



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Informática

**Mejora de Red Inalámbrica multiservicio para Compañía Minera a Rajo
Abierto Doña Inés de Collahuasi.**

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

Autor:

Matías Eduardo Castro Soto

Profesor tutor: Ricardo Tello Guerra

Santiago de Chile, 2019

A mi Padre, German Castro por siempre apoyarme incondicionalmente
A mi Madre, Paulina Soto por estar preocupada siempre de mi
A mi pareja Lucia por siempre entregarme amor incondicional y apoyo incluso
en los momentos más difíciles.

A mi tío Andrés y su esposa Daniela, por apoyarme y aconsejarme en el
transcurso de este largo camino.

A mi tío Alex y su esposa Claudia por siempre creer en mis capacidades.

Y a mis abuelos y abuelas, y tías que, aunque no están siempre conmigo
siempre piensan en mí y me apoyan en la distancia.

Agradecimientos

A todas las personas que me ayudaron y me acompañaron en mi formación académica, a todos los que de alguna u otra manera participaron en la ayuda de este proyecto de investigación ya sea directa o moralmente, a todos ellos muchas gracias.

Especial agradecimiento a todos mis profesores de la universidad que si no fuera por sus enseñanzas a lo largo de estos años no estaría en esta situación, especial agradecimiento a mi director de carrera el profesor Humberto que si bien no lo conocí mucho en solo una conversación me entrego muchos valores como la responsabilidad en visión para el futuro laboral, también a mi profesor guía, el profesor Tello por guiarme en este trayecto.

Y finalmente a todo mi círculo cercano de familia, mis padres, mi pareja Lucia, y mis mejores amigos Axel y Sebastián que son a estas alturas como mis hermanos y que siempre que tenían la oportunidad de que habláramos, en todo lo ocupado que estaba en la realización de la tesis, lograban sacarme sonrisas y risas haciéndome bromas, a todos ellos muchas gracias y siempre los llevo en una parte especial en mi corazón.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	14
1.1. Motivación y Marco de trabajo.....	17
2. Identificación del problema.....	20
2.1. Economía.....	21
2.2. Geografía.....	21
2.3. Tecnología.....	22
3. Objetivo General.....	26
4. Objetivo específico.....	27
5. Alcance.....	28
5.1. Limitaciones.....	28
5.2. Supuestos.....	28
6. Marco Teórico.....	29
6.1. Minas a rajo abierto.....	29
6.1.1. Extracción del cobre a rajo abierto.....	29
6.1.2. ¿Cómo se explota una mina de rajo abierto?.....	31
6.2. Collahuasi.....	32
6.3. Telecomunicaciones en minería a rajo abierto.....	33
6.4. LAN.....	34
6.5. VLAN.....	35
6.6. MAN.....	37
6.6.1. Ventajas de la red MAN.....	38
6.7. Red WAN.....	39
6.8. Red PAN.....	40
6.9. Red SAN.....	40
6.10. Estándar 802.11.....	41
6.10.1. El método de acceso básico: CSMA / CA.....	41
6.10.2. Distintos tipos de protocolos 802.11.....	43
6.11. OFDM.....	51
6.12. 3GPP.....	53
6.13. LTE.....	55

6.13.1.	La motivación para LTE	56
6.14.	Desafío de las redes inalámbricas en minas a rajo abierto.....	57
6.15.	Aspectos legales de Subtel	57
6.16.	La filosofía del diseño de redes según 3D-P	60
6.17.	Buenas prácticas para la gestión de conexiones.	64
6.18.	Conclusión	65
6.19.	Desafíos de LTE en las minas a rajo abierto.....	66
6.19.1.	Métodos de LTE	67
6.19.2.	Disponibilidad de espectro.....	67
6.19.3.	Alto costo de infraestructura	68
6.19.4.	Cobertura en las zonas de trabajo	68
6.19.5.	Throughput asimétrico	69
6.19.6.	Conexión L3.....	71
6.19.7.	Conclusión.	71
6.20.	Tecnologías usadas en minería a rajo abierto.	72
6.20.1.	DISPATCH:	72
6.20.2.	PROVISION.	73
6.20.2.1.	Sistema de navegación para palas:	73
6.20.2.2.	Sistema de navegación para cargadores.	73
6.20.2.3.	Sistema de navegación para excavadoras.	74
6.20.3.	PREVAIL.	75
6.20.4.	Telemetría y Teleoperación (Teleprocess)	76
6.20.5.	LEICA Geosystems.	78
6.20.5.1.	Control de desprendimientos.....	79
6.20.5.2.	Estaciones Totales.	80
6.20.6.	Ground Probe.	80
7.	Benchmark	81
7.1.	Redline Communications.	81
7.2.	Cisco Enterprise	82
7.3.	Rajant.....	83
7.4.	Radwin	84

