diferencia en decibelios entre la señal recibida y el nivel de ruido de fondo (piso de ruido), no en realidad una relación.

Imagen 6: Visualización de la relación de señal a ruido



Fuente: Certified Wireless Network Administrator Study Guide

Fórmula 1: Relación Señal a Ruido

SNR = POTENCIA DE SEÑAL TRANSMITIDA – RUIDO DEL AMBIENTE

Fuente: Certified Wireless Network Administrator Study Guide, 5ta Edición

2.1.7. POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EQUIVALENTE (PIRE)

En sistemas de Radiocomunicación, la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena. La PIRE tiene en cuenta las pérdidas de la línea de transmisión y en los conectores e incluye la ganancia de la antena. La PIRE se expresa habitualmente en decibelios respecto a una potencia de referencia emitida por una potencia de señal equivalente. La PIRE permite comparar emisores diferentes independientemente de su tipo, tamaño o forma. Conociendo la PIRE y la ganancia de la antena real es posible calcular la potencia real y los valores del campo electromagnético. A continuación, el cálculo matemático necesario.

Fórmula 2: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

PIRE = POTENCIA TX + GANANCIA TX

Fuente: Resolución Ministerial Nº 199-2013-MTC/03

Según resolución ministerial Nº 199-2013-MTC/03 el siguiente cuadro muestra los PIRE máximo para frecuencias de 2.4 y 5 Ghz.

Tabla 4: Potencias y ganancias máximas

Banda de frecuencias (MHz)	Potencia de salida del transmisor			Ganancia máxima de la antena (dBi)	PIRE máxima (dBm)
	(W)	(mW)	(dBm)		
916 - 928 2400 - 2483,5 5725 - 5850	1	1000	30	6	36
	0,5	500	27	9	36
	0,25	250	24	12	36
5 250 – 5 350	0,25	250	24	6	30
5 470 – 5 725	0,125	125	21	9	30

Fuente: Resolución Ministerial Nº 199-2013-MTC/03

2.1.8. PERDIDA EN EL ESPACIO LIBRE

En las recomendaciones IUT-R 525-3 (Cálculo de la atenuación en el espacio libre), se especifica el cálculo de la pérdida en el espacio libre (LBF). En ella se puede apreciar la siguiente fórmula:

Fórmula 3: Calculo de pérdida en el espacio libre

$$LBF = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d$$

Fuente: IUT-R 525-3

En donde las variables representan lo siguiente:

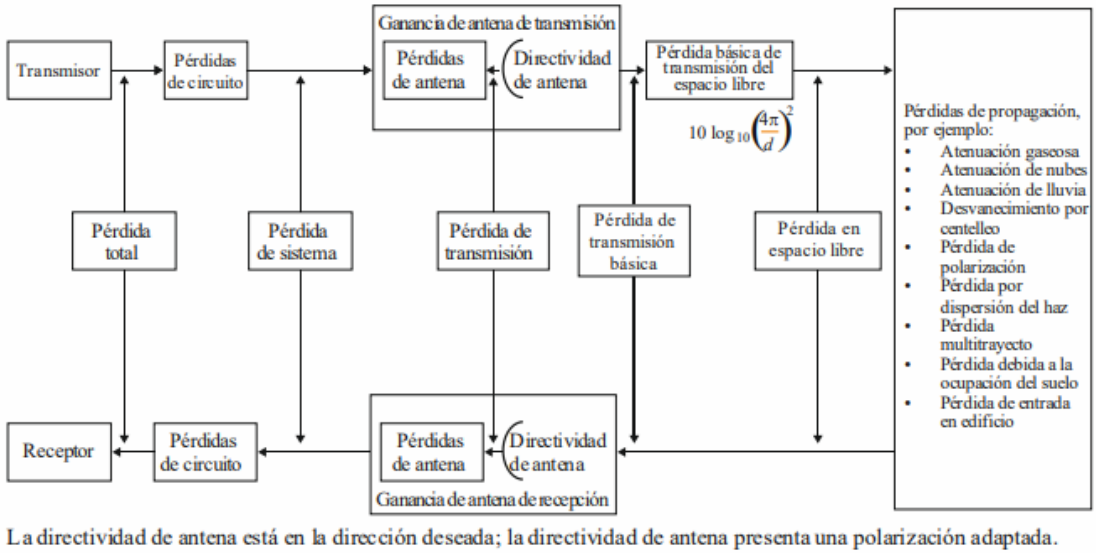
LBF= pérdida en el espacio libre básica en decibelios
f = frecuencia (MHz)
d = distancia (km).
TX = transmisión
RX = recepción

Con esta fórmula podemos obtener la perdida de una transmisión electromagnética a cierta frecuencia y distancia.

2.1.9. POTENCIA RECIBIDA

Según la recomendación UIT-R P.341-7, la potencia recibida se calcula restando al PIRE las pérdidas en el sistema y sumando la ganancia de la antena receptora. En la siguiente imagen se indica, según la recomendación anteriormente señalada, los elementos del sistema a tener en cuenta que restan y suman en el sistema. Los elementos que suman básicamente son las ganancias de las antenas, ya sea receptora o trasmisora. Los elementos que restan son los cables o pérdidas que pueden existir dentro del sistema de transmisión o del sistema de recepción.

Imagen 7: Visualización de la relación de señal a ruido



Fuente: UIT-R P.341-7

A continuación, la fórmula matemática en donde se especifican con mayor detalle los elementos mínimos a considerar. Entre ellos las pérdidas existentes entre las antenas y los emisores o receptores. Asimismo, la pérdida en el espacio libre.

Fórmula 4: Calculo de pérdida en el espacio libre

POTENCIA RECIBIDA = POTENCIA TX + GANANCIA TX – PÉRDIDA DE TX – PÉRDIDA ESPACIO LIBRE + GANANCIA RX – PÉRDIDA DE RX

Fuente: UIT-R P.341-7

2.1.10. INDICADOR DE FUERZA DE LA SEÑAL RECIBIDA (RSSI)

El indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI) o potencia recibida, es una escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en las redes inalámbricas. Se expresan en valores negativos, cuanto más negativo, mayor es la pérdida de señal. En la siguiente imagen se representa una escala de colores con los valores extremos en decibelios miliwatios.

Imagen 8: Ejemplo de Mapa de colores de intensidad de señal en DBM

Fuente: Propia

La interpretación de los valores en una escala de 0 a -95 RSSI:

- 0 dbm: señal ideal, difícil de lograr en la práctica.
- -40 dbm, ROJO: señal idónea con tasas de transferencia estables.
- -55 dbm, NARANJA: enlace bueno.
- -65 dbm, VERDE: enlace normal-bajo; es una señal medianamente buena, aunque se pueden sufrir problemas mínimos.
- -75 dbm, CELESTE: es la señal mínima aceptable para establecer la conexión; puede ocurrir caídas, que se traducen en corte de comunicación (pérdida de llamada, perdida de datos, mensajes corruptos (ilegibles). A continuación, se desarrollará cada objetivo específico para dar posibles soluciones.
- -95 dbm, AZUL: señal no aceptable.

2.1.11. MODULACIÓN

La información digital está compuesta de 0s y 1s y para poder transportar la información de un lugar a otro y permitir que un equipo las pueda interpretar, es necesario que haya cambios leves, dentro un flujo de 0s y 1s. A estos cambios se llaman modulación, que es una técnica que permite transmitir información sobre una frecuencia portadora. Hay muchos tipos de modulación y la mayoría de los tipos de comunicación inalámbricos, si no todos, utilizan algún tipo de modulación. Dependiendo de la modulación que se utilice, que pueden ser de frecuencia, amplitud o fase, se pueden transportar más datos y por lo tanto tener mayor velocidad de transmisión, pero por supuesto al tener una modulación que pueda transmitir más datos necesitamos señales mucho más potentes y limpias, es decir, es mucho más difícil mandar la información de un lado al otro del enlace. La enmienda 802.11ax introduce una nueva modulación además de BPSK, 16-QAM, 64-QAM heredados, y 256-QAM. La modulación utilizada es 1024-QAM de manera opcional. Esta modulación permite obtener una velocidad de 9.6 Gbps

2.1.12. NORMAS DE CODECS DE VIDEO

Un códec de video permite comprimir y descomprimir video digital, que normalmente al utilizar algoritmos de compresión, conllevan una pérdida de información. Un ejemplo de codec es el H.264 o MPEG-4 parte 10, que es una norma que define un códec de vídeo de alta compresión, desarrollada conjuntamente por el ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) y el ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG). Microsoft Teams y Youtube según sus páginas oficiales utilizan este codec y según las páginas de estas aplicaciones, se utilizan menos de 5 Mbps aproximadamente. Además, según la siguiente tabla, extraído del artículo, Descripción del nuevo estándar de video H.264 y comparación de su eficiencia de codificación con otros estándares, se estima que se usara como máximo alrededor de 10 Mbps por transmisión.

Tabla 5: Velocidad según resolución y cuadros por segundo

Niveles	Tipo de cuadros y velocidad de cuadros
1	QCIF @ 15fps (*frames per second*)
1.1	QCIF @ 30fps
1.2	CIF @ 15fps
1.3	CIF @ 30fps
2	CIF @ 30fps
2.1	HHR @15 or 30fps
2.2	SDTV @ 15fps
3	SDTV: 720x480x30i,720x576x25i 10Mbps(max)
3.1	1280x720x30p
3.2	1280x720x60p
4	HDTV: 1920x1080x30i, 1280x720x60p, 2Kx1Kx30p 20Mbps(max)

Fuente: Ochoa, Mireles & Cota: 2007

2.1.13. TECNOLOGÍA MESH O EN MALLA, IEEE 802.11S

Es un estándar de red inalámbrico y una enmienda al protocolo IEEE 802.11 para las redes en malla, que define como los dispositivos inalámbricos pueden interconectarse para crear una red inalámbrica en malla, que puede utilizarse para topologías relativamente fijas (no móviles) y redes inalámbricas ad hoc. La norma 802.11s amplía el estándar IEEE 802.11 MAC mediante la definición de una arquitectura y un protocolo que soporta tanto broadcast/multicast como unicast usando métricas de radio-conocimiento sobre topologías multi-hop autoconfigurables.

2.2. ENTIDADES INTERNACIONALES DE ESTÁNDARES Y NORMAS

2.2.1. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO)

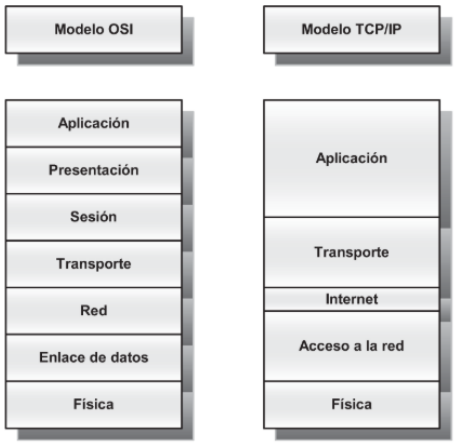
Es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de normalización. Fundada el 23 de febrero de 1947, la organización promueve el uso de estándares privativos, industriales y comerciales a nivel mundial. Su sede está en Ginebra (Suiza) y hasta 2015 trabajaba en 196 países.

Esta organización creo el modelo de interconexión de sistemas abiertos (ISO/IEC 7498-1), más conocido como “modelo OSI”, (en inglés, Open System Interconnection). Es un

modelo de referencia para protocolos de la red (no es una arquitectura de red), creado en el año 1980. Se ha publicado desde 1983 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y, desde 1984, la Organización Internacional de Normalización (ISO) también lo publicó con estándar. Su desarrollo comenzó en 1977.

Es un estándar que tiene por objetivo conseguir interconectar sistemas de procedencia distinta para que estos pudieran intercambiar información sin ningún tipo de impedimentos debido a los protocolos con los que estos operaban de forma propia según su fabricante. Asimismo, este estándar tiene los conceptos básicos que fundamenta el modelo de referencia TCP/IP. En la siguiente figura tomada del autor Carlos Hillar; Redes: diseño, actualización y reparación; podemos comparar los dos modelos TCP/IP y OSI.

Imagen 9: Modelo OSI versus TCP/IP



Fuente: Hillar, 2009

La ISO (International Organization for Standardization, Organización internacional para la estandarización), desarrollo el modelo OSI, Open Systems Interconnection, Interconexión de sistemas abiertos, como una propuesta para estandarizar los futuros diseños de protocolos basados en capas. Según el autor, Carlos Hillar, en su libro Redes: diseño, actualización y reparación; ningún protocolo basado en el modelo OSI ha prosperado, sin embargo, las capas definidas en el modelo de referencia han tenido un éxito rotundo a nivel académico.

En cambio, el modelo TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol, Protocolo de control de la transmisión / Protocolo de Internet) surgió con la WAN más antigua de todas, ARPANET. El conjunto de protocolos de TCP/IP se popularizó primero al estar muy integrado en las diferentes versiones del sistema operativo Unix y luego con la masificación de Internet a fines del siglo XX. Es por ello que los protocolos de la familia TCP/IP son los más utilizados en la actualidad, mientras que a su modelo de referencia no se lo tiene muy en cuenta.
Las Capas del Modelo OSI El modelo OSI define las siguientes siete capas, con sus respectivas funciones[1]:

• Física. Realiza la transmisión de los bits en el medio de transmisión físico. Tiene relación con los mecanismos de acceso al medio físico y los temas eléctricos de las señales transmitidas, como ser la potencia para utilizar, así como con los aspectos mecánicos de las conexiones. Especifica las características del medio de transmisión.

• Enlace de datos. Transfiere datos (en forma de tramas) a través del medio de transmisión físico. Se encarga de las funciones de sincronización, control de flujo y detección y corrección de errores. Si varios nodos comparten el medio de transmisión, se encarga del control de acceso al medio (MAC).

• Red. Realiza el enrutamiento de los paquetes desde el origen hasta el destino entre redes homogéneas o heterogéneas y determina cómo se mueven por la red. También ejecuta un control del flujo. Representa el límite entre las funciones de la red (ésta y sus dos capas inferiores) y las del usuario.
• Transporte. Se encarga de la transferencia de datos entre el origen y el destino, brindando servicios de seguridad, esquemas de control de flujo entre ambos puntos y sistemas de detección y corrección de errores.

• Sesión. Realiza el control de la comunicación entre las aplicaciones en el origen y el destino. Abre, administra, mantiene y cierra las conexiones o sesiones de las aplicaciones y se encarga de la recuperación.

[1] Cfr. Hillar Redes: diseño, actualización y reparación 2009:102

• Presentación. Se encarga del manejo de la sintaxis y la semántica de los datos transmitidos. Se hacen traducciones si fueran necesarias para representar datos que el usuario pueda entender.

• La capa de aplicación, representa el punto de ingreso al modelo de capas. Pueden ser los protocolos de transferencia de archivos, correo electrónico, chat, etc. Un ejemplo clásico es el protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol, Protocolo de transferencia de hipertexto), mediante el cual desde el navegador Web se solicita una página determinada.

2.2.2. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE)

La IEEE es la organización profesional técnica más grande del mundo dedicada al avance de la tecnología en beneficio de la humanidad. Asimismo, El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, por su traducción al español, es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la normalización y el desarrollo en áreas técnicas. Esta asociación, ha producido los siguientes estándares inalámbricos:

El primer estándar de comunicaciones de datos inalámbricas comenzó en 1990 cuando IEEE 802.11 se inició como un grupo de trabajo dentro de IEEE 802. El éxito de Ethernet o IEEE 802.3 (Ethernet) y el deseo de tener "Ethernet inalámbrica" fue la motivación para crear IEEE 802.11 como un trabajo grupo. Originalmente, la conexión inalámbrica Ethernet tenía la intención de proporcionar conectividad donde el cableado era inadecuado para admitir LAN cableadas. (Ethernet necesita cables especiales llamados CAT5. El cableado CAT5 no está disponible en edificios más antiguos y en la mayoría de los hogares, ni se puede adaptar de forma económica). Otra motivación para formar un grupo de trabajo IEEE 802.11 fue la asignación de la banda de 2.4 GHz para dispositivos sin licencia por parte del FCC en 1986.

2.2.3. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNIÓN (ITU)

La UIT es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación – TIC. Fundada en 1865 para facilitar la conectividad internacional de las redes de comunicaciones, atribuye en el plano mundial el espectro de frecuencias radioeléctricas y las órbitas de satélite, elaboramos las normas técnicas que garantizan la interconexión armoniosa de redes y tecnologías, y se esfuerzan por mejorar el acceso a las TIC para las comunidades insuficientemente atendidas del mundo entero.

2.3.ETAPAS DEL DISEÑO DE COBERTURA INALÁMBRICA

2.3.1. ETAPA DE DOCUMENTACIÓN DE ESTADO ACTUAL

En esta etapa, es necesario la verificación del área de influencia del proyecto en el cual se puede, con la información facilitada, revisar los equipos de comunicación actuales en la medida de lo posible, por lo cual este documento contiene recomendaciones para el correcto funcionamiento de la solución.

2.3.2. DEFINICIÓN DEL DISEÑO

Llegados a este punto y antes de la definición del hardware y software que se requieren para la presente solución de infraestructura inalámbrica, debemos tener en cuenta que el diseño deberá adecuarse a las necesidades propias del cliente buscando en función de sus requisitos maximizar ciertos parámetros de la red. Para ello habitualmente se hace uso de alguno de los siguientes modelos de diseño:

1. **Diseño Basado en Cobertura**

Este modelo de diseño se centra en maximizar los niveles de cobertura, intentando cubrir con un equipo el máximo área de cobertura posible. Se trata de algo habitual en redes en las que la capacidad no es una prioridad. En este caso la potencia de los equipos se fijará en valores más altos (entre el 60 y 90%) para intentar alcanzar la mayor área posible

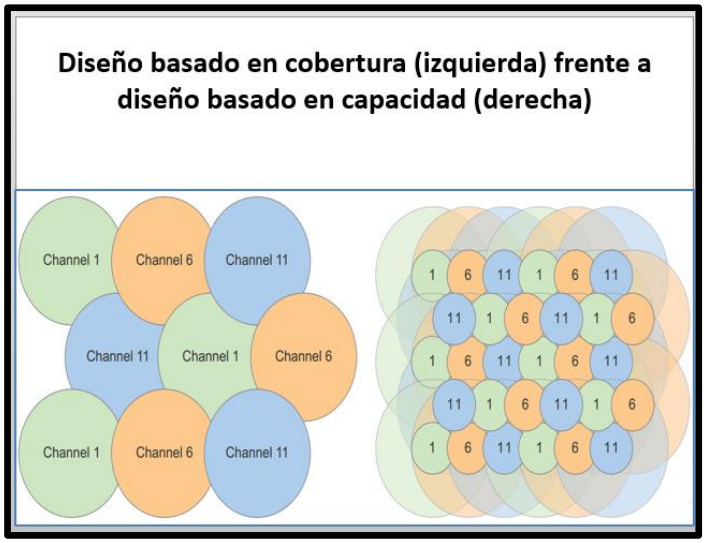
llevando siempre un control para minimizar las interferencias que podamos provocar en los equipos vecinos.

2. Diseño Basado en Capacidad

El constante crecimiento del número de dispositivos conectados a la red, así como el tipo de tráfico requerido (vídeo, voz y datos) obliga a contemplar un modelo de diseño que ofrezca mejor capacidad y número de sesiones concurrentes que el diseño basado en cobertura que hemos comentado con anterioridad; se trata de llevar a cabo un diseño basado en capacidad.

Para ello tendremos que hacer uso de una mayor densidad de puntos de acceso, aunque ello conlleve hacer uso de celdas más pequeñas. Este nuevo enfoque para las celdas requerirá un ajuste de la potencia transmitida para evitar interferencias con el resto de la red, pero la pérdida de cobertura resultará en unos resultados de capacidad muy superiores.

Imagen 10: Diferencias entre tipos de diseños



Fuente: Báez, 2013

La presente solución contempla ambos tipos de diseño aplicados, con énfasis en el modelo basado en cobertura, de acuerdo con el requerimiento del cliente y a la evaluación echa.

2.3.3. ELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO

Este aparatado se definen los equipos a utilizar, según su potencia y ganancia.

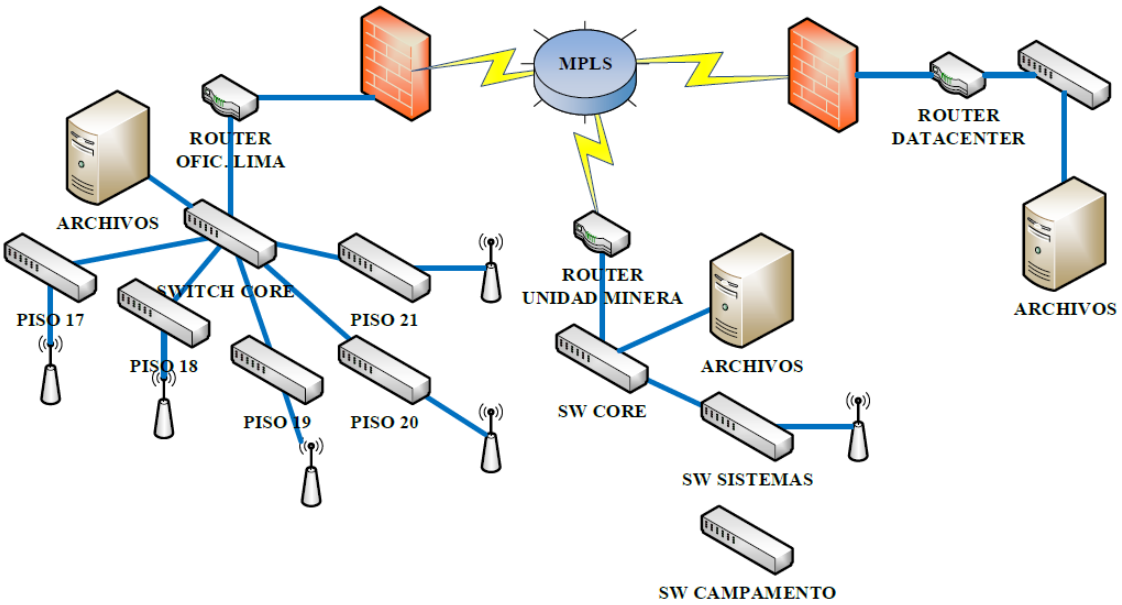
2.3.4. CANTIDAD DE EQUIPOS DE COMUNICACIÓN A UTILIZAR.

Teniendo datos de los procedimientos anteriores se procederá a elegir la cantidad de equipos de comunicación necesarios para la solución.

3. CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la empresa cuenta con diversos problemas en su infraestructura inalámbrica de las Oficinas de Lima y de la unidad minera que ocasiona reclamos y quejas por parte de los directivos y empleados. En la siguiente imagen se muestra el diseño físico simplificado actual de la red.

Imagen 11: Diagrama de Red simple de la empresa minera



Fuente: Propia

Debido a los problemas y evidencia mencionada anteriormente es necesario describir los problemas, causas, consecuencias, requerimientos y posible solución por cada objetivo específico.

3.1. RED MESH DE 5 GHZ EN LA OFICINA DE LIMA

3.1.1. PROBLEMAS

En la oficina de Lima, no hay buena conexión de usuarios a la red entre ellos los gerentes, jefes y usuarios de distintas áreas. En siguiente tabla 5, se puede visualizar parte de los incidentes registrados.

3.1.2. CAUSAS

Desconocimiento de estándares y buenas prácticas en el diseño de una red inalámbrica en la banda de 5 GHz, por tal razón no se involucra atenuaciones del medio, potencia y ganancia de los dispositivos que interactúan. Además, no se toma en cuenta las recomendaciones de propagación y de estándares de video de la ITU. Finalmente, los equipos actuales de la oficina de Lima no soportan la banda de 5 Ghz y tecnología mesh alguna.

3.1.3. CONSECUENCIAS

Se genera reclamos de gerentes y usuarios por falta de conectividad en varias áreas de las oficinas. Asimismo, genera pérdidas económicas a la empresa por la suma total de horas sin trabajar de todas las áreas y horas tomadas en solucionar estos problemas todos los días.

3.1.4. REQUERIMIENTOS

Proponer un diseño de red cumpliendo con los estándares IEEE y recomendaciones ITU para transmitir datos, voz y video con alta disponibilidad. Esto debe permitir tráfico entre 30 usuarios por cada usuario como mínimo.

3.1.5. POSIBLE SOLUCIÓN

Diseñar una red inalámbrica que permita transmitir data, voz o video, usando tecnología mesh respaldado por el estándar 802.11s, permitiendo alto tráfico. Asimismo, la utilización de estándares IEEE 802.11ax que permite alto tráfico.

3.2. COBERTURA Y CALIDAD DE SEÑAL EN OFICINAS DE LIMA

3.2.1. PROBLEMAS

Actualmente, la red inalámbrica de las oficinas de Lima de la empresa minera cuenta con diversos problemas, entre los que tenemos, poca cobertura, baja calidad de señal y velocidad, en sus oficinas de la sede administrativa principal de Lima, que ocasiona quejas de gerentes y empleados. A continuación, un registro de incidentes que se tuvo en el mes pasado.

Tabla 6: Registro de incidencias

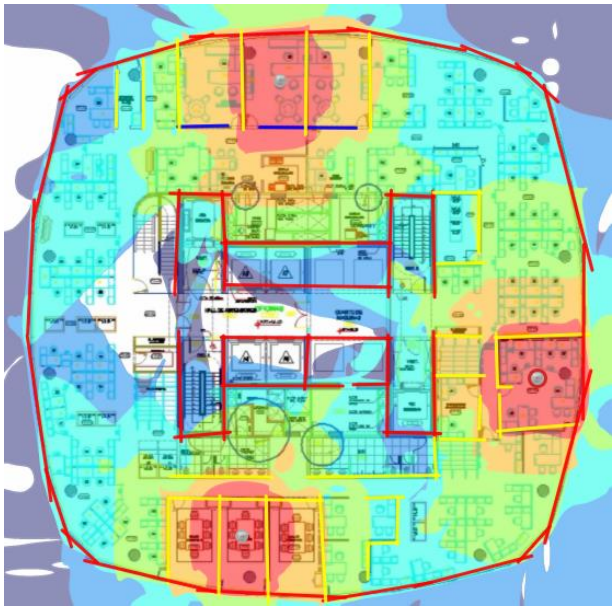
No. Caso	Fecha de registro	Asunto	Categoría
82715	11/08/2020 7:24	Sin servicio wifi CORPOR. equipo de superintendentes	Acceso a la Red WIFI
82689	10/08/2020 16:12	Perdida de conectividad de la red wifi INVITADOS	Acceso a Internet desde WIFI
82131	27/07/2020 9:31	No permite conexión	Acceso a la Red WIFI
82008	24/07/2020 12:15	Sin acceso a wifi CORPORATIVO	Acceso a la Red WIFI
81913	23/07/2020 11:35	No puede acceder CORPORATIVO	Acceso a la Red WIFI
81626	18/07/2020 14:36	Inconvenientes para acceder a red wifi INVITADOS	Acceso a la Red WIFI
81617	18/07/2020 10:24	Inconvenientes para conectarse a red wifi CORP	Acceso a la Red WIFI
81615	18/07/2020 9:29	Red INVITADOS inconvenientes de acceso	Acceso a la Red WIFI
75460	4/06/2020 8:56	No se conecta wifi	Acceso a la Red WIFI
75398	3/06/2020 7:36	Reporta no tiene salida a internet con la red GERENCIA	Acceso a Internet desde WIFI
75318	1/06/2020 15:50	Problemas con red CORPORATIVO	Acceso a la Red WIFI
73375	29/04/2020 12:13	Lentitud en la red GERENCIA	Acceso a Internet desde WIFI
71561	25/03/2020 16:16	No accede a red llapan por movil	Acceso a la Red WIFI
67908	27/01/2020 10:32	Sin acceso a internet	Acceso a Internet desde WIFI
66698	14/01/2020 15:08	Configuración de equipo Aruba	Access Point sin Respuesta
66179	6/01/2020 8:51	sin acceso a internet wifi CORPORATIVO	Acceso a la Red WIFI
65816	2/01/2020 8:54	Red Llapan error al crear cuentas	Acceso a la Red WIFI
63598	14/12/2019 10:35	Problema de conexión con la red CORP e INVITADOS	Sin Conectividad a los SSIDs
62841	4/12/2019 19:19	Problemas con la red INVITADOS	Sin Conectividad a los SSIDs
54068	25/09/2019 11:27	Problemas wifi CORPORATIVO	Acceso a la Red WIFI
53846	23/09/2019 6:08	No inicia servicios - Clearpass	Acceso a la Red WIFI
52900	17/09/2019 12:32	Reporta problemas con wifi	Acceso a la Red WIFI

Fuente: Área de Redes

3.2.2. CAUSAS DEL PROBLEMA

A continuación, para identificar con mayor precisión las causas de los problemas, se mostrará mapas de calor elaborados con el software gratuito Aruba VisualRF. Estos mapas de calor, de las oficinas de Lima, cuentan con cinco pisos, elaborados, con los planos facilitados por la compañía y se ha considerado los elementos atenuantes del medio como son drywall y ventanas, que en su mayoría se encuentra en la arquitectura del edificio. Estos mapas nos ayudarán a evidenciar el mal diseño empleado en la solución existente y facilitará los puntos a mejorar. En la siguiente imagen, se puede visualizar las zonas con menos cobertura con los puntos de acceso que se encuentran actualmente, que son en total 3. Asimismo, se ha considerado la potencia que cuenta cada equipo inalámbrico.

Imagen 12: Mapa de calor actual del piso 30 de la oficina de Lima

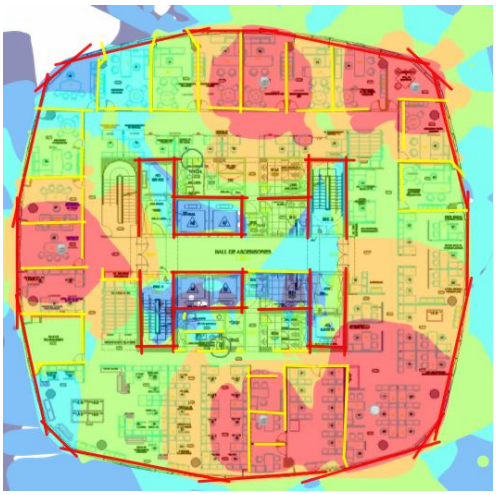


Fuente: Elaboración Propia

En la figura anterior se visualiza zonas con poca cobertura de color celeste. Por ejemplo, al lado izquierdo hay una zona de color celeste y azul que reflejan la escasez en la calidad de señal recibida por los usuarios de alrededor de -75 dbm. Asimismo, hay solo tres puntos de acceso que brindan capacidad reducida para todos los usuarios del piso.

En la siguiente imagen, se visualiza el mapa de calor del piso 31, en donde se visualiza áreas de color celeste y verde que tienen menos potencia de señal recibida con 5 puntos de acceso inalámbrico.

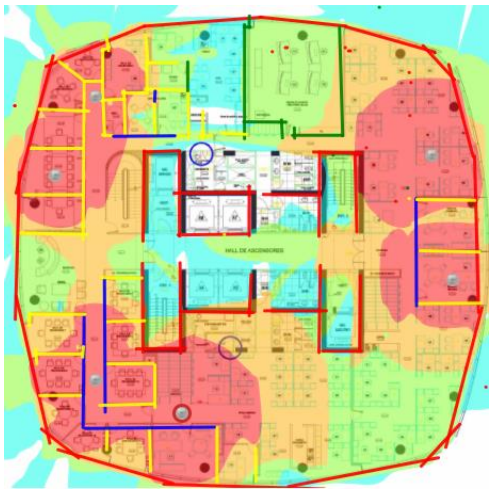
Imagen 13: Mapa de calor actual del piso 31



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente imagen, en la esquina inferior derecha, hay una zona con poca cobertura de color verde, está zona llena de cubículos, es necesaria que tenga mayor cobertura, para no depender sólo del cableado.

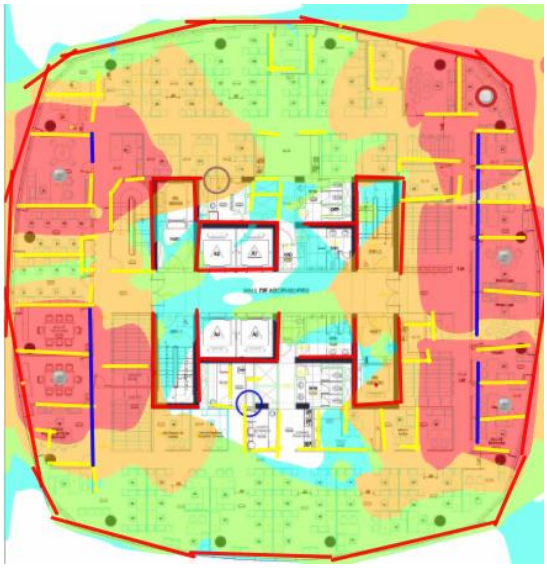
Imagen 14: Mapa de calor actual del piso 32



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente imagen, en la parte superior e inferior más zonas con poca cobertura de color verde, en donde se encuentran asistentes de gerencia.

Imagen 15: Mapa de calor actual del piso 33



Fuente: Elaboración Propia

Se ha considerado para su elaboración, los planos facilitados por la compañía y se deduce, por la pobre cobertura, que no se ha realizado un buen diseño de red contemplando todas las atenuaciones de los drywalls o ventanas que existen en las oficinas. Asimismo, los puntos de acceso se encuentran instalados encima de las baldosas del falso techo. Entre las principales razones tenemos la escasez de puntos de acceso o su instalación en sitios no estratégicos, que no toman en consideración todas las atenuaciones de los materiales y buenas prácticas de instalación.

3.2.3. CONSECUENCIAS

En las oficinas de Lima, la falta cobertura inalámbrica en los 4 pisos de las oficinas administrativas, ocasiona quejas por parte de los gerentes y empleados, los cuales no pueden movilizarse libremente o tener una rápida conexión en cualquier momento o lugar en las oficinas.

3.2.4. REQUERIMIENTOS

Se necesita tener la mejor cobertura en todas las áreas. Se requiere capacidad binaria de 10 Mbps como mínimo para 30 usuarios concurrentes por punto de acceso inalámbrico.

3.2.5. POSIBLE SOLUCIÓN

Diseñar una red inalámbrica para transmitir data, voz o video, utilizando cableado hacia algunos puntos de acceso, utilizando estándares de la IEEE y recomendaciones de ITU, que permitan tener una mejor ubicación de los puntos de acceso inalámbrico. Se requiere realizar un mapa de calor cumpliendo con las recomendaciones de la IEEE e ITU, calculando la pérdida en el espacio libre, potencia recibida y la relación señal a ruido.

3.3. FALTA DE COBERTURA OUTDOOR EN LA UNIDAD MINERA

3.3.1. PROBLEMAS

Actualmente, la red inalámbrica de la unidad minera cuenta con diversos problemas, entre los que tenemos, poca cobertura, calidad de señal en sus oficinas y exteriores, que ocasiona quejas de gerentes y empleados.

3.3.2. CAUSAS DEL PROBLEMA

No se ha elaborado mapas de calor utilizando estándares y recomendaciones de la IEEE e ITU. Se ha colocado puntos de acceso según criterio del administrador local sin utilizar recomendaciones de entidades internacionales ni buenas prácticas de la industria.

3.3.3. CONSECUENCIAS

En la unidad minera, la falta cobertura inalámbrica en las oficinas, ocasiona quejas por parte de los gerentes y empleados, los cuales no pueden movilizarse libremente o tener una rápida conexión en cualquier momento o lugar en las oficinas. Asimismo, esto genera gastos por horas no laboradas y horas pérdidas en la solución de problemas de conectividad.

3.3.4. REQUERIMIENTOS

Se necesita garantizar alrededor de 10 Mbps de velocidad binaria por cada usuario, por lo que se necesita garantizar más de 200 Mbps por cada radio enlace, para una concurrencia de 30 usuarios, cumpliendo las recomendaciones de la IEEE e ITU.

3.3.5. POSIBLE SOLUCIÓN

Diseño de red inalámbrica, utilizando estándares de la IEEE e ITU, que permitan una mejor ubicación de los puntos de acceso inalámbricos.

3.4. SITIOS REMOTOS SIN RADIO ENLACES

3.4.1. PROBLEMAS

Sitios remotos, como por ejemplo campamentos mineros, con escaza o nula conexión al data center para transmitir data, voz o video.

3.4.2. CAUSAS

Hay sitios remotos que no cuentan con cobertura inalámbrica debido a que tienen limitada o nula conexión a estos sitios remotos debido a los costes adicionales que implica. Asimismo, en las unidades mineras, los costos altos de instalar, mantener y reparar un cableado de fibra óptica entre puntos lejanos impiden dar una mejor cobertura en zonas alejadas de las oficinas. A continuación, las zonas remotas de la unidad minera, que necesitan cobertura inalámbrica dentro de círculos rojos.

Imagen 16: Zonas sin cobertura

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3. CONSECUENCIAS:

Limita o nula conexión de los gerentes y empleados en las instalaciones mineras debido a que no hay un enlace en donde se puedan conectar los equipos de red. Esto genera pérdidas de productividad y aumenta los costos en resolver estos incidentes.

3.4.4. REQUERIMIENTOS

Se necesita cumplir con un RSSI mayor a -55 dbm en los enlaces, siguiendo recomendaciones de la ITU, aplicando fórmulas de propagación.

3.5.GESTIÓN DE INTERESADOS:

Para la gestión de interesados, se ha elaborado una tabla para poder hacer el seguimiento de estos durante el proyecto y gestionarlos dependiendo del nivel de poder e interés. A continuación, el registro de interesados en el proyecto; y el nivel de influencia y de interés:

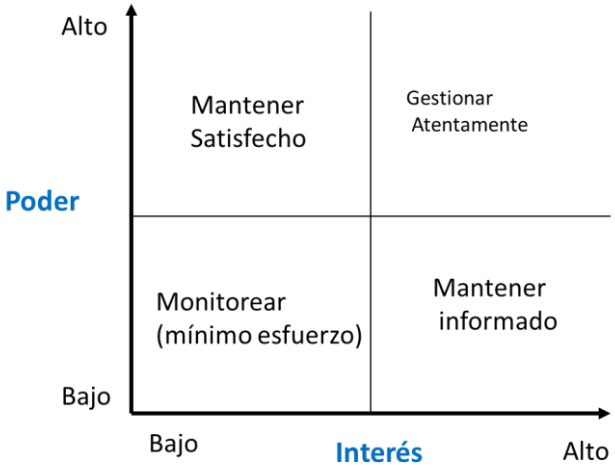
Tabla 7: Interesados en el proyecto

Nombre del Interesado	Organización a que pertenece	Categoría de interesado	Nivel interés (Bajo, Medio, Alto)	Nivel influencia (Bajo, Medio, Alto)
Gerente de TI	Compañía	Alta Dirección	Alto	Alto
Jefes de TI	Compañía	Cliente	Alto	Medio
Usuario Líder	Compañía	Usuario	Medio	Bajo
Gerente General	Compañía	Patrocinador	Medio	Alto
Christian Pascual	Externo	Miembro proyecto	Alto	Bajo

Fuente: Elaboración propia

Según el nivel interés e influencia presentada en la tabla anterior se gestionará a los interesados en el proyecto según el siguiente diagrama.

Imagen 17: Poder VS interés



Fuente: Elaboración propia

A continuación, un breve resumen de los objetivos, problemas, sus causas, consecuencias y requerimientos.

Tabla 8: Objetivos, causas, consecuencias y requerimientos

OBJETIVOS ESPECIFICOS	CAUSAS	CONSECUENCIAS	REQUERIMIENTOS
Diseñar la red mesh inalámbrica para transportar los datos de los usuarios de la oficina de Lima, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el LBF, RSSI, SNR y capacidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 5 GHz	Desconocimiento de estándares y buenas prácticas en el diseño de una red inalámbrica en la banda de 5 GHz, por tal razón no se involucra atenuaciones del medio, potencia y ganancia de los dispositivos que interactúan. Además, no se toma en cuenta las recomendaciones de propagación y de estándares de video de la ITU. Finalmente, los equipos actuales de la oficina de de Lima no soportan la banda de 5 Ghz y tecnología mesh alguna.	Se genera reclamos de gerentes y usuarios por falta de conectividad en varias áreas de las oficinas. Asimismo, genera pérdidas económicas a la empresa por la suma total de horas sin trabajar de todas las áreas y horas tomadas en solucionar estos problemas todos los días.	Proponer un diseño de red cumpliendo con los estándares IEEE e ITU para transmitir datos, voz y video con alta disponibilidad, entre ellos, el 802.11s y H.264.