7.5.	Nokia.....	84
8.	Enfoques Metodológicos.....	85
8.1.	Metodología de Trabajo en cascada.....	85
8.2.	Metodología de gestión.....	86
9.	Plan de tesis.....	91
10.	Definición de Requerimientos.....	93
10.1.	Introducción.....	93
10.2.	Situación actual de la red inalámbrica CMDIC.....	93
10.2.1.	Levantamiento de la ubicación de cada sitio.....	93
10.2.1.1.	Detalle Levantamiento Backbone Switch.....	96
10.2.2.	Detalles del levantamiento de la red de acceso.....	103
10.2.2.1.	Infraestructura.....	103
10.2.2.2.	Repetidores fijos.....	105
10.2.2.2.1.	Definición de los repetidores Fijos.....	105
10.2.2.3.	Repetidores Móviles.....	106
10.2.2.3.1.	Definición de Repetidores Móviles.....	106
10.2.2.4.	Suscriptores.....	107
10.2.3.	Imágenes de los sitios.....	111
10.3.	Búsqueda de mejoras y/o problemas.....	121
10.4.	Requerimientos y/o condiciones definidos por parte de la CMDIC.....	122
11.	Posibles soluciones.....	126
11.1.	Introducción.....	126
11.2.	Análisis de tecnologías.....	126
11.2.	Conclusión de análisis de tecnológicas.....	129
12.	Desarrollo de las soluciones.....	130
12.1.	Mejora de la red inalámbrica usando equipos Radwin/Rajant.....	130
12.1.1.	Instalación de los equipos.....	132
12.2.	Propuesta tecnológica de Nokia usando tecnología LTE.....	134
12.2.1.	Descripción de la solución.....	134
12.2.2.	Simulaciones.....	139
12.2.3.	Instalación de equipos.....	144

13. Resultados obtenidos.....	146
14. Conclusiones.....	147
15. Referencias.....	150

Comentado [TGRA1]: Numeración no corresponde, revisar formato

Índice de Tablas

TABLA 1. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ANCHO DE BANDA EN MINERÍA.....	16
TABLA 2. TABLA QUE DIFERENCIA LAS CARACTERÍSTICAS ENTRE ESTÁNDARES 802.11 A Y B.....	24
TABLA 3. MATRIZ DE MÉTRICA SEGÚN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
TABLA 4. MATRIZ DE TRAZABILIDAD OE V/S PROBLEMAS.....	27
TABLA 5. EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED POR PARTE DE RADWIN. FIGURA 74. COMPARACIÓN DE CANALIZACIÓN DE 802.11AC VS OTROS PROTOCOLOS.....	127
TABLA 6. EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED POR PARTE DE RADWIN.....	131
TABLA 7. EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED POR PARTE DE RAJANT. TABLA 8. EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED POR PARTE DE RADWIN.....	131
TABLA 9. EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED POR PARTE DE RAJANT.....	132
TABLA 10. EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED POR PARTE DE RAJANT.....	132