Diseñar la red acceso inalámbrica para los usuarios de la oficina de Lima, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el RSSI, LBF y velocidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 2.4 GHz	Desconocimiento de estándares y buenas prácticas en el diseño de una red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz, por tal razón no se involucra atenuaciones del medio, potencia y ganancia de los dispositivos que interactúan. Además, no se toma en cuenta las recomendaciones de propagación y de estándares de video de la ITU. Finalmente, los equipos actuales de la oficina de Lima no soportan la banda de 5 Ghz y tecnología mesh alguna.	En las oficinas de Lima, la falta cobertura inalámbrica en los 5 pisos de las oficinas administrativas, ocasiona quejas por parte de los gerentes y empleados, los cuales no pueden movilizarse libremente o tener una rápida conexión en cualquier momento o lugar en las oficinas.	Se necesita cumplir con un RSSI mayor a -55 dbm en los clientes en todas las áreas. Se requiere realizar un mapa de calor cumpliendo con las recomendaciones de la IEEE e ITU, calculando la pérdida en el espacio libre, la relación señal a ruido y una capacidad binaria de 10 Mbps como mínimo.
Diseñar la red acceso inalámbrica para exterior para los usuarios de la unidad minera, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el LBF, RSSI, la SNR y capacidad binaria según las recomendaciones de la ITU e IEEE para la banda de 2.4 GHz	No se ha elaborado mapas de calor utilizando estándares y recomendaciones de la IEEE e ITU. Se ha colocado puntos de acceso según criterio del administrador local sin utilizar recomendaciones de entidades internacionales ni buenas prácticas de la industria.	En la unidad minera, la falta cobertura inalámbrica en las oficinas, ocasiona quejas por parte de los gerentes y empleados, los cuales no pueden movilizarse libremente o tener una rápida conexión en cualquier momento o lugar en las oficinas. Asimismo, esto genera gastos por horas no laboradas y horas pérdidas en la solución de problemas de conectividad.	Se necesita garantizar alrededor de 10 Mbps de velocidad binaria por cada usuario, por lo que se necesita garantizar más de 200 Mbps por cada radio enlace, para una concurrencia de 20 usuarios, cumpliendo las recomendaciones de la IEEE e ITU.

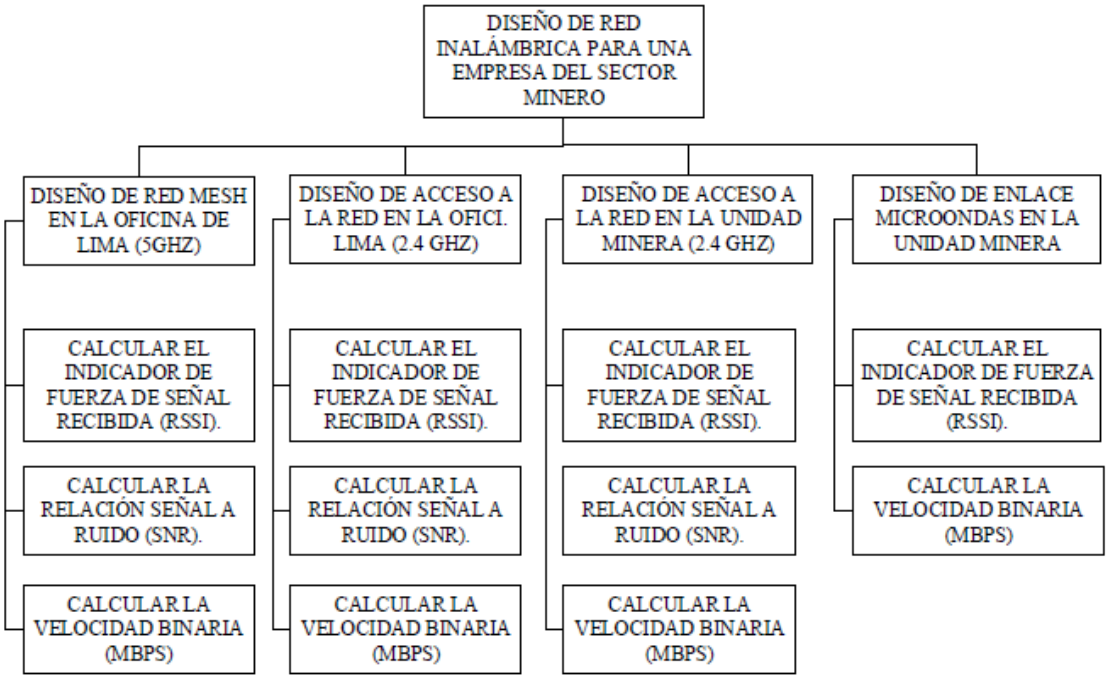
Diseñar los enlaces punto a punto, aplicando las fórmulas de propagación de señales electromagnéticas calculando el nivel de recepción, pérdida en el espacio y capacidad binaria definidos por la ITU e IEEE para la banda de 60 GHz.	Hay sitios remotos que no cuentan con cobertura inalámbrica debido a que tienen limitada o nula conexión a estos sitios remotos debido a los costes adicionales que implica. Asimismo, en las unidades mineras, los costos altos de instalar, mantener y reparar un cableado de fibra óptica entre puntos lejanos impiden dar una mejor cobertura en zonas alejadas de las oficinas. A continuación, las zonas remotas de la unidad minera, que necesitan cobertura inalámbrica dentro de círculos rojos.	Limita o nula conexión de los gerentes y empleados en las instalaciones mineras debido a que no hay un enlace en donde se puedan conectar los equipos de red. Esto genera pérdidas de productividad y aumenta los costos en resolver estos incidentes.	Se necesita cumplir con un RSSI mayor a -55 dbm en los enlaces, siguiendo recomendaciones de la ITU, aplicando fórmulas de propagación.

Fuente: Propia

3.6.ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL TRABAJO

A continuación, la estructura de descomposición del trabajo.

Imagen 18: Estructura de descomposición del trabajo



Fuente: Elaboración propia

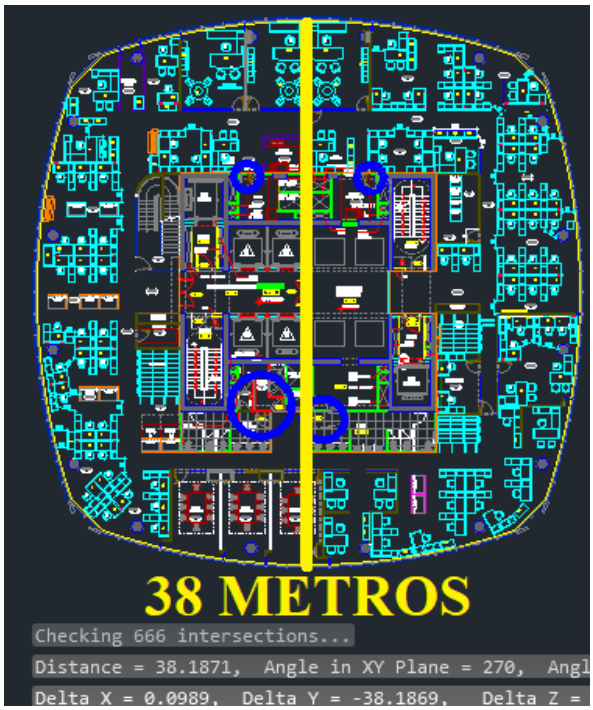
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

A continuación, se desarrollará la solución de cada objetivo específico, utilizando los planos proporcionados por la compañía, las fórmulas de potencia recibida y de pérdida en el espacio libre de las ondas microondas descritas en las recomendaciones de la ITU, recomendaciones brindadas en la guía oficial de Certified Wireless Network Administrator para el diseño de la red inalámbrica, recomendaciones del estándar 802.11s, diseños validados por marcas y regulaciones legales brindadas por el ministerio de transporte y comunicaciones para las frecuencias de 5 y 2.4 GHz. Finalmente, mapa de calores utilizando el software gratuito Aruba Visual RF.

4.1. DISEÑO DE RED INALÁMBRICA MESH EN OFICINAS DE LIMA

En la siguiente imagen se verifica en los planos en AutoCAD brindados por la compañía, con línea amarilla, la distancia de 38 metros aproximadamente, calculados con la misma herramienta AutoCAD.

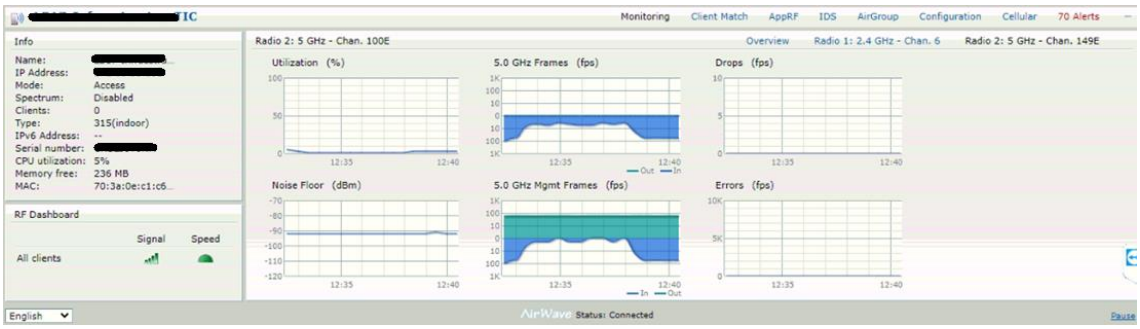
Imagen 19: Plano en AutoCAD del Piso 17



Fuente: Compañía de minas

Se realizará el diseño de cobertura en 5 GHZ entre los puntos de acceso inalámbrico usando la tecnología mesh requerida por la compañía minera, entre los puntos de acceso inalámbricos se realizará el transporte de información hacia el punto de acceso inalámbrico que cuenta con conexión cableada, llamada portal mesh. Se utilizará la banda de 5 GHz, ya que actualmente no es usada por todos los usuarios y es menos susceptibles a interferencias. Sin embargo, tiene menos alcance y penetración de materiales. A continuación, se toma en cuenta la ecuación básica para calcular la potencia recibida (PR), según la recomendación IUT-R 341-7 (Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos), la cual tiene incorporada como variable la pérdida en el espacio libre, que se calcula con otra fórmula, descrita en el capítulo 2 y que se detalla a continuación, según la recomendación IUT-R 525-3 (Cálculo de la atenuación en el espacio libre). A continuación, el ruido de fondo de las oficinas de Lima, de alrededor de -90 dbm, que se visualiza en el lado inferior izquierdo.

Imagen 20: Ruido en la banda de 5 GHz



Fuente: Compañía de Minas

A continuación, la fórmula para calcular la potencia recibida, según la Recomendación IUT-R 341-7

PR = POTENCIA TX + GANANCIA TX – PÉRDIDA DE TX – PÉRDIDA ESPACIO LIBRE + GANANCIA RX – PÉRDIDA DE RX

A continuación, la fórmula de pérdida en el espacio libre, considerando la recomendación IUT-R 525-3, descrita en el capítulo 2:

$$LBF= 32.4 + 20 \log f + 20 \log d$$

En donde las variables representan lo siguiente:

LBF= pérdida en el espacio libre básica en decibelios
f = frecuencia (MHz)
d = distancia (km).
TX = transmisión
RX = recepción

A continuación, una tabla con todos los parámetros básicos a considerar para calcular la pérdida en el espacio libre (LBF) y la potencia recibida (PR). Se utilizará la frecuencia de 5250 MHz, ya que es una de las bandas sin licencia permitidas en nuestro país y una potencia de 24 DBM con una ganancia de 5 DBI, que es la potencia y pico de ganancia permitidas para esta banda y corresponde a un AP (Access Point o punto de acceso inalámbrico) Aruba modelo 555, el AP con mayores prestaciones de esta marca, las especificaciones se encuentran en el anexo X, tomado como ejemplo para nuestro estudio y que permite usar este rango de frecuencia permitido(canal).

Tabla 9: Parámetros de cálculo

PARÁMETROS	
VARIABLE	VALORES
DISTANCIA (KM)	X
FRECUENCIA (MHZ)	5250
POTENCIA (DBM)	24
GANANCIA DE ANTENA TRANSMISORA (DBI)	5
GANANCIA ANTENA RECEPTORA (DBI)	5
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - TX	0
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - RX	0
PÉRDIDAS SUMA DE TX Y RX	0

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se calcula la cobertura de 5GHz a 10, 20, 30, 40, 50 y 60 metros, el cual se ve representada en la siguiente tabla, aplicando las fórmulas anteriormente descritas:

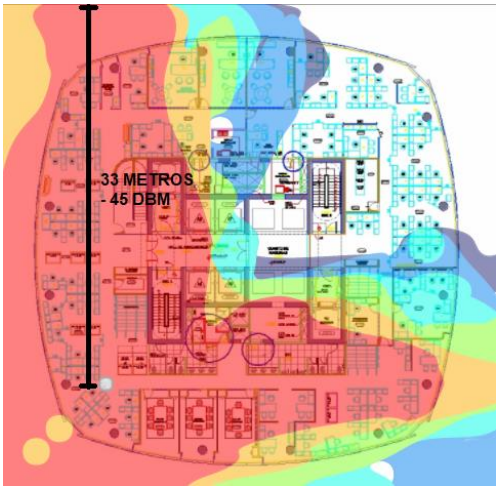
Tabla 10: Potencia recibida a varias distancias

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM
10	66.84	-32.84
20	72.86	-38.86
30	76.39	-42.39
40	78.88	-44.88
50	80.82	-46.82
60	82.41	-48.41

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realiza un mapa de calor con un AP, representado con una circunferencia de color gris, en la frecuencia de 5.250 GHz y se obtiene en el software gratuito de Aruba Visual RF, el mapa de calor con las distancias de 10, 20, 30 y 60 metros y las potencias de -45 dbm a 20 metros y de -55 dbm a 60 metros, lo cual se valida con las fórmulas aplicadas.

Imagen 21: Análisis de mapa de calor del Piso 30



Fuente: Elaboración propia

A continuación, un repaso del código de colores empleado en el mapa de calor anterior para representar la potencia recibida de 0 a -95 dbm.

Imagen 22: Mapa de colores de intensidad de señal en DBM en Aruba Visual RF

Fuente: Aruba Visual RF

La interpretación de los valores en una escala de 0 a -65 RSSI:

- 0 dbm: señal ideal, difícil de lograr en la práctica.
- -40 dbm, ROJO: señal idónea con tasas de transferencia estables.
- -55 dbm, NARANJA: enlace bueno.
- -65 dbm, VERDE: enlace normal-bajo; es una señal medianamente buena, aunque se pueden sufrir problemas mínimos.

A continuación, un repaso de las atenuaciones mencionadas en el capítulo 2, en donde se compara las diferentes atenuaciones que hay para las frecuencias de 2,4 Ghz y 5 Ghz. La siguiente tabla se encuentra en el diseño de referencia validado (VRD) de la marca Aruba.

Tabla 11: Atenuaciones según material en 2.4 GHz y 5 GHz

Indoor Environment	Attenuation in 2.4 GHz	Attenuation in 5 GHz
Fabric, blinds, ceiling tiles	Approximately 1 dB	Approximately 1.5 dB
Interior drywall	3–4 dB	3–5 dB
Cubicle wall	2–5 dB	4–9 dB
Wood door (Hollow –Solid)	3–4 dB	6–7 dB
Brick/concrete wall	6–18 dB	10–30 dB
Glass/window (not tinted)	2–3 dB	6–8 dB
Double-pane coated glass	13 dB	20 dB
Steel/fire exit door	13–19 dB	25–32 dB

Fuente: Aruba VRD

En la imagen anteriores se muestran las atenuaciones de los materiales que son mayores en 5GHz a comparación de 2.4 GHz, para el mismo material, según el fabricante mencionado. Se realiza a continuación, el cálculo de las potencias recibidas teniendo en cuenta las atenuaciones por cubículos de vidrio, drywalls y concreto, que son los materiales más predominantes en las oficinas. Sin embargo, en nuestro caso se va a considerar la misma atenuación de concreto, drywall y vidrio en ambas frecuencias, por qué las diferencias no son muy apreciables, por lo que se considerará 15 dbm para concreto, 6 para drywall y 2 para vidrio. A continuación, el cálculo de las potencias recibida a través de concreto (NPR, Nueva Potencia Recibida).

Tabla 12: Calculo de potencia recibida a través de concreto

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. CONCRETO	NPR
10	66.84	-32.84	15	-47.84
20	72.86	-38.86	15	-53.86
30	76.39	-42.39	15	-57.39
40	78.88	-44.88	15	-59.88
50	80.82	-46.82	15	-61.82
60	82.41	-48.41	15	-63.41

Fuente: Propia

Tabla 13: Cálculo de potencia recibida a través de drywall

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. DRYWALL	NPR
10	66.84	-32.84	6	-38.84
20	72.86	-38.86	6	-44.86
30	76.39	-42.39	6	-48.39
40	78.88	-44.88	6	-50.88
50	80.82	-46.82	6	-52.82
60	82.41	-48.41	6	-54.41

Fuente: Propia

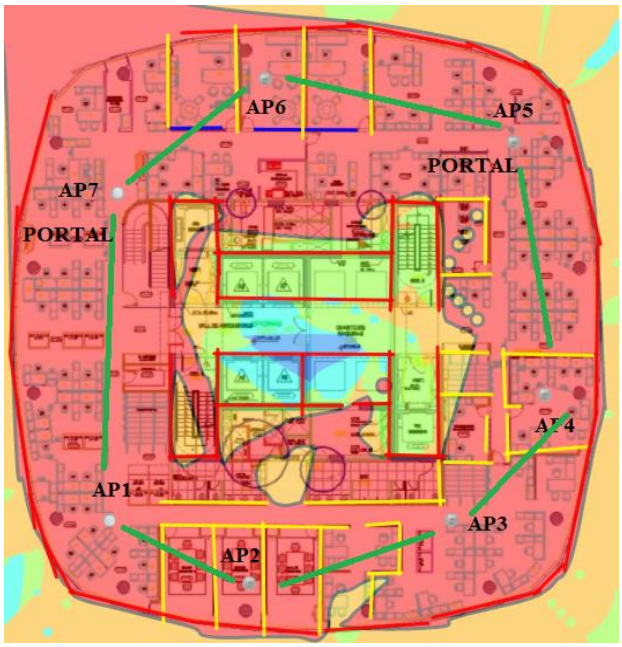
Tabla 14: Cálculo de potencia a través de vidrio

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. VIDRIO	NPR
10	66.84	-32.84	2	-34.84
20	72.86	-38.86	2	-40.86
30	76.39	-42.39	2	-44.39
40	78.88	-44.88	2	-46.88
50	80.82	-46.82	2	-48.82
60	82.41	-48.41	2	-50.41

Fuente: Elaboración propia

A continuación, bajo estos cálculos y con el uso de la herramienta para el diseño de mapa de calor, Visual RF, se representa los resultados de cobertura en imagen siguiente.

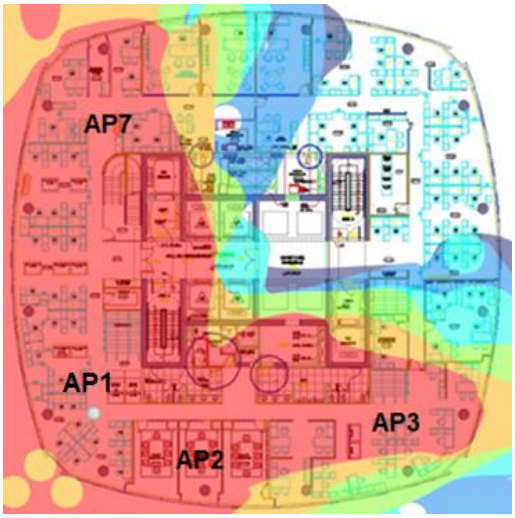
Imagen 23: Cobertura de 5Ghz en Piso 30



Fuente: Propia

En las siguientes imágenes, analizaremos la cobertura AP por AP, de izquierda a derecha. Empezaremos con la cobertura del AP 1, el cual llega con una potencia dentro de -55 dbm al AP 7 y 2.