TABLA 11. EQUIPOS Y SERVICIOS NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DE LA SOLUCIÓN LTE OFRECIDA POR NOKIA. FIGURA 76.. INTERIOR DE TRUCK SHOP, LUGAR DONDE SE LLEVARÍA A CABO EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MIENTRAS SE HACEN MANTENCIÓN A LOS CAMIONES	133
TABLA 12. LISTA DE REQUERIMIENTOS BÁSICOS DE RED PARA DISTINTOS TIPOS DE SERVICIOS.....	135
TABLA 13. LA SOLUCIÓN PROPUESTA POR NOKIA SE COMPONE DE LOS BUILDING BLOCKS AGRUPADOS EN DOMINIOS.	136
TABLA 14. EQUIPOS Y SERVICIOS NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DE LA SOLUCIÓN LTE OFRECIDA POR NOKIA.	137
TABLA 15. COORDENADAS DE LOS NUEVOS SITIOS PROPUESTOS. TABLA 16. EQUIPOS Y SERVICIOS NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DE LA SOLUCIÓN LTE OFRECIDA POR NOKIA.	137
TABLA 17. EQUIPOS Y SERVICIOS NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DE LA SOLUCIÓN LTE OFRECIDA POR NOKIA.	138
TABLA 18. LISTA DE ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA SOLUCIÓN PROPUESTA POR NOKIA PARA EL DOMINIO DE RAN	138
TABLA 19. LISTA DE ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA SOLUCIÓN PROPUESTA POR NOKIA PARA EL DOMINIO DE OAM	139
TABLA 20. LISTA DE ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA SOLUCIÓN PROPUESTA POR NOKIA PARA EL DOMINIO UE	139
TABLA 21. COORDENADAS DE LOS NUEVOS SITIOS PROPUESTOS.....	140

TABLA 22. COORDENADAS DE LOS NUEVOS SITIOS PROPUESTOS.....	140
TABLA 23. COORDENADAS DE LOS NUEVOS SITIOS PROPUESTOS.....	140
TABLA 24. COORDENADAS DE LOS NUEVOS SITIOS PROPUESTOS.....	140
TABLA 25. TABLA DE CONFIGURACION PARA EL PROGRAMA ATOLL.....	142

Índice de Figuras

FIGURA 1. DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	20
FIGURA 2. IMAGEN DEL RAJO DE LA MINA NOMBRE RAJO ROSARIO DESPUÉS DE UN NEVAZÓN.....	22
FIGURA 3. IMAGEN DE LA PÁGINA DE CISCO DONDE SALE EL EQUIPO AIRONET 350 SERIES.	25
FIGURA 4. FOTO RAJO ROSARIO, MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	30
FIGURA 5. PROCESOS DE EXTRACCIÓN DEL COBRE A RAJO ABIERTO.	32
FIGURA 7. MUESTRA DE UNA RED LAN.....	35
FIGURA 8. DIFERENCIA ENTRE UNA VLAN Y UNA LAN TRADICIONAL.....	36
FIGURA 9. EJEMPLO DE UNA RED MAN.	39
FIGURA 10. MUESTRA DE UNA RED DE TIPO WAN	40
FIGURA 11. OFDM.....	51
FIGURA 12. SUB CARRIER.....	52
FIGURA 13. SYMBOL OFDM	53
FIGURA 14. SYMBOL EFECTIVO OFDM.....	53
FIGURA 15. DIAGRAMA QUE MUESTRA LA SOLUCIÓN DE RED GSM A LTE.....	55
FIGURA 16. DECRETO DE LA SUBTEL QUE MODIFICA LA RESOLUCIÓN N° 1321.....	59
FIGURA 17. ZONAS DE COBERTURAS.....	61

FIGURA 18. REPRESENTACIÓN DE COBERTURA DENTRO DE UN POZO	62
FIGURA 19. INTERFERENCIA DENTRO DEL POZO POR NUEVA AP	63
FIGURA 20. SOLUCIÓN A SOBRE POSICIÓN DE CANALES.	63
FIGURA 21. OTRA OPCIÓN CON EL MISMO PROPÓSITO DE LA FIGURA 24	64
FIGURA 22. EQUIPOS E INSTALACIONES DE TELEOPERACIÓN Y TELEMETRÍA.	77
FIGURA 23. INTERFAZ DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE TELEMETRÍA EN LA ESTACIÓN DE CONTROL FUERA DEL RAJO.....	78
FIGURA 24. CASETA LEICA ACTUALMENTE INSTALADA EN EL RAJO ROSARIO.....	79
FIGURA 25. LOGO DE REDLINE	81
FIGURA 26. LOGO DE CISCO.....	83
FIGURA 27. LOGO DE RAJANT	84
FIGURA 28. LOGO DE RADWIN.....	84
FIGURA 29. LOGO DE NOKIA.....	85
FIGURA 30. DIAGRAMA DE METODOLOGÍA EN CASCADA.....	86
FIGURA 31. EDT SEGÚN GESTIÓN PMBOK.....	90
FIGURA 32. CARTA GANTT	92
FIGURA 33. SITIOS ESTRATÉGICOS DE LA RED MULTISERVICIO COLLAHUASI.	94
FIGURA 34. CORE EN EL BLOQUE DE ACCESO	100
FIGURA 35. TOPOLOGÍA DE TIPO ANILLO O EAPS.....	100
FIGURA 36. ENLACES POR FIBRA ÓPTICA Y POR ENLACES PTP PUESTOS DESDE VISTA SATELITAL	104
FIGURA 37. UBICACIÓN DE REPETIDORES MÓVILES EN LA MINA.....	107
FIGURA 38. DIAGRAMA EXPLICATIVO DE INFRAESTRUCTURA DUPLICADA.	110
FIGURA 39. RACK Y EQUIPO ALVARION COLOCADO EN LA PARTE SUPERIOR DEL SITIO TRUCK SHOP.....	111
FIGURA 40. RACK Y EQUIPO ALVARION COLOCADO EN LA PARTE SUPERIOR DEL SITIO TRUCK SHOP.....	111
FIGURA 41. SITIO DATACENTER.....	112
FIGURA 42. SITIO DATACENTER.....	112

FIGURA 43. OTRA IMAGEN DEL DATACENTER.....	112
FIGURA 44. OTRA IMAGEN DEL DATACENTER.....	112
FIGURA 45. DESPACHO, SITIO DESDE DONDE SE VE TODO LO RELACIONADO AL TRÁFICO DE LA MINA.	113
FIGURA 46. DESPACHO, SITIO DESDE DONDE SE VE TODO LO RELACIONADO AL TRÁFICO DE LA MINA.	113
FIGURA 47. SITIO RADIO ESTACIÓN CAPELLA.	113
FIGURA 48. SITIO RADIO ESTACIÓN CAPELLA.	113
FIGURA 49. SITIO DE COBERTURA OTORGADO POR ESTACIÓN RADIO CAPELLA.....	114
FIGURA 50. SITIO DE COBERTURA OTORGADO POR ESTACIÓN RADIO CAPELLA.....	114
FIGURA 51. AP. CISCO 350.....	114
FIGURA 52. AP. CISCO 350.....	114
FIGURA 53. PTP ALVARION B100.	115
FIGURA 54. PTP ALVARION B100.	115
FIGURA 55. GROUND PROBE Y SU DE 5.8 GHZ.	115
FIGURA 56. GROUND PROBE Y SU DE 5.8 GHZ.	115
FIGURA 57. SITIO NUEVO MIRADOR ROSARIO.....	116
FIGURA 58. SITIO NUEVO MIRADOR ROSARIO.....	116
FIGURA 59. RACK DEL SITIO NUEVO MIRADOR ROSARIO.	116
FIGURA 60. RACK DEL SITIO NUEVO MIRADOR ROSARIO.	116
FIGURA 61. SWITCH E IDU'S.	117
FIGURA 62. SWITCH E IDU'S.	117
FIGURA 63. CISCO AP DE 2.4 GHZ.....	117
FIGURA 64. CISCO AP DE 2.4 GHZ.....	117
FIGURA 65. (DE IZQUIERDA A DERECHA). PTP ALVARION B350; CÁMARA IP BOSCH MIC7000; AP CISCO 350.	118
FIGURA 66. (DE IZQUIERDA A DERECHA). PTP ALVARION B350; CÁMARA IP BOSCH MIC7000; AP CISCO 350.	118
FIGURA 67. FASE 10.....	118