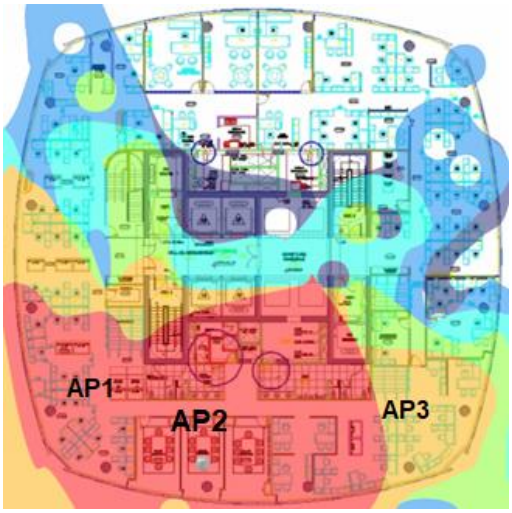
Imagen 24: Mapa de calor AP1 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, analizamos la cobertura del AP 2, ubicado en la parte inferior adyacente al primer AP 1 analizado anteriormente. La zona naranja indica – 55 dbm con respecto al AP1 y la verde -65 dbm, con respecto al AP 3.

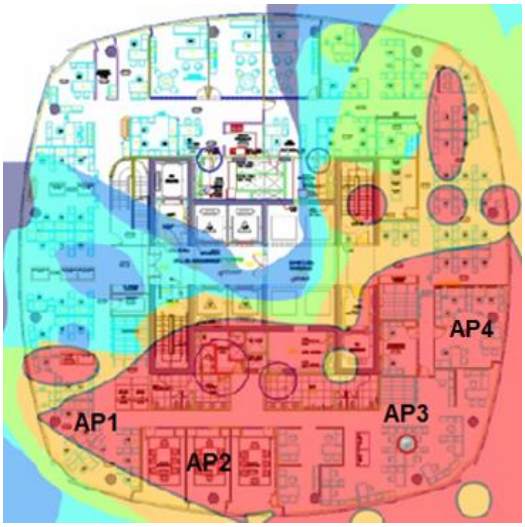
Imagen 25: Cobertura de AP 2 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

Se verifica en la siguiente imagen, que el AP 3 con respecto al AP 2, llega con una potencia de -65 dbm. Con respecto al AP 4, hay una señal de hasta -55 dbm en naranja.

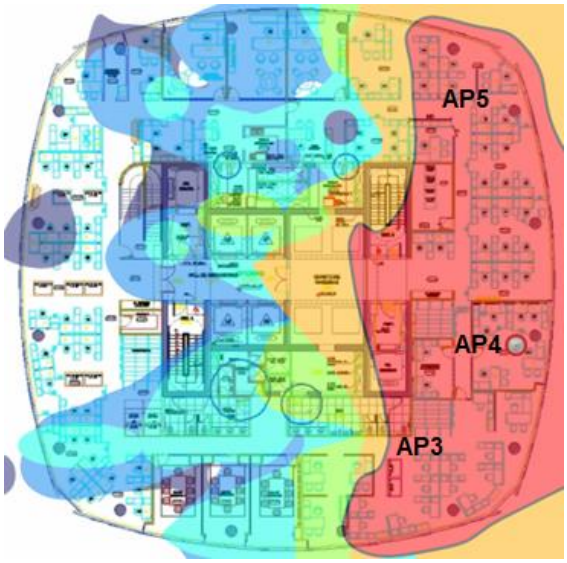
Imagen 26: Cobertura de AP 3 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

En la siguiente imagen se aprecia al AP 4 en medio de una oficina con Drywalls, permite llegar con buena potencia a los APs adyacentes, con hasta -55 dbm representados de color naranja.

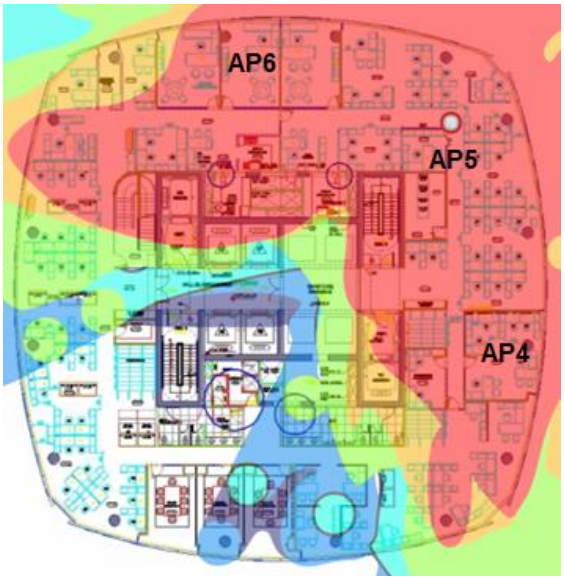
Imagen 27: Cobertura AP 4 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, se visualiza la cobertura del AP5, que llega con buena cobertura al AP 4 y al AP6, de alrededor de -55 dbm.

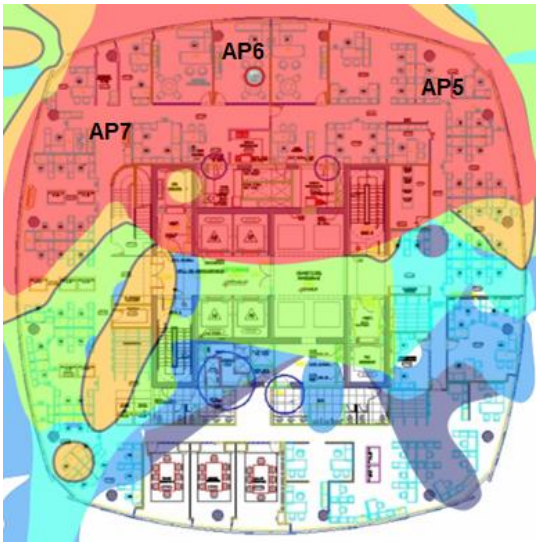
Imagen 28: Cobertura AP 5 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, se verifica que el AP 6 cuenta con buena cobertura con respecto al AP 5 y el AP7, con hasta -55 dbm, representado de color naranja.

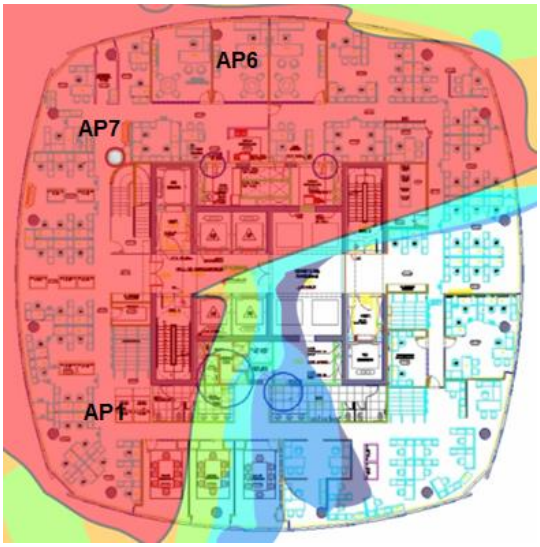
Imagen 29: Cobertura de AP 6 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, se verifica que el AP 7 cuenta con buena cobertura con respecto al AP 6 y el AP1, con hasta -45 dbm, representado de color ROJO.

Imagen 30: Cobertura de AP 7 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

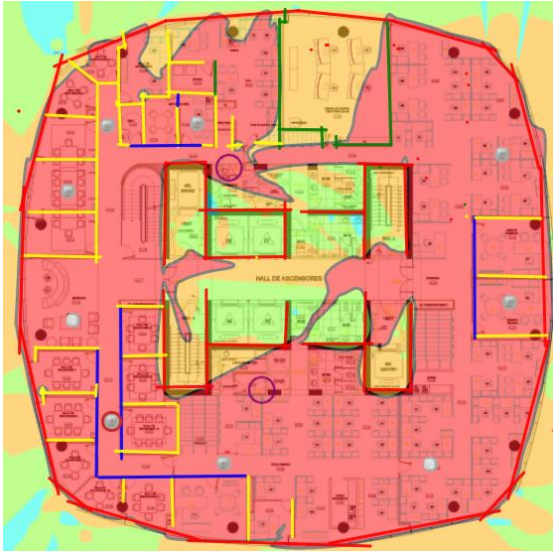
En conclusión, las coberturas tienen como máximo -65 dbm a cada punto de acceso inalámbrico. A continuación, el mapa de calor de los siguientes pisos, siempre contemplando las atenuaciones por materiales:

Imagen 31: Cobertura de Piso 31 en 5Ghz, Mesh

Fuente: Propia

A continuación, el mapa de calor del piso 32, con 8 puntos de acceso en modo mesh.

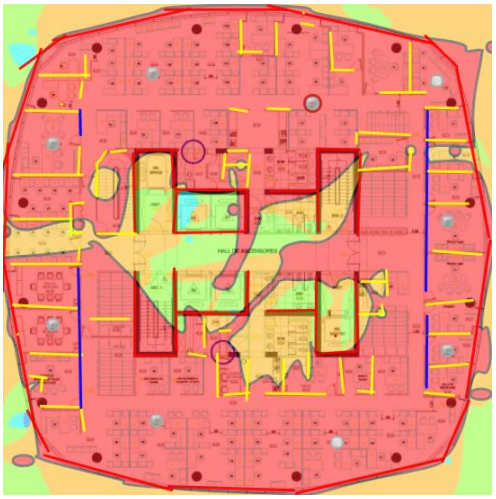
Imagen 32: Cobertura de Piso 32 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

A continuación, el mapa de calor del piso 33, con 9 puntos de acceso en modo mesh.

Imagen 33: Cobertura Piso 33 en 5Ghz, Mesh



Fuente: Propia

Bajo este diseño, dentro de los -55 dbm (color rojo o naranja) y con un SNR calculado de 35 dbm como mínimo, podemos obtener una velocidad de hasta 4.8 Gbps en el enlace de punto a punto inalámbrico, según la tabla siguiente por el fabricante de la marca Aruba en su modelo 555.

Tabla 15: Tabla de rendimiento según modulación por fabricante Aruba

RF PERFORMANCE TABLE		
Band, rate	**Maximum transmit power (dBm) per transmit chain**	**Receiver sensitivity (dBm) per receive chain**
5GHz, 802.11ax HE20		
MCS0	18	-91
MCS11	10	-62
5GHz, 802.11ax HE40		
MCS0	18	-88
MCS11	10	-58
5GHz, 802.11ax HE80		
MCS0	18	-85
MCS11	10	-56
5GHz, 802.11ax HE160		
MCS0	18	-82
MCS11	10	-53

Fuente: Datasheet Aruba de AP Modelo 555

En la imagen anterior se aprecia que si se usa la modulación MCS11 en el estándar 802.11ax HE20 con un nivel de potencia recibida de -62 dbm. Con la siguiente tabla, se fundamenta las velocidades para esta modulación y ancho de banda usando cuatro streams.

En la siguiente tabla se aprecia velocidades según modulación empleada, canales e intervalo de guardia (GI).

En conclusión, se cumple que dentro de los -62 dbm descritos en su datasheet por este fabricante, podemos alcanzar la mayor velocidad de 4.8 Gbps para el transporte de datos de usuario. Ya concluido con el estudio del transporte de datos en la banda de 5Ghz, se analizará la cobertura en 2.4 Ghz.

Para estimar la cantidad de bits posibles, para la transmisión de video, en un determinado tiempo, utilizamos el estándar estándar H.264, que es usado por Microsoft Teams y Youtube según sus páginas oficiales y utilizan menos de 5 Mbps aproximadamente.

Según la siguiente tabla, extraído del artículo, Descripción del nuevo estándar de video H.264 y comparación de su eficiencia de codificación con otros estándares, se estima que se usara como máximo alrededor de 10 Mbps por transmisión.

Tabla 16: Velocidad según resolución y cuadros por segundo

Niveles	Tipo de cuadros y velocidad de cuadros
1	QCIF @ 15fps (*frames per second*)
1.1	QCIF @ 30fps
1.2	CIF @ 15fps
1.3	CIF @ 30fps
2	CIF @ 30fps
2.1	HHR @15 or 30fps
2.2	SDTV @ 15fps
3	SDTV: 720x480x30i,720x576x25i 10Mbps(max)
3.1	1280x720x30p
3.2	1280x720x60p
4	HDTV: 1920x1080x30i, 1280x720x60p, 2Kx1Kx30p 20Mbps(max)

Fuente: Ochoa, Mireles & Cota: 2007

Según el cuadro anterior y utilizando la capacidad máxima de transmisión de un AP 802.11ax que es 4.1 Gbps, se podría transmitir en teoría 410 transmisiones concurrentes en un solo sentido, ya sea enviando o recibiendo ó 205 conexiones concurrentes de ida y de vuelta a la vez. Si cada AP pudiera soportar 30 usuarios concurrentes haciendo videollamadas, cada AP haría 600 Mbps de tráfico en el enlace de transporte.

En la siguiente fórmula resumimos el cálculo realizado para obtener los megabits por segundo como mínimo por AP necesarios.

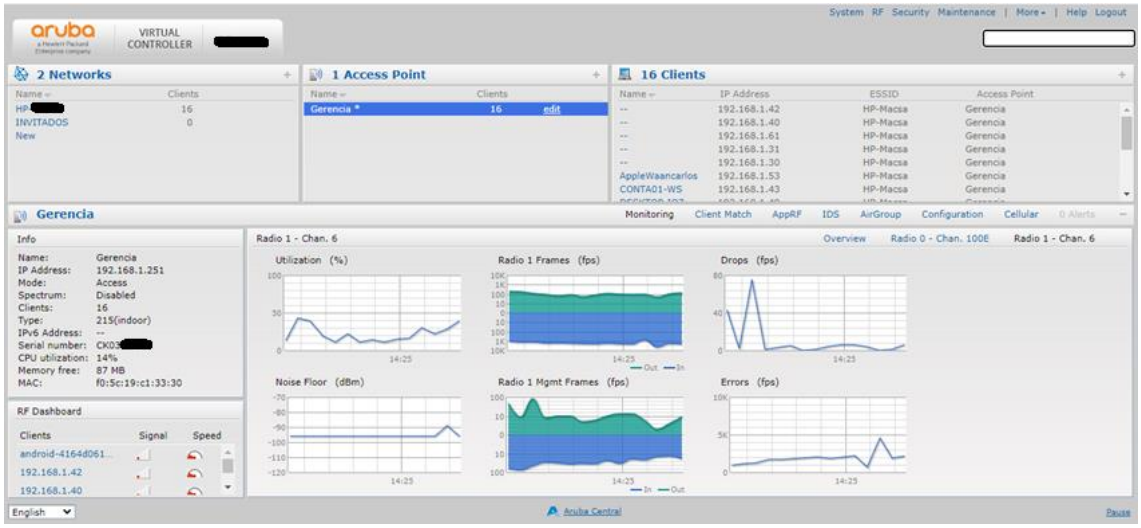
CapacidadAP = 10 Mbps X N°Videollamadas X 2 (Envía y recibe)

En resumen, se obtiene -55 dbm de recepción de señal entre los APs, con una capacidad binaria de 4.8 Gbps aproximadamente

4.2. DISEÑO DE COBERTURA PARA USUARIOS DE LA OFICINA

A continuación, se usa la fórmula de nivel de recepción y la fórmula de pérdida en el espacio, descrita en el capítulo 2, con el cual se comprobará que el alcance de la frecuencia de 2.4 Ghz es muyo mayor que el de la frecuencia de 5 GHz, por ende, en teoría no sería necesario añadir o reubicar los mismos APs. Sin embargo, analizaremos el uso de esta banda, pero primero verificaremos el ruido del ambiente.

Imagen 34: Visualización de ruido en el piso 30



Fuente: Propia

En la anterior imagen, se verifica que el nivel del ruido en promedio se encuentra entre -90 y -100 dBm, lo cual es un ruido normal para una oficina. A continuación, los cálculos de potencia recibida a distintas distancias utilizando la siguiente fórmula.

PR = POTENCIA TX + GANANCIA TX – PÉRDIDA DE TX – PÉRDIDA ESPACIO + GANANCIA RX – PÉRDIDA DE RX

Fórmula de pérdida en el espacio libre:

$$Lbf = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \text{ dB}$$

En donde las variables son:

f: frecuencia (MHz)

d: distancia (km).

Con los siguientes parámetros a consideración:

Tabla 17: Parámetros a considerar en 2.4 GHz

PARÁMETROS	
VARIABLE	VALORES
DISTANCIA (KM)	X
FRECUENCIA (MHZ)	2400
POTENCIA (DBM)	24
GANANCIA DE ANTENA TRANSMISORA (DBI)	3.5
GANANCIA ANTENA RECEPTORA (DBI)	3
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - TX	0
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - RX	0.5
PÉRDIDAS SUMA DE TX Y RX	0.5

Fuente: Propia

Aplicando la formula anterior, según la recomendación UIT-R P.525-3 de la ITU, se obtiene lo siguientes niveles de recepción a distintos metros:

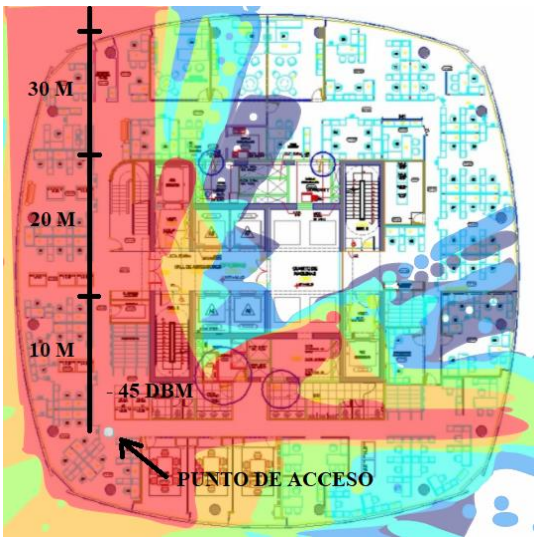
Tabla 18: Nivel de recepción

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM
10	60.04	-31.04
20	66.06	-37.06
30	69.59	-40.59
40	72.09	-43.09
50	74.02	-46.02
60	75.61	-46.61

Fuente: Calculo propio

Haciendo uso del plano en AutoCad comprobamos que la tabla anteriormente descrita se cumple en la herramienta Aruba VisualRF. Los puntos de acceso inalambrico de color gris claro.

Imagen 35: Potencia según distancia



Fuente: Propia

Anteriormente, en el capítulo 2, se describió las atenuaciones por material, según el diseño de referencia validado por Aruba; sin embargo, utilizaremos las utilizadas por la herramienta Aruba Visual RF.

Tabla 19: Pérdida por materiales

MATERIAL	PÉRDIDA DBM
CONCRETO	15
DRYWALL	6
CUBICULO	4
VIDRIO	2

Fuente: Aruba Visual RF

Aplicando las atenuaciones de pared, drywall y cubículo a la potencia recibida ideal calculado anteriormente.

NUEVA POTENCIA RECIBIDA (NPR) = POTENCIA RECIBIDA (PR) – ATENUACION SEGÚN MATERIAL

Fuente: Propia

Tabla 20: Calculo de potencia afectada por concreto

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. CONCRETO	NPR
10	60.04	-31.04	15	-46.04
20	66.06	-37.06	15	-52.06
30	69.59	-40.59	15	-55.59
40	72.09	-43.09	15	-58.09
50	74.02	-46.02	15	-61.02
60	75.61	-46.61	15	-61.61

Fuente: Propia

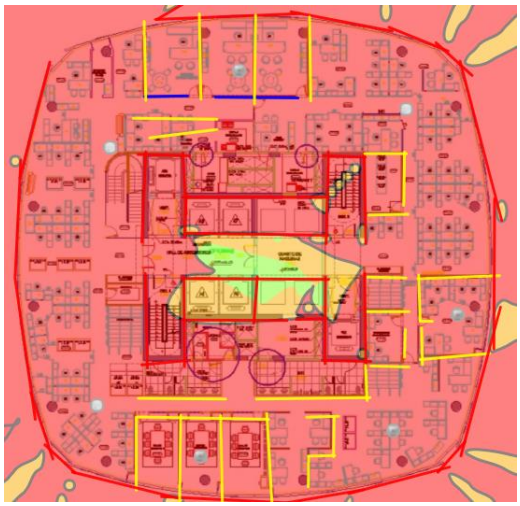
Tabla 21: Calculo de potencia afectada por drywall

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. DRYWALL	NPR
10	60.04	-31.04	6	-37.04
20	66.06	-37.06	6	-43.06
30	69.59	-40.59	6	-46.59
40	72.09	-43.09	6	-49.09
50	74.02	-46.02	6	-52.02
60	75.61	-46.61	6	-52.61

Fuente: Propia

La siguiente imagen de Aruba Visual RF Plan corresponde al piso 30 de la oficina de Lima, en donde se intenta que haya la mayor cantidad de zonas con potencia de - 45 dbm. Asimismo, las oficinas con drywall representado de color amarillo, deben tener la mejor calidad de señal.