FIGURA 68. FASE 10.....	118
FIGURA 69. (DE IZQUIERDA A DERECHA) PERFORADORA, PALA Y CAEX.....	119
FIGURA 70. (DE IZQUIERDA A DERECHA) PERFORADORA, PALA Y CAEX.....	119
FIGURA 71. TORRE DE COMUNICACIONES CERRO CASCASCA.....	119
FIGURA 72. TORRE DE COMUNICACIONES CERRO CASCASCA.....	119
FIGURA 73. TOREE DE COMUNICACIONES SITIO CERRO LA GRANDE.....	120
FIGURA 74. TOREE DE COMUNICACIONES SITIO CERRO LA GRANDE.....	120
FIGURA 75. SITIO LA PODEROSA	121
FIGURA 76. SITIO LA PODEROSA	121
FIGURA 77. ZONA DE COBERTURA PARA LA NUEVA RED PROPUESTA.	126
FIGURA 78. ZONA DE COBERTURA PARA LA NUEVA RED PROPUESTA.	126
FIGURA 79. COMPARACIÓN DE CANALIZACIÓN DE 802.11AC VS OTROS PROTOCOLOS.	127
TABLA 5. EQUIPOS NECESARIOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED POR PARTE DE RADWIN. FIGURA 80. COMPARACIÓN DE CANALIZACIÓN DE 802.11AC VS OTROS PROTOCOLOS.	127
FIGURA 81.. INTERIOR DE TRUCK SHOP, LUGAR DONDE SE LLEVARÍA A CABO EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MIENTRAS SE HACEN MANTENCIÓN A LOS CAMIONES	133
TABLA 11. EQUIPOS Y SERVICIOS NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DE LA SOLUCIÓN LTE OFRECIDA POR NOKIA. FIGURA 82.. INTERIOR DE TRUCK SHOP, LUGAR DONDE SE LLEVARÍA A CABO EL REEMPLAZO DE LOS EQUIPOS MIENTRAS SE HACEN MANTENCIÓN A LOS CAMIONES	133
FIGURA 83. LUGARES UBICADOS EN EL MAPA DE LA MINA, USANDO EL SOFTWARE ATOLL.....	141
FIGURA 84. LUGARES UBICADOS EN EL MAPA DE LA MINA, USANDO EL SOFTWARE ATOLL.....	141
FIGURA 85. LUGARES UBICADOS EN EL MAPA DE LA MINA, USANDO EL SOFTWARE ATOLL.....	141

FIGURA 86. LUGARES UBICADOS EN EL MAPA DE LA MINA, USANDO EL SOFTWARE ATOLL.....	141
FIGURA 87. SIMULACIÓN DE LA RED CON DOWNLINK 20%.....	143
FIGURA 88. SIMULACION DE THROUGHPUT EN UPLINK CON 60%	144

1. Introducción

Comentado [TGRA2]: formato

Desde la formación de Chile, la minería ha estado estrechamente ligada a la identidad de la nación, en el siglo XIX lo que aumento la riqueza del país fue el salitre, “el oro blanco” (Ministerio de Energia, 2018), luego en el siglo XX y en nuestra actualidad es el cobre y en el futuro lo será el litio (BRIONES, BOSSELIN, GUTIÉRREZ, & ZAGAL, 2017). En otras palabras, la minería ocupa un espacio fundamental en el crecimiento de la identidad y economía del país.

El ser humano desde la antigüedad ha estado siempre relacionado con la extracción de minerales, y gracias a ello se han logrado importantes avances tecnológicos, a lo largo de la historia, esta tecnología también ha sido utilizada para perfeccionar cada vez más los procesos de extracción de minerales, haciendo así más grandes los proyectos mineros para que estos alcancen los niveles requeridos para las necesidades del mercado mundial, en el cual Chile está entre los mayores productores del cobre del mundo, mineral que es el tercer metal más utilizado en el mundo.

Actualmente para mejorar la producción de grandes proyectos y extracción de los minerales con mayor eficiencia se requiere el uso de todos los activos, en especial para las operación y mejoras del equipo dentro de la mina, como seguridad, comunicación, producción. Y de esa manera también actualizar los equipos utilizados para la extracción como camiones, palas, perforadoras, mano de obra.

Con los avances tecnológicos la necesidad de mayores medios de comunicación y respuesta rápida se hicieron evidentes, además de automatizar los procesos industriales, tales como GPS, monitoreo de condiciones, camiones autónomos, etc. Lo que significa la instalación de redes inalámbricas, las cuales coexisten de manera deficiente debido a interferencias entre las mismas y al exceso de redes en el aire

Es por esta razón la importancia de incluir una red inalámbrica multiservicio que posea una arquitectura capaz de soportar eficientemente la capacidad de poder conectar y comunicar a todos los equipos existentes instalados en sobre la flota minera, con los servidores respectivos de los diferentes sistemas de operación crítica en tiempo real, junto con la capacidad de transmitir voz, video y datos en lugares fijos y en equipos móviles en terreno.

Actualmente con el avance tecnológico y los diversos protocolos existentes en el are de redes inalámbricas, es necesario hacer un estudio sobre cuál es la mejor opción para poder trabajar en una mina de rajo abierto.

Es por esto, por lo que la siguiente investigación tiene como fin proponer el mejor protocolo de una red multiservicio aplicable para una mina de rajo abierto, y así adaptar su red, a la presente realidad operacional, a la actual topografía y permitir incorporar nuevas áreas de servicios o aplicaciones en vistas del futuro.

La importancia de esta investigación y lo que motiva a hacerla, es mantener en actualización la minería de rajo abierto en el país, de esta manera tratar de que se haga la investigación de manera que se estudien y analicen todas las tecnologías inalámbricas multiservicio para rajo abierto, y así alguien más pueda tomar esta investigación y a partir de ella poder aplicar la ingeniería requerida para poder llevar a cabo el proyecto en una minera, o a basarse en esta para poder un proyecto, además de esto la intención y/o motivación es poder en un caso particular que será expuesto más adelante lograr solucionar los actuales problemas que serán expuestos en la mina Doña Inés de Collahuasi.

Cada año van apareciendo nuevos protocolos 802.11, actualmente al hacer una rápida revisión a la actualidad una de las nuevas tecnologías es la 802.11ax que ofrece una mayor velocidad (Valero, 2018), pero ¿es esta tecnología la ideal para ser empleada en la minería? Estas interrogantes son las que se buscan ser respondidas, para así evitar que un empleador llegue y elija cualquier tecnología, o cualquier marca y no sea la tecnología requería para el trabajo o requerimientos

que necesita la mina, un error de esos puede provocar una pérdida en millones de dólares además de probablemente el despido del personal que estaba a cargo de la obra.

Tabla 1. Proyección de la demanda de ancho de banda en minería.

Prospección	Ancho de banda mínimo (Mbps)	Ancho de banda máximo (Mbps)
0 Años	44	44
5 Años	721	3.178
10 Años	8.035	11.897
20 Años	15.838	23.454

Fuente: (ADDERE Ltda, 2017).

La relación entre la minería y las telecomunicaciones han ido en aumento a través de los años, a diferencia de otras empresas es necesaria la conectividad de toda la mina para poder funcionar de manera autónoma, las 24 horas al día y 7 días a la semana. La dificultad radica en las condiciones geográficas que dificultan la transmisión de datos, además de la cantidad de dinero que circula en esa área de la industria, es necesario tener un control autónomo de toda la área, respecto a la figura anterior, sacado de un informe hecho para la Subtel sobre la demanda de ancho de banda para la minería, genera un aumento de más del 500% entre los años 0 y 5, esta proyección ha sido llevada a cabo en base a la proyección de equipamiento requerido y bajo la hipótesis de que la evolución de dicho equipamiento es hacia la inclusión de sensores para captura de datos y el envío de los datos al exterior de los yacimientos, así como una evolución hacia la operación remota de las faenas (ADDERE Ltda, 2017). La extracción de cobre representa el 90% de las exportaciones minera del país y de igual modo es sector económico con mayor contribución a los ingresos fiscales, un ejemplo de esta importancia es el acuerdo que la empresa COLDECO y SUBTEL realizaron un convenio para el desarrollo de la conectividad y de esa manera facilitar el acceso

en zonas aisladas y rurales cerca de faena, y de esta manera, promover un desarrollo del internet industrial, para maximizar su uso en los procesos mineros dentro de sus faenas en el año 2016 (Canal 13, 2016)

En resumen, de todo lo explicado hasta el momento, se busca poder encontrar la mejor tecnología que permita transmitir distintos tipos de servicios (multiservicio) que sirva para mineras de cobres a rajo abierto, de esa manera encontrar la tecnología ideal para el caso de una mina, específicamente de tipo rajo abierto y en el marco de trabajo, será una investigación como caso particular la minera Doña Inés de Collahuasi que fue mencionado anteriormente