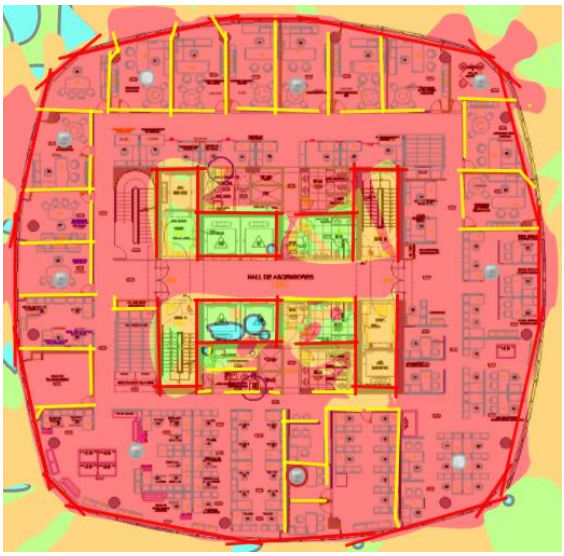
Imagen 36: Diseño de Mapa de Calor PISO 30



Fuente: Propia

En la siguiente imagen se contempla la cantidad de 8 puntos de acceso inalámbrico,

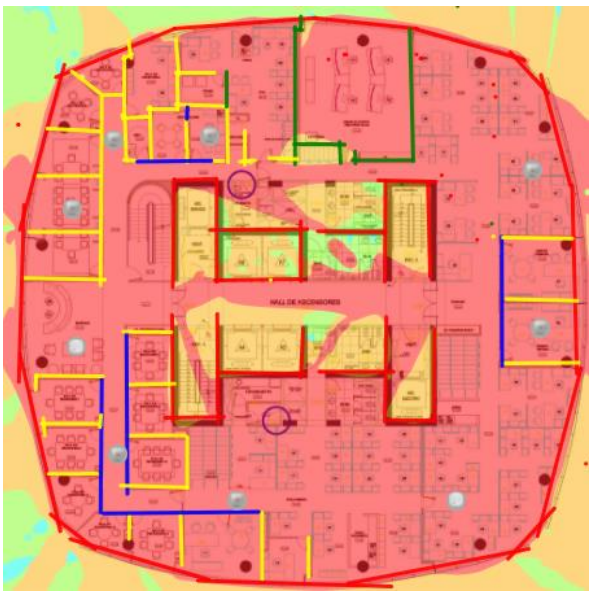
Imagen 37: Diseño de Mapa de Calor de PISO 31



Fuente: Propia

A continuación, en el piso 32, se verifica y se recomienda como mínimo la instalación de 07 puntos de acceso inalámbrico.

Imagen 38: Diseño de Mapa de Calor de PISO 32



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, hay 7 puntos de acceso inalámbricos y nuevamente las oficinas dentro de líneas amarillas (drywall), tienen la mejor cobertura posible con señal mayor a – 55 dbm.

Imagen 39: Diseño de Mapa de Calor de PISO 33

Fuente: Propia

Según lo indicado anteriormente, se recomienda incluir más puntos de acceso inalámbrico con respecto a lo que se tiene actualmente, para tener una mejor cobertura de señal por cada piso. Asimismo, con el software utilizado, los planos considerados y las atenuaciones tomadas en cuenta, se constata que casi el 100 % de las oficinas tienen una intensidad de señal mayor a -55 dbm cumpliendo la siguiente cantidad mínima de APs y potencia:

Tabla 22: Resumen de cantidad de APs por piso para las oficinas de Lima

PISO	CANTIDAD APs	POTENCIA MÁX	GANANCIA
17	7	24	3.5
18	9	24	3.5
19	9	24	3.5
20	9	24	3.5
21	9	24	3.5

Fuente: Propia

Asimismo, se calcula un SNR de 45 dbm aproximadamente. Con respecto a la capacidad binaria se puede alcanzar unos 600 Mbps bajo el estándar 802.11n o 1.1 Gbps bajo el estándar 802.11ax. A continuación, las especificaciones que sustentan esta capacidad.

Tabla 23: Tabla de Rendimiento de AP Aruba 575

RF PERFORMANCE TABLE		
Band, rate	**Maximum transmit power (dBm) per transmit chain**	**Receiver sensitivity (dBm) per receive chain**
2.4GHz, 802.11b		
1Mbps	18	-98
11Mbps	18	-89
2.4GHz, 802.11g		
6Mbps	18	-92
54Mbps	16	-75
2.4GHz, 802.11n HT20		
MCS0	18	-92
MCS7	14	-73
2.4GHz, 802.11ax HE20		
MCS0	18	-92
MCS11	10	-64

Fuente: Aruba Network

En la siguiente imagen, se evidencia las capacidades binarias máximas según el estándar utilizado.

Imagen 40: Capacidades binarias soportadas de AP Aruba 575

- Supported data rates (Mbps):
  - 802.11b: 1, 2, 5.5, 11
  - 802.11a/g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
  - 802.11n: 6.5 to 600 (MCS0 to MCS31, HT20 to HT40), 800 with 256-QAM
  - 802.11ac: 6.5 to 1,733 (MCS0 to MCS9, NSS = 1 to 4, VHT20 to VHT160), 2,166 with 1024-QAM
  - 802.11ax (2.4GHz): 3.6 to 1,147 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 4, HE20 to HE40)
  - 802.11ax (5GHz): 3.6 to 4,804 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 8, HE20 to HE160)

Fuente: Aruba

Esto nos permite cumplir con el tercer objetivo. A continuación, el cálculo realizado para 30 usuarios a 10 Mbps.

600 Mbps (CapacidadAP) = 10 Mbps X 30 (N°Videollamadas) X 2 (Envía y recibe)

4.3.DISEÑO DE RED INALÁMBRICA EN UNIDAD MINERA

Para el diseño de la red inalámbrica de acceso en la unidad minera , se utilizará nuevamente los planos proporcionados por la compañía minera, las fórmulas descritas en las recomendaciones de la ITU de potencia recibida y de pérdida en el espacio libre de las ondas microondas, recomendaciones brindadas en la guía oficial de Certified Wireless Network Administrator y regulaciones dada por el ministerio para las frecuencias de 2.4 GHz. Las siguientes tablas muestra las potencias recibidas con equipos para exteriores (outdoors) a 27 dbm a distintas distancias aplicando las fórmulas de propagación utilizadas anteriormente. Asimismo, se resta las atenuaciones por materiales de concreto o metal, que son comunes para APs ubicados en altura para tener una referencia en las atenuaciones; sin embargo, nos concentraremos en la cobertura en el exterior.

PR = POTENCIA TX + GANANCIA TX – PÉRDIDA DE TX – PÉRDIDA ESPACIO + GANANCIA RX – PÉRDIDA DE RX

Fórmula de pérdida en el espacio libre:

$$Lbf = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \text{ dB}$$

Donde las variables se representan como sigue:

f: frecuencia (MHz)

d: distancia (km).

Se consideran los siguientes parámetros:

Tabla 24: Parámetros a considerar

PARÁMETROS	
VARIABLE	VALORES
DISTANCIA (KM)	X
FRECUENCIA (MHZ)	2400
POTENCIA (DBM)	27
GANANCIA DE ANTENA TRANSMISORA (DBI)	5
GANANCIA ANTENA RECEPTORA (DBI)	2
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - TX	0
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - RX	0.5
PÉRDIDAS SUMA DE TX Y RX	0.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Resultados obtenidos a distintos metros

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM
10	60.04	-26.54
20	66.06	-32.56
30	69.59	-36.09
40	72.09	-38.59
50	74.02	-40.52
60	75.61	-42.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Atenuación por concreto

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. CONCRETO	NPR
10	60.04	-26.54	15	-41.54
20	66.06	-32.56	15	-47.56
30	69.59	-36.09	15	-51.09
40	72.09	-38.59	15	-53.59
50	74.02	-40.52	15	-55.52
60	75.61	-42.11	15	-57.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Atenuación por metal

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. METAL	NPR
10	60.04	-26.54	13	-39.54
20	66.06	-32.56	13	-45.56
30	69.59	-36.09	13	-49.09
40	72.09	-38.59	13	-51.59
50	74.02	-40.52	13	-53.52
60	75.61	-42.11	13	-55.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Atenuación por drywall

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. DRYWALL	NPR
10	60.04	-26.54	6	-32.54
20	66.06	-32.56	6	-38.56
30	69.59	-36.09	6	-42.09
40	72.09	-38.59	6	-44.59
50	74.02	-40.52	6	-46.52
60	75.61	-42.11	6	-48.11

Fuente: Elaboración propia

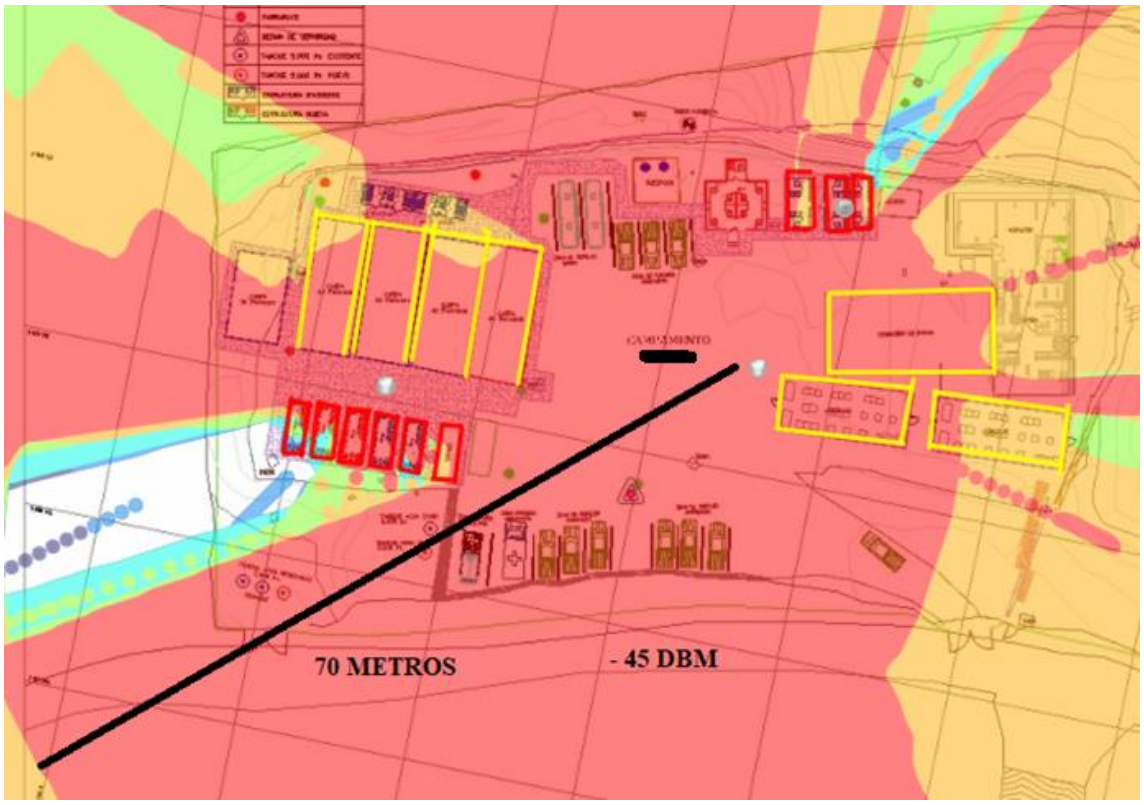
Tabla 29: Atenuación por vidrio

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. VIDRIO	NPR
10	60.04	-26.54	2	-28.54
20	66.06	-32.56	2	-34.56
30	69.59	-36.09	2	-38.09
40	72.09	-38.59	2	-40.59
50	74.02	-40.52	2	-42.52
60	75.61	-42.11	2	-44.11

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se recomienda las siguientes ubicaciones de los puntos de acceso con una altura de 15 metros, ya que los vehículos de carga pesado no superan los diez metros con carga.

Imagen 41: Mapa de calor de dos APs outdoors



Fuenta: Propia

En la anterior imagen, podemos apreciar una señal de -55dbm como mínimo y un SNR calculado mínimo de 35 dbm aproximadamente.

En la imagen anterior con -45 dbm de potencia recibida es posible obtener velocidades de hasta 600 Mbps usando el estándar 802.11n, según datasheet del fabricante y especificaciones del equipo cliente. Esto nos permite cumplir con el tercer objetivo. A continuación, el cálculo realizado para 30 usuarios a 10 Mbps.

600 Mbps (CapacidadAP) = 10 Mbps X 30 (N°Videollamadas) X 2 (Envía y recibe)

Finalmente, se recomienda dos puntos de acceso inalámbrico como mínimo para tener una señal óptima para este plano y sus edificaciones en exterior.

4.4. DISEÑO DE ENLACE MICROONDAS EN LA UNIDAD MINERA

Para el diseño del enlace microondas, se ha considerado la ubicación de los cuartos de comunicaciones actuales del campamento 1 y campamento 2. Asimismo, la frecuencia no licenciada de 60 GHz con un ancho de banda de 2160 MHz de acuerdo con el estándar 802.11 ad, que permite velocidades binarias mayores a 1 Gbps en cortas distancias.

A continuación, las trayectorias de los enlaces desde el Data Center de sistemas a los cuartos de comunicaciones de los campamentos y el diseño por cada enlace microondas.

Imagen 42: Ubicación geográfica de enlaces

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. DISEÑO DEL ENLACE DE SISTEMAS A CAMPAMENTO 1

Se calculará la pérdida en el espacio, la potencia recibida y la zona Fresnel haciendo uso de las recomendaciones brindadas por la ITU, IEEE y restricciones legales. A continuación, las fórmulas de propagación de microondas que ya fueron mencionadas anteriormente en el capítulo anterior, para calcular la potencia recibida y la pérdida en el espacio, según la recomendación UIT-R P.525-3 de la ITU.

POTENCIA RX = POTENCIA TX + GANANCIA TX – PÉRDIDA DE TX – PÉRDIDA ESPACIO + GANANCIA RX – PÉRDIDA DE RX

A continuación, la fórmula de perdida en el espacio libre.

$$Lbf = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \text{ dB}$$

En donde las variables representan:
f: frecuencia (MHz)
d: distancia (km).

Con la imagen anteriormente descrita, se tienen los siguientes parámetros:

Tabla 28: Parámetros de cálculo

PARÁMETROS	
VARIABLE	VALORES
DISTANCIA (KM)	0.19
FRECUENCIA (MHZ)	60000
POTENCIA (DBM)	25
GANANCIA DE ANTENA TRANSMISORA (DBI)	38
GANANCIA ANTENA RECEPTORA (DBI)	38
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - TX	0
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - RX	0
PÉRDIDAS SUMA DE TX Y RX	1

Fuente: Propia

Aplicando la formula anterior, según la recomendación UIT-R P.525-3 de la ITU, se obtiene lo siguiente a distintos metros lo siguiente:

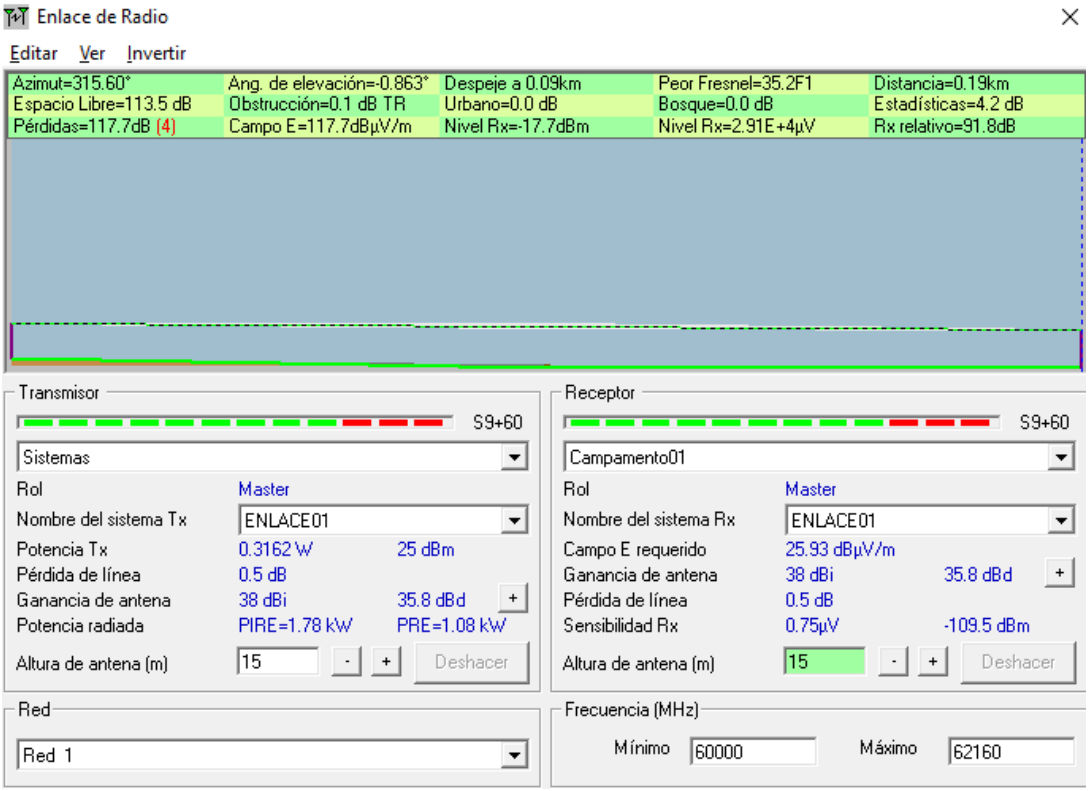
Tabla 29: Resultados del cálculo

RESULTADOS	
POTENCIA RADIADA (PIRE) (DBM)	63
PÉRDIDAS EN EL ESPACIO (LF)(DB)	113.578097
NIVEL DE RECEPCIÓN (NRX) (DBM)	-12.578097

Fuente: Propia

Empleando el software Radio Mobile, se gráfica y calcula lo siguiente:

Imagen 43: Enlace Sistemas a Campamento 01



Fuente: Propia

En la imagen anterior se aprecia que el enlace no tiene obstáculos. Asimismo, la altura de las antenas es de 15 metros del suelo para que permita el paso de vehículos de gran tamaño. El radio de la zona Fresnel es de casi medio metro.

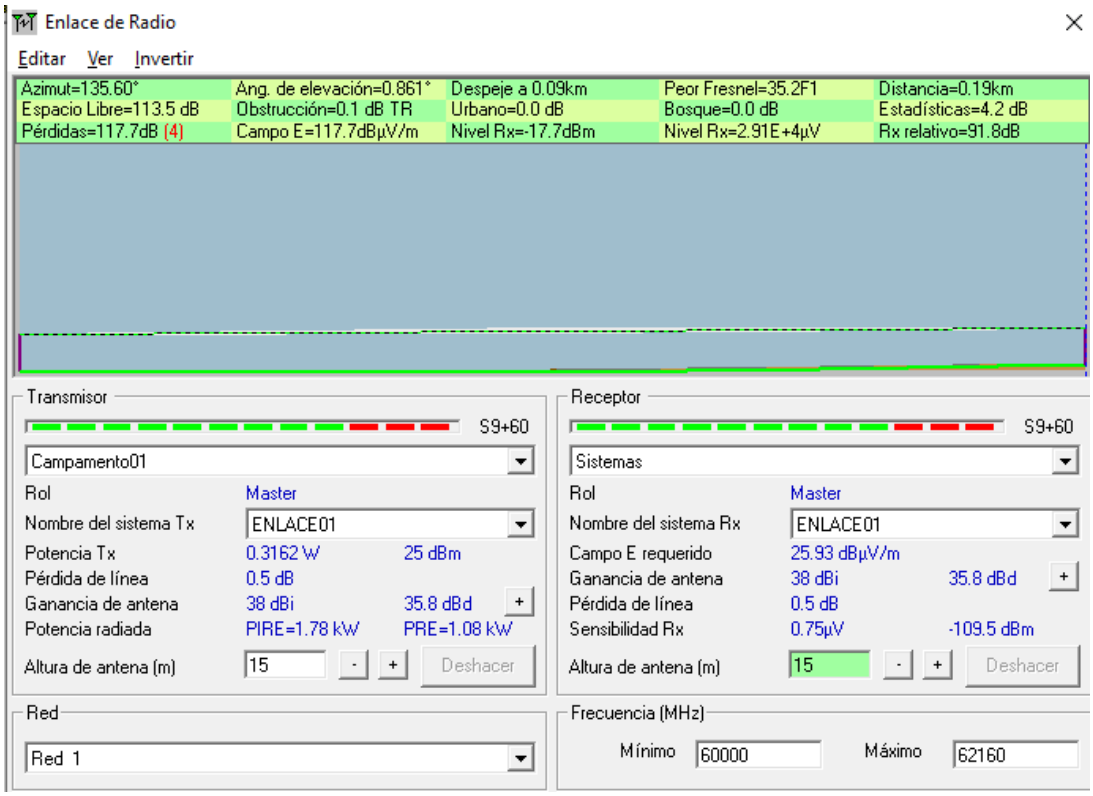
Tabla 30: Cálculo de Fresnel

FRESNEL	
CONSTANTE	17.31
DISTANCIA KM	0.19
FRECUENCIA GHZ	60
RADIO MTRS	0.487044056

Elaboración propia

En la siguiente imagen se invierte la posición del trasmisor con el receptor para visualizar el Azimut y el Angulo de elevación respectivo.

Imagen 44: Enlace Campamento 1 a Sistemas



Fuente: Propia

La capacidad mínima del enlace es de 1 Gbps por segundo. Lo ideal sería 48 Gbps, pero se hace sobresuscripción para reducir costos y se tiene en cuenta que en todo momento no se hace uso del enlace. Esto nos permite cumplir con el segundo objetivo. A continuación, el cálculo realizado para 30 usuarios a 10 Mbps.

600 Mbps (CapacidadAP) = 10 Mbps X 30 (N°Videollamadas) X 2 (Envía y recibe)

Finalmente, se puede implementar dos enlaces para respaldo a más altura y se recomienda usar el equipo Ubiquiti mencionado anteriormente y seguir las recomendaciones de puesta a tierra y protección eléctrica como indica el fabricante y la guía oficial de CWNA. Asimismo, hay despeje de 100% en la primera zona Fresnel.

4.3.2. DISEÑO DEL ENLACE DE SISTEMAS A CAMPAMENTO 2

Para el cálculo del segundo enlace se tienen los siguientes parámetros:

Tabla 31: Parámetros de cálculo para Campamento 2

PARÁMETROS	
VARIABLE	VALORES
DISTANCIA (KM)	0.2
FRECUENCIA (MHZ)	60000
POTENCIA (DBM)	25
GANANCIA DE ANTENA TRANSMISORA (DBI)	38
GANANCIA ANTENA RECEPTORA (DBI)	38
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - TX	0
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - RX	0
PÉRDIDAS SUMA DE TX Y RX	0

Fuente: Propia

Obteniéndose, los siguientes niveles de pérdidas en el espacio y potencia recibida.

Tabla 32: Resultados del Nivel de Recepción

RESULTADOS	
POTENCIA RADIADA (PIRE) (DBM)	63
PÉRDIDAS EN EL ESPACIO (LF)(DB)	114.023625
NIVEL DE RECEPCIÓN (NRX) (DBM)	-13.023625

Fuente: Propia

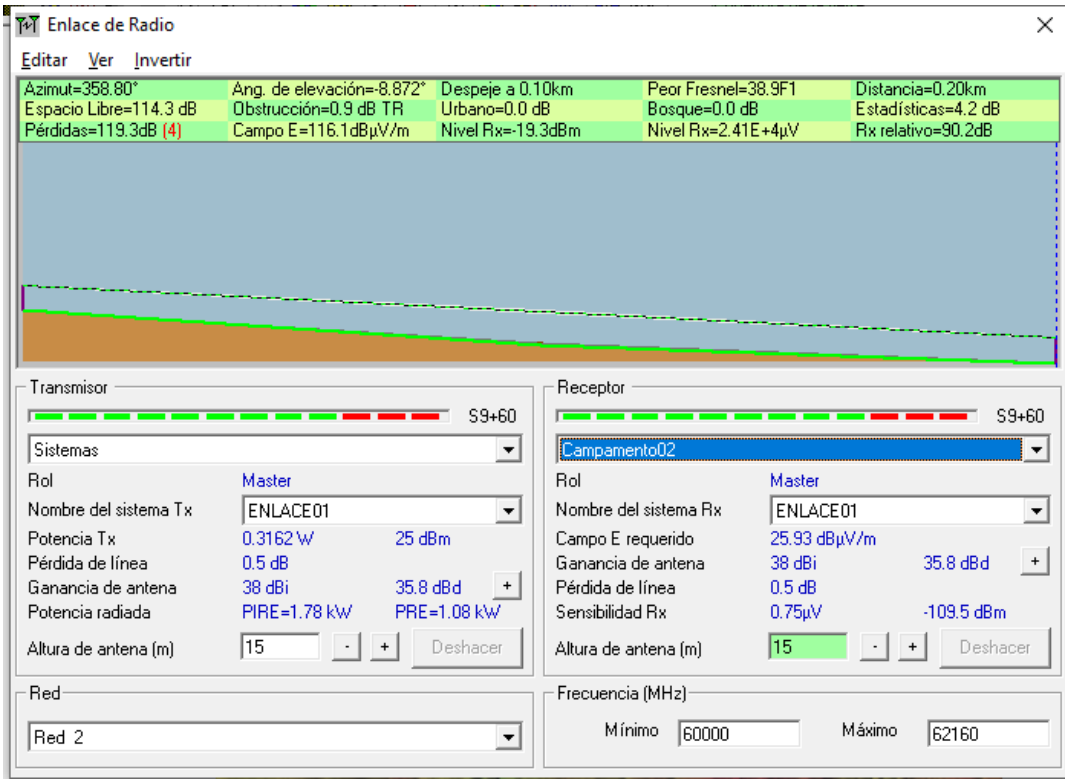
Tabla 33: Resultados de la Evaluación de Fresnel

FRESNEL	
CONSTANTE	17.31
DISTANCIA KM	0.2
FRECUENCIA GHZ	60
RADIO MTRS	0.499696658

Fuente: Propia

Se realiza el perfil en RadioMobile, obteniéndose lo siguiente:

Imagen 45: Enlace Sistemas a Campamento 02



Fuente: Propia

En la imagen anterior se visualiza un Azimut de 358.80° y un ángulo de elevación de -8.872° en la antena del área de Sistemas. En la siguiente imagen se invierte las antenas y se obtiene un Azimut de 178.80° y un ángulo de elevación de 8.870° en la antena del Campamento 1.

Imagen 46: Enlace Campamento 02 a Sistemas

Fuente: Propia

Igualmente, se necesita que las antenas estén a una altura de alrededor de 15 metros para que no haya ningún tipo de inconveniente y seguir las recomendaciones indicadas en la guía Oficial de CWNA que recalca calcular el enlace y la zona Fresnel.

Finalmente, se verifica que hay equipos en el mercado con estas especificaciones como el de la marca Ubiquiti modelo AirFiber 60 que soportan casi 2 Gbps de velocidad binaria el cual se recomienda para distancias cortas. Esto nos permite cumplir con el tercer objetivo. A continuación, el cálculo realizado para 30 usuarios a 10 Mbps.

600 Mbps (CapacidadAP) = 10 Mbps X 30 (N°Videollamadas) X 2 (Envía y recibe)

A continuación, algunas especificaciones de tamaño y peso del producto recomendado:

Tabla 34: Especificaciones Ubiquiti AirFiber 60

Dimensiones	4.13 x 4.13 x 3.20 metros
Peso	
Without Mount	1.4 kg (3.09 lb)
With Mount	1.8 kg (3.97 lb)

Fuente: Ubiquiti

Este equipo soporta condiciones extremas de calor, frío, humedad y vientos de hasta 200 Km/h.

CAPÍTULO 5: PRUEBAS, RESULTADOS Y VALIDACIÓN

A continuación, las pruebas, resultados y validaciones realizadas de manera rigurosa acerca de los objetivos específicos, de acuerdo con los indicadores de logro y sus métricas. Si bien la mejor forma de evaluar un diseño de este tipo por completo, es probarla una vez implementada, este diseño se puede evaluar realizando una prueba de concepto o comprobando nuevamente los cálculos realizados con el uso de las fórmulas de propagación en este caso. Asimismo, apoyándonos con otras herramientas de diseño, mejores prácticas de la industria y documentación de los fabricantes. En nuestro caso, para el diseño, hemos utilizado el software gratuito Aruba Visual RF; sin embargo, podemos utilizar Ekahau en su versión gratuita para comparar los resultados obtenidos entre los dos softwares.

5.1. CUMPLIMIENTO DEL DISEÑO DE COBERTURA DE LA RED MESH DE TRANSPORTE PARA LA OFICINA DE LIMA

Para evaluar este objetivo, que contiene 3 subobjetivos, hay que empezar teniendo en cuenta que el material más atenuante en el medio en el que estamos haciendo el diseño es el drywall, por ser una oficina moderna. Las paredes de concreto solo bordean el área en donde laboran los usuarios. El drywal, tiene una atenuación alrededor de 5 dbm según las herramientas empleadas y diseños de referencia de fabricantes, por lo cual no provoca mucha pérdida de señal de los puntos de acceso inalámbrico. A continuación, validaremos los cálculos nuevamente por cada punto de acceso inalámbrico (AP) en el piso 17. Luego, validando este primer subobjetivo, validaremos el SNR para luego validar el último subobjetivo que consiste en el cálculo de la capacidad binaria. A continuación, el cálculo

de las potencias recibidas a ciertas distancias detrás de una pared de drywall que se calculó anteriormente.

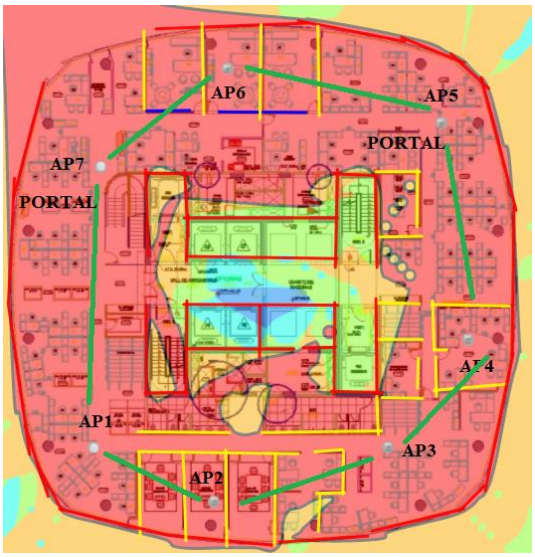
Tabla 35: Cálculo de potencia recibida a través de drywall

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. DRYWALL	NPR
10	66.84	-32.84	6	-38.84
20	72.86	-38.86	6	-44.86
30	76.39	-42.39	6	-48.39
40	78.88	-44.88	6	-50.88
50	80.82	-46.82	6	-52.82
60	82.41	-48.41	6	-54.41

Fuente: Propia

A continuación, el mapa de calor realizado anteriormente en donde se aprecia que casi el 100 % del área estudiada tiene cobertura de alrededor de -45 dbm.

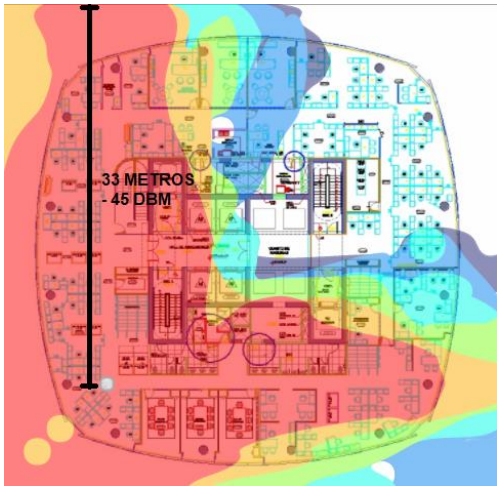
Imagen 47: Diseño mesh del Piso 30



Fuente: Propia

A continuación, comparamos lo calculado mediante fórmulas con el mapa de calor. Verificamos que a 33 metros tenemos -45 dbm aproximadamente. La zona roja indica -45 dbm con respecto al AP1 y al AP 3. Asimismo, lo comparamos con lo calculado en la herramienta Ekahau, en donde podemos apreciar la similitud entre las herramientas.

Imagen 48: Mapa de calor de AP1 en Aruba Visual RF



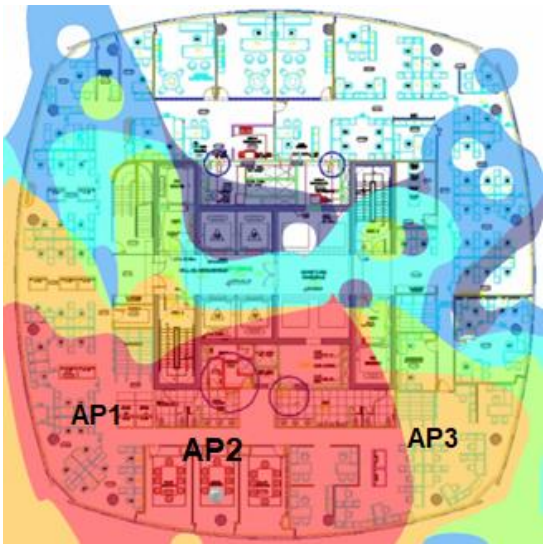
Fuente: Propia

Imagen 49: Mapa de calor de AP1 en Ekahau

Fuente: Propia

En la siguiente imagen, analizamos la cobertura del AP 2, ubicado en la parte inferior adyacente al primer AP 1 analizado anteriormente. La zona roja indica – 45 dbm con respecto al AP1 y -55 dbm de color naranja con respecto al AP 3.

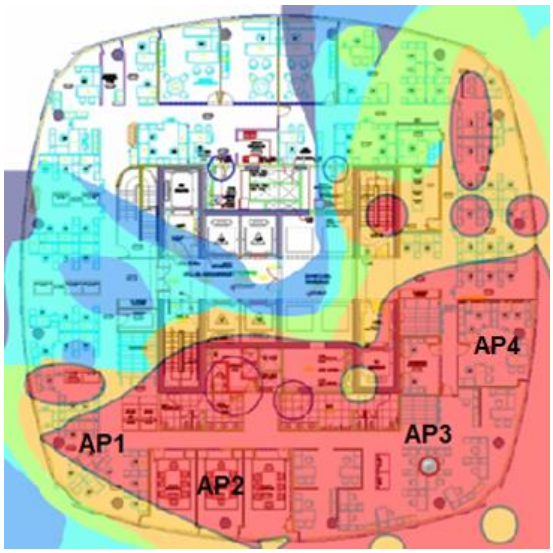
Imagen 50: Verificación de cobertura de AP 2 en Mesh, 5 GHZ



Fuente: Propia

Se verifica en la siguiente imagen, que el AP 3 con respecto al AP 2, llega con una potencia de -45 dbm. Con respecto al AP 4, hay una señal de hasta -55 dbm en naranja.

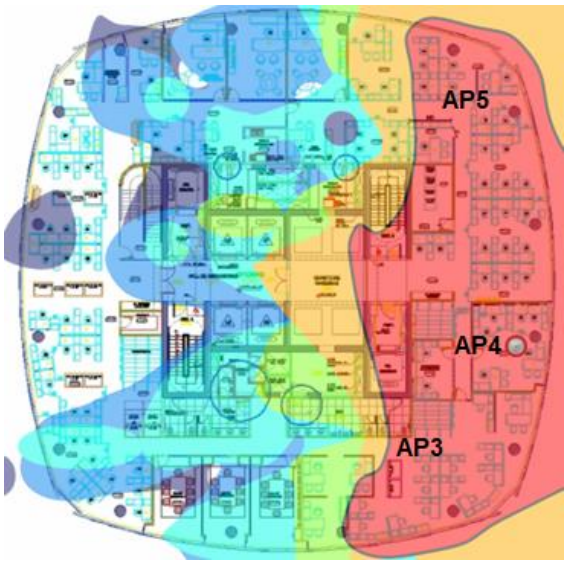
Imagen 51: Cobertura de AP 3



Fuente: Propia

En la siguiente imagen se aprecia al AP 4 en medio de una oficina con Drywalls, permite llegar con buena potencia a los APs adyacentes, con hasta -45 dbm representados de color rojo.

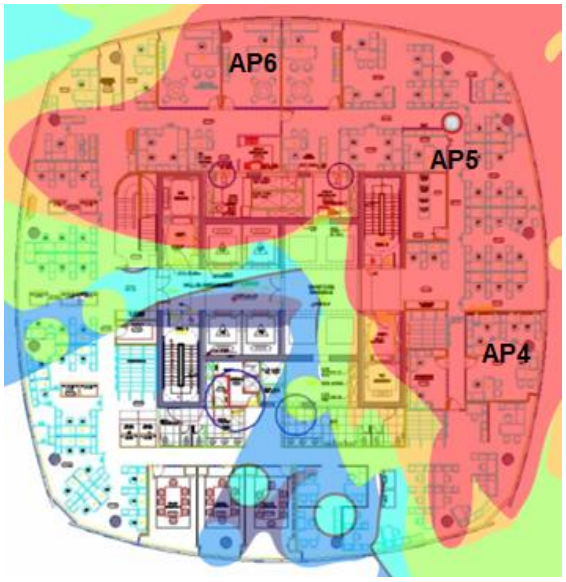
Imagen 52: Cobertura AP 4



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, se visualiza la cobertura del AP5, que llega con buena cobertura al AP 4 y al AP6, de alrededor de -45 dbm.

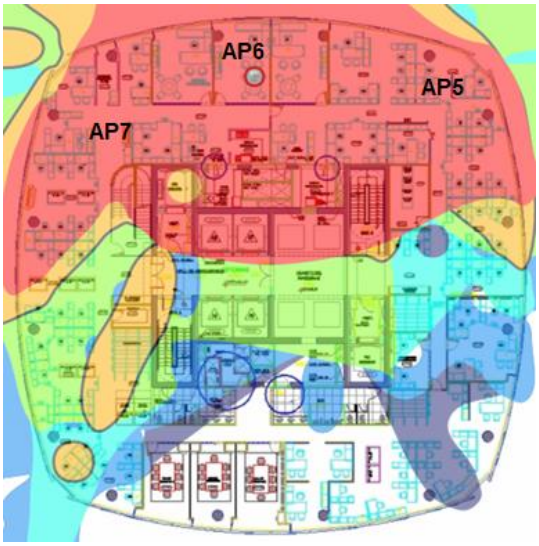
Imagen 53: Cobertura AP 5



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, se verifica que el AP 6 cuenta con buena cobertura, de -45 dbm en color rojo, con respecto al AP 5 y el AP7.

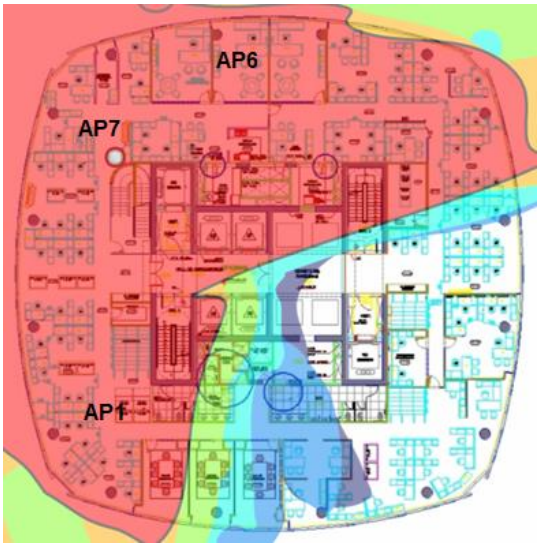
Imagen 54: Cobertura de AP 6



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, se verifica que el AP 7 cuenta con buena cobertura con respecto al AP 6 y el AP1, con hasta -45 dbm, representado de color ROJO.