1.1. Motivación y Marco de trabajo

El ambiente en el cual se trabajará será en una zona controlada, donde se usarán un notebook Hp Pavilion M6-1076LA, con sus características respectivas de procesador AMD APU A10(2,2 GHz. Hasta 3,2 GHz, 8Mb de cache, 6 núcleos), una memoria de 8GB de SDRAM DDR3-2133MHz (1 x 8 GB) y una unidad interna de almacenamiento SATA de 1 TB, 5400Rpm. El cual se usará para que, una vez investigadas las distintas tecnologías se simulen con algunos equipos la comunicación a escala pequeña sobre una red multiservicio.

La situación actual del caso particular de la minera Doña Inés de Collahuasi es que, en el año 2004, se encontró inconvenientes con las comunicaciones existentes en la red lo que estaba causando varios problemas, incluyendo: aumento de los costos de mantenimiento de cinco diferentes redes, la interferencia y cobertura, ancho de banda limitado y la improbabilidad de utilizar la red para más aplicaciones. Para resolver estas dificultades y mejorar la comunicación dentro de la mina, Collahuasi buscó una solución rentable, robusta y fiable.

Debido a la ubicación remota de la mina, no había lugar para los errores en la aplicación de una red de comunicaciones. La gerencia de Collahuasi decidió, por tanto, ponerse en contacto con una empresa integradora de sistemas locales para seleccionar una solución adecuada, y ponerla en práctica dentro de la mina. La empresa a cargo eligió a Alvarion, líder mundial en comunicaciones de banda ancha inalámbrica, seleccionando el equipamiento BreezeACCESS VL y BreezeNET B. La solución consistió:

GPS de posicionamiento: el posicionamiento exacto de la maquinaria para la obtención de materiales adecuados, mediante la revisión de la correcta ubicación con una versión actualizada del mapa geológico en 3D.

Monitoreo de vehículos de alto tonelaje: control y monitoreo en línea de palas, perforadoras y camiones.

Los datos geológicos en tiempo real: la transferencia de archivos de gran volumen, desde los sitios de la prueba geológica hacia servidores dedicados con aplicaciones geológicas asignados para el análisis.

Video vigilancia y control: control visual general de la actividad minera en curso en particular después de tronaduras. Las imágenes de video se transmiten desde las cámaras de la mina hacia la sala de control.

Estructura de la estabilidad del rajo: la transferencia de datos de Doppler radar instalados en el rajo que se comunica con los servidores geotécnicos, previniendo movimientos inusuales del terreno.

Desde la instalación de BreezeACCESS VL de Alvarion, las autoridades informaron que casi habían ocurrido fallos o errores técnicos. La red funciona a pesar de las duras y difíciles condiciones climáticas, potenciando la productividad a rajo abierto y mejorando la seguridad para los trabajadores.

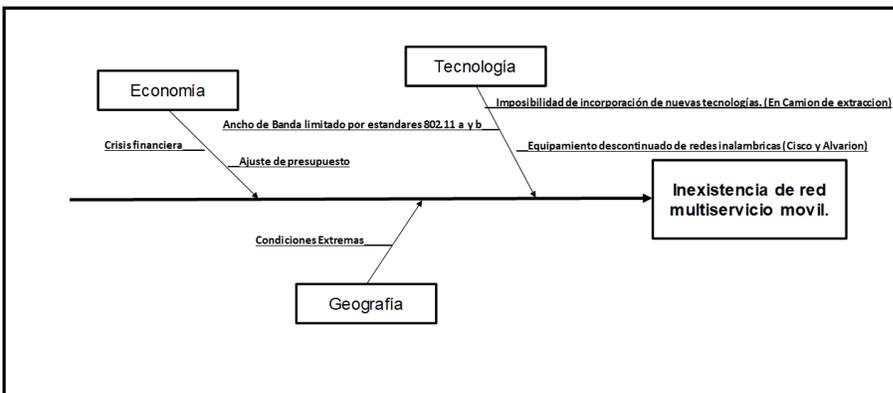
Esta fue la situación que tenía Collahuasi en el 2004, los sistemas instalados no presentaron problemas y seguían manteniendo un soporte técnico por la empresa hasta 2013, donde debido a las crisis financieras que paso el mundo, Alvarion en el 2013 se declaró en bancarrota (Cellular News, 2013).