Imagen 55: Cobertura de AP 7



Fuente: Propia

Con las imágenes anteriores, podemos evidenciar que cada AP tiene buen alcance con su AP vecino con que lo resumimos en el siguiente cuadro.

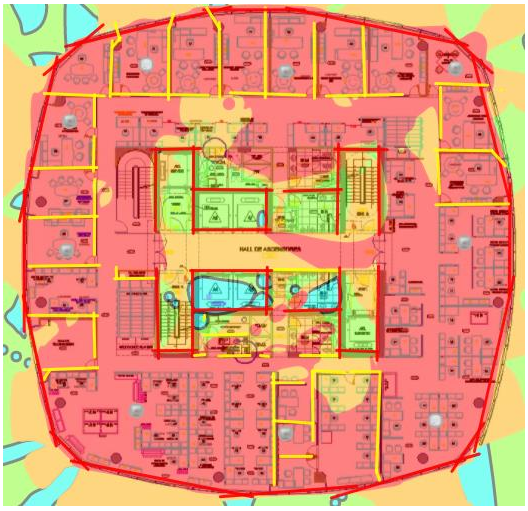
Tabla 36: Cálculo de RRSI a cada AP

AP	1	2	3	4	5	6	7
1	NA	-45	-45	NA	NA	NA	-45
2	-45	NA	-55	NA	NA	NA	NA
3	-45	-45	NA	-45	NA	NA	NA
4	NA	NA	-45	NA	-45	NA	NA
5	NA	NA	NA	-45	NA	-45	NA
6	NA	NA	NA	NA	-45	NA	-45
7	-45	NA	NA	NA	NA	-45	NA

Fuente: Propia

Con el cuadro anterior podemos asegurar para el piso 30 que se cumple con el primer objetivo al tener un RSSI de -55 dbm como mínimo. A continuación, verificamos los mapas de calor de los siguientes pisos. En el piso 31, se puede apreciar en color rojo, el RSSI de -45 dbm otorgado por al menos un AP.

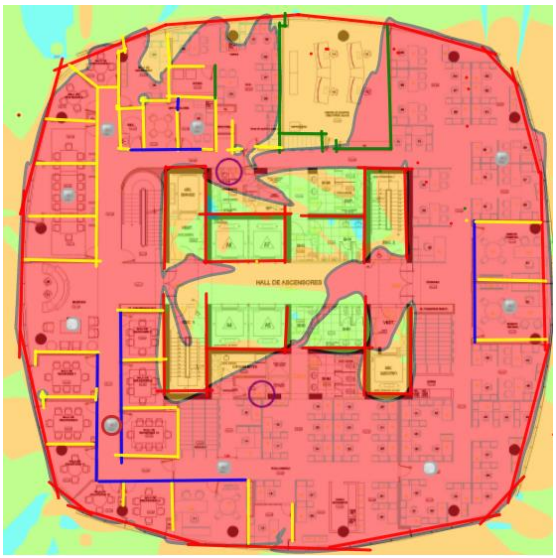
Imagen 56: Cobertura de Piso 31 en Mesh, 5 Ghz



Fuente: Propia

A continuación, el mapa de calor del piso 32, con 9 puntos de acceso en modo mesh.

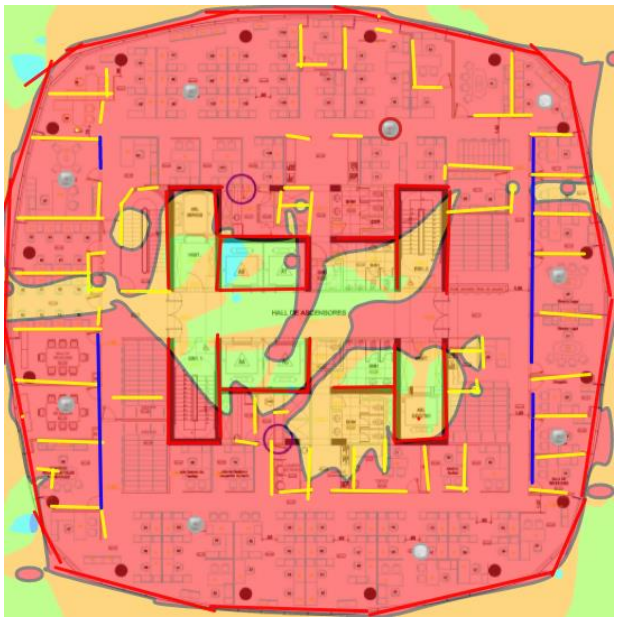
Imagen 57: Cobertura de Piso 32



Fuente: Propia

En la siguiente imagen, el piso 33 cuenta con 9 APs, con buena cobertura de hasta -55 dbm.

Imagen 58: Cobertura Piso 33



Fuente: Propia

En conclusión, con las imágenes anteriores podemos evidenciar el cumplimiento del primer objetivo al tener buena cobertura entre APs vecinos.

Con respecto al segundo objetivo, la relación señal a ruido (SNR), es como mínimo de 35 dbm en el 100% de los escenarios, ya que tenemos una potencia recibida de al menos -55 dbm, según los cálculos anteriores y un ruido de fondo de alrededor de -90 dbm. De esta manera se cumple con recomendaciones otorgadas por Certified Wireless Network Administrator Study Guide. A continuación, la fórmula con la que se realiza la validación.

SNR = POTENCIA DE SEÑAL TRANSMITIDA – RUIDO DEL AMBIENTE

Con respecto al tercer objetivo, con los RSSIs evidenciados, se puede alcanzar 4.8 Gbps en la frecuencia de 5 GHz. Esto se puede alcanzar con -53 dbm de RSSI que nos permite la modulación MCS11 usando el estándar 802.11ax, según las dos siguientes imágenes.

Imagen 59: Modulación por RSSI

RF PERFORMANCE TABLE		
Band, rate	**Maximum transmit power (dBm) per transmit chain**	**Receiver sensitivity (dBm) per receive chain**
5GHz, 802.11ax HE20		
MCS0	18	-91
MCS11	10	-62
5GHz, 802.11ax HE40		
MCS0	18	-88
MCS11	10	-58
5GHz, 802.11ax HE80		
MCS0	18	-85
MCS11	10	-56
5GHz, 802.11ax HE160		
MCS0	18	-82
MCS11	10	-53

Fuente: Aruba Network

Con la modulación MCS11 y el estándar IEEE 802.11ax se puede alcanzar la velocidad de 4,8 Ghz, según las especificaciones de este fabricante, evidenciado en la siguiente imagen.

Imagen 60: Velocidad según modulación y estándar

- Supported data rates (Mbps):
  - 802.11b: 1, 2, 5.5, 11
  - 802.11a/g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
  - 802.11n: 6.5 to 600 (MCS0 to MCS31, HT20 to HT40), 800 with 256-QAM
  - 802.11ac: 6.5 to 1,733 (MCS0 to MCS9, NSS = 1 to 4, VHT20 to VHT160), 2,166 with 1024-QAM
  - 802.11ax (2.4GHz): 3.6 to 1,147 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 4, HE20 to HE40)
  - 802.11ax (5GHz): 3.6 to 4,804 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 8, HE20 to HE160)

Fuente: Aruba VRD

A continuación, verificamos que para 30 videollamadas concurrentes en punto de acceso inalámbrico a 10 Mbps se necesita como mínimo 600 Mbps si las transferencias son de ida y vuelta. Por lo que concluimos que hacemos uso del 12.5 % de la capacidad de los puntos de acceso para transmitir tráfico, utilizando el estándar 802.11ax, que nos permite 4,8 Ghz. A continuación, el cálculo realizado.

600 Mbps (CapacidadAP) = 10 Mbps X 30 (N°Videollamadas) X 2 (Envía y recibe)

A continuación, una tabla con el resumen de los objetivos cumplidos.

Tabla 37: Resumen de objetivos cumplidos

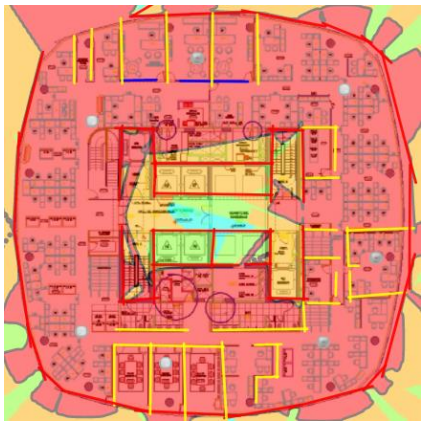
OBJETIVOS ESPECIFICOS	INDICADORES	MÉTRICA	CUMPLIMIENTO
Diseñar la red mesh inalámbrica para transportar los datos de los usuarios de la oficina de Lima, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el LBF, RSSI, SNR y capacidad binaria según las recomendaciones de la ITU para la banda de 5 GHz	· Calcular el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI). Este debe ser mayor a -65 dbm	· dbm	100%
	· Calcular la relación señal a ruido (SNR). Este no debe bajar de 25 db	· db	100%
	· Calcular la capacidad binaria (MBPS). De al menos 10 Mbps	· mbps	100%

Fuente: Propia

5.2. CUMPLIMIENTO DEL DISEÑO DE COBERTURA DE LA RED INALÁMBRICA PARA USUARIOS DE LA OFICINA DE LIMA

Con respecto al primer subobjetivo, se validará el mapa de calor del piso 30 con los puntos de acceso en distintas ubicaciones.

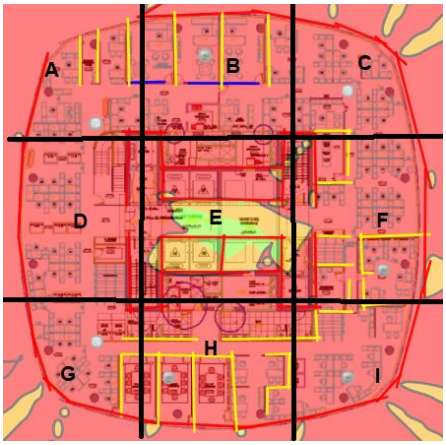
Imagen 61: Mapa de Calor Piso 30



Fuente: Propia

A continuación, el piso 30 se ha dividido en nueve sectores.

Imagen 62: Sectorización del mapa de calor del piso 30



Fuente: Propia

A continuación, una tabla resumen con el porcentaje aproximado del área cubierta con el nivel de recepción alcanzado.

Tabla 38: Porcentaje de potencia

SECTOR	DESCRIPCIÓN	PUNTOS DE ACCESOS	NIVEL DE RECEPCION	% DE CUMPLIMIENTO MAYOR A -45 DBM
A	CUBICULOS	1	MAYOR A -45 DBM	100
B	OFICINAS	1	MAYOR A -45 DBM	100
C	CUBICULOS	1	MAYOR A -45 DBM	100
D	CUBICULOS	0	MAYOR A -45 DBM	100
E	ASCENSORES	0	NO SE CONSIDERA	NSC
F	OFICINAS	1	MAYOR A -45 DBM	100
G	CUBICULOS	1	MAYOR A -45 DBM	100
H	OFICINAS	1	MAYOR A -45 DBM	100
I	CUBICULOS	1	MAYOR A -45 DBM	100

Fuente: Elaboración propia

Se concluye que la mayor parte del piso se encuentra con potencia alrededor de -45 dbm, lo cual indica que el diseño para este piso es competente para obtener buena calidad de señal en la banda de 2.4 GHz. Se recomienda, que ante cualquier cambio de posiciones de las antenas se evalúe nuevamente los cambios de cobertura ante posibles atenuaciones.

Con respecto al segundo objetivo, la relación señal a ruido (SNR), es como máximo de 45 dbm en el 100% de los escenarios, ya que tenemos una potencia recibida de al menos -45 dbm, según los cálculos anteriores y un ruido de fondo de alrededor de -90 dbm,

podemos obtener un SNR de 45 dbm, cumpliendo con recomendaciones otorgadas por Certified Wireless Network Administrator Study Guide, la cual recomiendan 25 db para redes de voz como mínimo. A continuación, la fórmula empleada.

SNR = POTENCIA DE SEÑAL TRANSMITIDA – RUIDO DEL AMBIENTE

Con respecto al tercer subjetivo, en la siguiente imagen, comprobamos que en la frecuencia de 2.4 Ghz se tienen dos estándares para utilizar, 802.11n y 802.11ax. Con el estándar 802.11n y nivel de recepción de -73 dbm se puede utilizar la modulación MCS7 que nos permite 600 Mbps como máximo de capacidad binaria. Con el estándar 802.11ax la capacidad aumenta a 1.1 Ghz, pero este estándar es menos utilizado.

Imagen 63: Tabla de Rendimiento de AP Aruba 575

RF PERFORMANCE TABLE		
Band, rate	**Maximum transmit power (dBm) per transmit chain**	**Receiver sensitivity (dBm) per receive chain**
2.4GHz, 802.11b		
1Mbps	18	-98
11Mbps	18	-89
2.4GHz, 802.11g		
6Mbps	18	-92
54Mbps	16	-75
2.4GHz, 802.11n HT20		
MCS0	18	-92
MCS7	14	-73
2.4GHz, 802.11ax HE20		
MCS0	18	-92
MCS11	10	-64

Fuente: Aruba Network

En la siguiente imagen, se evidencia las capacidades binarias máximas según el estándar utilizado.

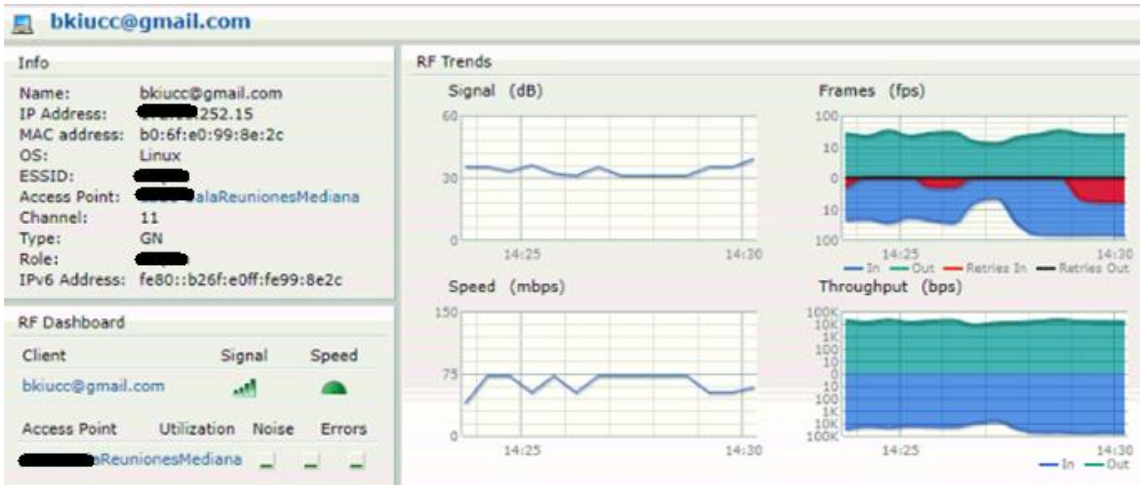
Imagen 64: Capacidades binarias soportadas de AP Aruba 575

- Supported data rates (Mbps):
  - 802.11b: 1, 2, 5.5, 11
  - 802.11a/g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
  - 802.11n: 6.5 to 600 (MCS0 to MCS31, HT20 to HT40), 800 with 256-QAM
  - 802.11ac: 6.5 to 1,733 (MCS0 to MCS9, NSS = 1 to 4, VHT20 to VHT160), 2,166 with 1024-QAM
  - 802.11ax (2.4GHz): 3.6 to 1,147 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 4, HE20 to HE40)
  - 802.11ax (5GHz): 3.6 to 4,804 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 8, HE20 to HE160)

Fuente: Aruba

Asimismo, se prueba la velocidad con un equipo móvil de baja gama, a 2.4Ghz, haciendo uso de videollamada y se logra una velocidad máxima de 75 Mbps.

Imagen 65: Prueba de velocidad



Fuente: Propia

En el siguiente cuadro, vemos los subobjetivos con el nivel de cumplimiento.

Tabla 39: Resumen de objetivos cumplidos

OBJETIVOS ESPECIFICOS	INDICADORES	MÉTRICA	CUMPLIMIENTO
Diseñar la red acceso inalámbrica para los usuarios de la oficina de Lima, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el RSSI, LBF y velocidad binaria según las recomendaciones de la ITU para la banda de 2.4 GHz	· Calcular el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI). Este debe ser mayor a -65 dbm	· dbm	100%
	· Calcular la relación señal a ruido (SNR). Este no debe bajar de 25 db	· db	100%
	· Calcular la capacidad binaria (MBPS). De al menos 10 Mbps	· mbps	100%

Fuente: Propia

5.3. CUMPLIMIENTO DEL DISEÑO DE COBERTURA DE LA RED INALÁMBRICA PARA LA UNIDAD MINERA

Según lo desarrollado en el capítulo 4, se verifica que hay cobertura mayor a -45dbm. A continuación, se vuelve a mostrar el mapa de calor, pero se recalca que no se está tomando en cuenta la altura de 15 metros de los APs, que superan a los 3 metros de altura de las edificaciones. Sin embargo, se verifica que llega con buena señal al interior de las edificaciones en un plano horizontal y la altura no afecta al sistema utilizando el Teorema de Pitágoras.

$$HIPOTENUSA^2 = ALTURA^2 + HORIZONTAL^2$$

Reemplazando la altura por 15 metros y la horizontal por 70 metros nos da 71.59 metros. Con lo cual evidenciamos que no hay mucha diferencia en el alcance de la señal.

Imagen 66: Mapa de calor de dos APs outdoors

Fuente: Propia

A continuación, se vuelven a verificar los cálculos realizados para concreto (15 db de atenuación) y drywall (6 db de atenuación).

Tabla 40: Potencias recibidas a través de concreto en 2.4Ghz

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. CONCRETO	NPR
10	60.04	-26.54	15	-41.54
20	66.06	-32.56	15	-47.56
30	69.59	-36.09	15	-51.09
40	72.09	-38.59	15	-53.59
50	74.02	-40.52	15	-55.52
60	75.61	-42.11	15	-57.11

Fuente: Propia

Tabla 41: Potencias recibidas a través de drywall en 2.4Ghz

METROS	PÉRDIDA DBM	POTENCIA RX DBM	ATENUAC. DRYWALL	NPR
10	60.04	-26.54	6	-32.54
20	66.06	-32.56	6	-38.56
30	69.59	-36.09	6	-42.09
40	72.09	-38.59	6	-44.59
50	74.02	-40.52	6	-46.52
60	75.61	-42.11	6	-48.11

Fuente: Propia

Con el cual verificamos, que el alcance de señal con dos APs, es suficiente para cumplir con el primer subojetivo, alcanzando -55 dbm como mínimo.

Con respecto al segundo objetivo, la relación señal a ruido (SNR), es como mínimo de 35 dbm en el 100% de los escenarios, ya que tenemos una potencia recibida de al menos -55 dbm, según los cálculos anteriores y un ruido de fondo de alrededor de -90 dbm, cumpliendo con recomendaciones otorgadas por Certified Wireless Network Administrator Study Guide, la cual recomiendan 25 db para redes de voz.

SNR = POTENCIA DE SEÑAL TRANSMITIDA – RUIDO DEL AMBIENTE

Con respecto al tercer subobjetivo, comprobamos con las siguientes imágenes que tenemos en la frecuencia de 2.4 Ghz, capacidades binarias máximas de 600 Mbps. Esto es posible con el estándar 802.11n y nivel de recepción de -72 dbm, al utilizar la modulación MCS8 que nos permite 600 Mbps.