2. Identificación del problema.

Comentado [TGRA3]: Un nuevo capítulo debe comenzar en una nueva página

La identificación del problema será analizada a través de un diagrama de causa/efecto o Diagrama de Ishikawa, Es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones; esta también es considerada una de las 7 herramientas básicas de la calidad. El diagrama de pescado fue desarrollado por el licenciado en química japonés Dr. Kaoru Ishikawa en el año 1943, el diagrama obtuvo su conocido nombre en honor a el doctor. (SPC Group, 2013).

Figura 1. Diagrama de Ishikawa



Fuente: Autoría propia.

Analizando el diagrama se puede apreciar los distintos factores que llevan a la problemática final. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de los puntos que forman el diagrama.

2.1. Economía

Crisis financieras: las crisis financieras ocurridas durante la última década a nivel mundial repercuten en todas partes, especialmente en Chile y en una de sus principales exportaciones, el cobre. El cual su precio siempre está fluctuando debido a los distintos cambios por parte de la Bolsa de Metales de Londres, y debido a las crisis financieras que provocaron recesiones económicas y fiscales a nivel mundial, todo esto sumado a el descenso de importación del metal por parte de China, es un punto que directa e indirectamente afecta a las minas del país (Notimérica, 2017).

Ajustes de Presupuesto: Debido a la baja de exportación esto afecta de manera directa al bolsillo de las minas provocando una desaceleración de la producción y recortes que se ven relacionados con despidos y reestructuración internas además de cambios en el sistema de su producción, lo cual provoca dejar de lado algunas expansiones o innovaciones tecnológicas, entre ellas las de telecomunicaciones.

2.2. Geografía

Condiciones extremas: La mina Doña Inés de Collahuasi es una mina que está a un altura de 4.400 msnm en la zona altiplánica del desierto de atacama, una zona andina que se caracteriza por tener un clima lluvioso en verano y nevadas ocasionales en invierno, afectada también por el invierno altiplánico (o invierno boliviano) que se extiende desde diciembre hasta mediados de marzo, hace de esta zona que tenga propiedades y requisitos muy específicos para el hardware usado en la zona, como las antenas los repetidores etc. debido que algunos equipos convencionales usados en Santiago o en otras zonas, no funcionan de manera eficiente o adecuada a 4.400 msnm, además de las nevadas que pueden provocar mínimas de hasta -10°C.

Figura 2. Imagen del rajo de la mina nombre Rajo Rosario después de un nevazón



Fuente: Imagen tomada por área Distribución Eléctrica y Automatización Mina
(Foto aérea)

Por estos antecedentes climáticos, hacen de esta zona un desafío para poder mantener el control y seguridad en condiciones tan adversas, es por esto por lo que debido a estas condiciones los equipos usados deben ser compatibles con este entorno hostil.

2.3. Tecnología

Imposibilidad de incorporación de nuevas tecnologías (En camión de extracción): Los camiones de extracción (CAEX de aquí en adelante) tienen comunicación mediante la red de comunicaciones MasterLink (en adelante MLINK), la cual, tiene como propósito soportar el servicio del sistema de despacho (en adelante DISPATCH), por esta razón la red MLINK no admite la incorporación de soportar otro servicio.

Ancho de Banda limitado por estándares 802.11 a y b: Actualmente existen dos Redes Inalámbricas en Rajo Rosario, Rajo Ujina y Botaderos:

Red "Multiservicio" Alvarion:

- Red Inalámbrica instalada año 2007 del Tipo Punto – Multipunto
- Tecnología propietaria, estándar del año 1999, orientada a la conexión de puntos fijos, no a la movilidad
- Equipamiento en banda de Frecuencia 5.8 GHz:
- 9 puntos De Acceso
- 7 repetidores Cell Extender
- 150 clientes, otorgando múltiples servicios (Perforadoras, Palas, Equipos Geotecnia, Telemetría, etc.)

Red de Acceso MasterLink:

- Tecnología Cisco Aironet350, estándar