Imagen 67: Tabla de rendimiento de AP Aruba 575 en 2.4Ghz

RF PERFORMANCE TABLE		
	Maximum transmit power (dBm) per transmit chain	Receiver sensitivity (dBm) per receive chain
2.4GHz, 802.11b		
1 Mbps	22	-97
11 Mbps	22	-89
2.4GHz, 802.11g		
6 Mbps	22	-94
54 Mbps	20	-76
2.4GHz, 802.11n/ac HT20		
MCS0	22	-93
MCS8	19	-72
2.4GHz, 802.11ax HE20		
MCS0	22	-93
MCS11	17	-62

Fuente: Aruba

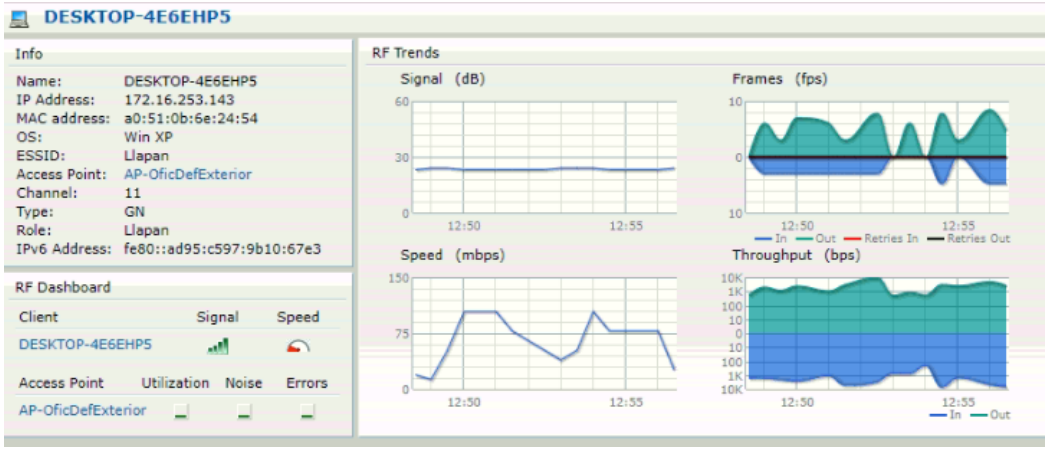
Imagen 68: Capacidad binanria de AP Aruba 575 en 2.4Ghz

- Supported data rates (Mbps):
  - 802.11b: 1, 2, 5.5, 11
  - 802.11a/g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
  - 802.11n (2.4GHz): 6.5 to 300 (MCS0 to MCS15, HT20 to HT40)
  - 802.11n (5GHz): 6.5 to 600 (MCS0 to MCS31, HT20 to HT40)
  - 802.11ac: (5 GHz): 6.5 to 3,467 (MCS0 to MCS9, NSS = 1 to 4 for VHT20 to VHT160)
  - 802.11ax (2.4GHz): 8.6 to 574 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 2, HE20 to HE40)
  - 802.11ax (5GHz): 8.6 to 4803 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 4, HE20 to HE160)

Fuente: Aruba

A continuación, la prueba con un cliente móvil, en donde visualizamos velocidades máximas alrededor de 70 Mbps.

Imagen 69: Prueba con cliente



Fuente: Propia

A continuación, resumen del cumplimiento de objetivos:

Tabla 42: Resumen de objetivos cumplidos

OBJETIVOS ESPECIFICOS	INDICADORES	MÉTRICA	CUMPLIMIENTO
Diseñar la red acceso inalámbrica para exterior para los usuarios de la unidad minera, aplicando las normas, recomendaciones y fórmulas de propagación de señales electromagnéticas, calculando el RSSI, LBF y velocidad binaria según las recomendaciones de la ITU para la banda de 2.4 GHz	· Calcular el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI). Este debe ser mayor a -65 dbm	· dbm	100%
	· Calcular la relación señal a ruido (SNR). Este no debe bajar de 25 db	· db	100%
	· Calcular la capacidad binaria (MBPS). De al menos 10 Mbps	· mbps	100%

Fuente: Propia

5.4. CUMPLIMIENTO DEL DISEÑO DE ENLACES DE LA UNIDAD MINERA

Si bien ya se tuvo un diseño propuesto en el capítulo anterior y se calculó la pérdida en el espacio, la potencia recibida y otros valores, es necesario validar nuestro enlace microondas, haciendo uso de las recomendaciones brindadas por la ITU, estándares de la IEEE y teniendo en cuenta las regulaciones locales en el uso de frecuencias. A continuación, haremos un repaso de los cálculos y perfiles realizados y evaluaremos la exactitud del diseño propuesto.

5.4.1. CUMPLIMIENTO DEL ENLACE DE SISTEMAS A CAMPAMENTO 01

A continuación, los datos básicos para el cálculo de la pérdida en el espacio y la potencia recibida. Asimismo, al no haber restricciones en la banda de 60GHz, se hace uso máximo de la potencia del equipo.

Tabla 43: Parámetros de cálculo para Campamento 1

VARIABLE	VALORES
DISTANCIA (KM)	0.19
FRECUENCIA (MHZ)	60000
POTENCIA (DBM)	25
GANANCIA DE ANTENA TRANSMISORA (DBI)	38
GANANCIA ANTENA RECEPTORA (DBI)	38
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - TX	0
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - RX	0
PÉRDIDAS SUMA DE TX Y RX	0

Fuente: Especificaciones del equipo Ubiquiti

A continuación, restricciones tomadas del Plan Nacional de Atribuciones de Frecuencias, PNAF, página 59, en donde se verifica que no hay restricción alguna.

Imagen 70: Notas y observaciones para la frecuencia de 60 Ghz.

GHz
50,4 - 400

REGION 2	PERU	
	ATRIBUCION	NOTAS Y OBSERVACIONES
50,4 - 51,4 FIJO FIJO POR SATELITE(Tierra-espacio) MOVIL Móvil por satélite (Tierra-espacio)	**50,4 - 51,4** FIJO FIJO POR SATELITE(Tierra-espacio) MOVIL Móvil por satélite (Tierra-espacio)	
51,4 - 54,25 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo) INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)	**51,4 - 54,25** EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo) INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)	
54,25 - 58,2 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE(pasivo) FIJO ENTRE SATELITES MOVIL INVESTIGACION ESPACIAL(pasivo)	**54,25 - 58,2** FIJO Exploración de la Tierra por satélite (pasivo) Entre satélites Móvil Investigación espacial (pasivo)	
58,2 - 59 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE(pasivo) INVESTIGACION ESPACIAL(pasivo)	**58,2 - 59** EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE(pasivo) INVESTIGACION ESPACIAL(pasivo)	
59 - 64 FIJO ENTRE SATELITES MOVIL RADIOLOCALIZACION	**59 – 64** FIJO ENTRE SATELITES MOVIL RADIOLOCALIZACION	

Fuente: PNAF 2008

A continuación, nuevamente los resultados obtenidos empleando las fórmulas de propagación en donde se puede apreciar que la pérdida en el espacio es de 114 dbm aproximadamente y la potencia recibida es de -12.58 dbm aproximadamente.

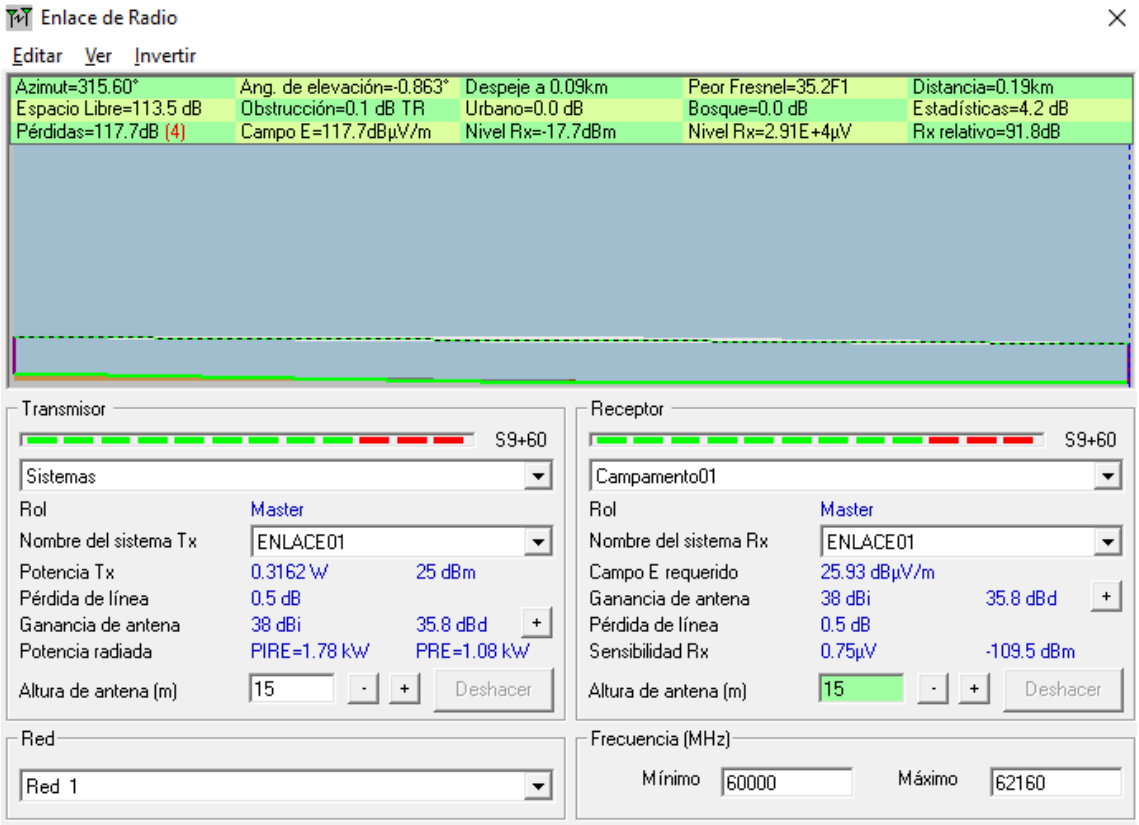
Tabla 44: Resultados

RESULTADOS	
POTENCIA RADIADA (PIRE) (DBM)	63
PÉRDIDAS EN EL ESPACIO (LF)(DB)	113.58
NIVEL DE RECEPCIÓN (NRX) (DBM)	-12.58

Fuente: Propia

A continuación, la línea de vista obtenido a través de Radio Mobile con los siguientes datos obtenidos: azimut de 358.80 grados, ángulo de elevación de -8.872 grados, nivel de recepción de -19.3 dbm y pérdida de 114.3 dbm

Imagen 71: Perfil de propagación de enlace a Campamento 01



Fuente: Propia

En la siguiente tabla, comparamos ambos resultados de pérdida y potencia, entre utilizar la fórmula de propagación y el uso de Radio Mobile, con los mismos parámetros de entrada:

Tabla 45: Comparación de resultados

PARÁMETRO	FÓRMULA PROPAGACIÓN	RADIO MOBILE	DIRERENCIA
PÉRDIDA EN EL ESPACIO	113.58	117.7	4.12
POTENCIA RECIBIDA	-12.58	-17.7	5.12

Fuente: Propia

Como vemos en el anterior cuadro, las diferencias calculadas entre el cálculo teórico y usando la herramienta de perfilamiento, Radio Mobile, es mínima, de alrededor de 4 decibelios en pérdida en el espacio y de alrededor de 5 decibelios en potencia recibida. Está diferencia es debido a que la herramienta añade otras variables ambientales más a la ecuación.

Con respecto al segundo subobjetivo, es necesario 600 Mbps como mínimo para 30 usuarios concurrentes enviando y recibiendo información. Nuestro equipo permite hasta 1 Gbps, cumpliendo el objetivo, lo cual comprobamos con la siguiente operación

600 Mbps (CapacidadAP) = 10 Mbps X 30 (N°Videollamadas) X 2 (Envía y recibe)

5.4.2. CUMPLIMIENTO DEL ENLACE DE SISTEMAS A CAMPAMENTO 02

A continuación, los datos básicos para el cálculo de la pérdida en el espacio y la potencia recibida. Asimismo, al no haber restricciones en la banda de 60GHz, se hace uso máximo de la potencia del equipo.

Tabla 46: Parámetros de cálculo para Campamento 2

PARÁMETROS	
VARIABLE	VALORES
DISTANCIA (KM)	0.2
FRECUENCIA (MHZ)	60000
POTENCIA (DBM)	25
GANANCIA DE ANTENA TRANSMISORA (DBI)	38
GANANCIA ANTENA RECEPTORA (DBI)	38
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - TX	0
PÉRDIDAS DEL CABLE Y CONECT. (DB) - RX	0
PÉRDIDAS SUMA DE TX Y RX	0

Fuente: Propia

A continuación, nuevamente los resultados obtenidos empleando las fórmulas de propagación en donde se puede apreciar que la pérdida en el espacio es de 114 dbm aproximadamente y la potencia recibida es de -13 dbm aproximadamente.

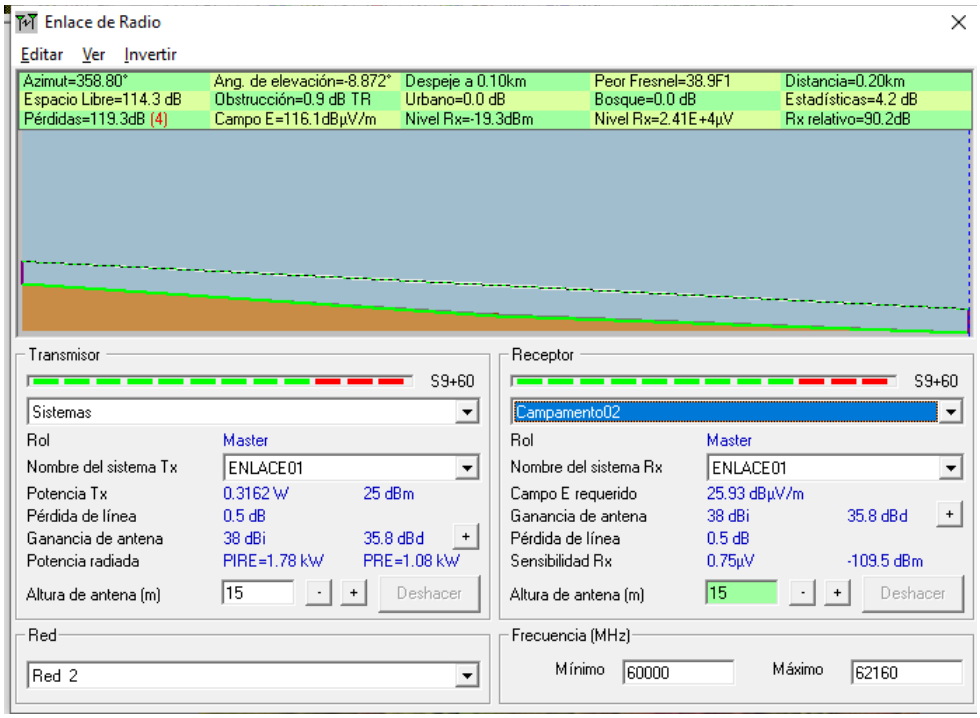
Tabla 47: Resultados

RESULTADOS	
POTENCIA RADIADA (PIRE) (DBM)	29
PÉRDIDAS EN EL ESPACIO (LF)(DB)	114.023625
POTENCIA RECIBIDA (PRX) (DBM)	-13.023625

Fuente: Propia

A continuación, la línea de vista obtenido a través de Radio Mobile con los siguientes datos obtenidos: azimut de 358.80 grados, ángulo de elevación de -8.872 grados, nivel de recepción de -19.3 dbm y pérdida de 114.3 dbm

Imagen 72: Perfil de propagación de enlace a Campamento 02



Fuente: Propia

Comparamos ambos resultados con los mismos parámetros de entrada

Tabla 48: Comparación de resultados

PARÁMETRO	FÓRMULA PROPAGACIÓN	RADIO MOBILE	DIRERENCIA
PÉRDIDA EN EL ESPACIO	114.02	119.3	5.28
POTENCIA RECIBIDA	-13.02	-19.3	6.28

Fuente: Elaboración Propia

Como vemos en el anterior cuadro, las diferencias calculadas entre el cálculo teórico y usando la herramienta de perfilamiento, Radio Mobile, es mínima, de alrededor de 5 decibelios en pérdida en el espacio y de alrededor de 6 decibelios en potencia recibida. Está diferencia es debido a que la herramienta añade otras variables ambientales más a la ecuación.

Con respecto al segundo subobjetivo, es necesario 600 Mbps como mínimo para 30 usuarios concurrentes enviando y recibiendo información. Nuestro equipo permite hasta 1 Gbps, lo cual comprobamos con la siguiente operación

600 Mbps (CapacidadAP) = 10 Mbps X 30 (N°Videollamadas) X 2 (Envía y recibe)

Como conclusión, los resultados otorgados por las fórmulas teóricas y los simuladores difieren en mínima proporción, menores a 7 dbm, ya que hay variables ambientales que no se están tomando en cuenta y al ser poca distancia, no tiene mayor injerencia. A continuación, el resumen de los objetivos cumplidos.

Tabla 49: Resumen de objetivos cumplidos

OBJETIVOS ESPECIFICOS	INDICADORES	MÉTRICA	CUMPLIMIENTO
Diseñar los enlaces punto a punto, aplicando las fórmulas de propagación de señales electromagnéticas calculando el nivel de recepción, pérdida en el espacio definidos por la ITU.	· Calcular el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI). Este debe ser mayor a -65 dbm	· dbm	100%
	· Calcular la capacidad binaria (MBPS). De al menos 10 Mbps	· mbps	100%

Fuente: Propia

6. CONCLUSIONES

Si bien con solo el conocimiento y buen uso de las fórmulas de propagación de ondas electromagnéticas que son el pilar de esta tesis, nos permiten diseñar el mejor sistema inalámbrico, es necesario utilizar herramientas gratuitas como el Visual RF o herramientas de pago como Ekahau, que nos permiten un eficiente diseño al utilizarlas correctamente. Adicionalmente, al utilizar estas herramientas nos permiten cambios rápidos teniendo en consideración las especificaciones de los equipos como son potencia, ganancia, estándares y frecuencias disponibles. Asimismo, valores cercanos a un RSSI de -45 dbm, SNR de 20 decibelios o más nos indican que el sistema está por buen camino.

Por otro lado, este proyecto hace hincapié en el uso de buenas prácticas del sector y el uso de recomendaciones de la ITU con el cual podemos fundamentar los cálculos realizados para obtener el mejor sistema inalámbrico y poder ofrecer garantía de la solución a nuestros usuarios y partes interesadas. El involucramiento permanente de las partes interesadas nos permite el éxito de la solución.

Finalmente, se concluye que para nuestros diseños sean exitosos se necesita tomar todas las variables posibles del entorno, aplicando las regulaciones legales de las entidades locales competentes que nos permitan, sin transgredir el marco legal vigente, un mayor alcance, rendimiento, ahorro y motivación en el personal.

7. RECOMENDACIONES

A nivel técnico, se recomienda siempre hacer un estudio cuidadoso, teniendo en cuenta las atenuaciones del medio y el uso de las fórmulas como principio fundamental de los cálculos de cobertura. Asimismo, establecer objetivos claros de cobertura utilizando métricas en decibelios, decibelios miliwatios o mbps, teniendo en cuenta el ruido del ambiente a analizar, atenuaciones por los obstáculos y la tecnología empleada.

Por otro lado, se recomienda siempre definir los problemas que se resolverían aplicando el diseño desarrollado en el aspecto económico y humano, ya que, con un plan de solución claro, tendremos los recursos necesarios para el desarrollo, permitiendo mayor ahorro y producción del personal.

Finalmente, se recomienda hacer un plan de pruebas piloto que pruebe el diseño y tener retroalimentación para mejorar continuamente el sistema inalámbrico.

8. REFERENCIAS

a. Aruba Network. (2020). Pairi Daiza quietly integrates technology to enhance the visitor experience at unique European destination with Aruba Architecture

b. Aruba Network. (2020). Datasheet. ARUBA 550 SERIES WIRELESS ACCESS POINTS

c. Barrenechea, Taylor. (2011). Diseño de una red LAN inalámbrica para una empresa de Lima. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima: Perú).

d. Coleman D. & Wescott D (2014). Certified Wirelless Network Administrator. Indianapolis: John Wiley & Sons.

e. Coleman D. & Wescott D (2018). Certified Wirelless Network Administrator. Indianapolis: John Wiley & Sons.

f. García, Ariel. (2004). Cálculo de cobertura en redes inalámbricas de área local. (Trabajo de diploma, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Santa Clara: Cuba).

g. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (12 de abril de 2013). Modifican la R.M. Nº 777-2005-MTC/03 y la Nota P57A del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias – PNAF aprobado mediante R.M. Nº 187-2005-MTC/03. [RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 199-2013-MTC/03]

h. Unger, Jack (2003). Deploying License-Free Wireless Wide-Area Networks. Indianapolis: Cisco Press.

i. Unión Internacional de Comunicaciones. (2016). Recomendación UIT-R P.525-3. Cálculo de la atenuación en el espacio libre.

j. Unión Internacional de Comunicaciones. (2019). Recomendación IUT-R 341-7. Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos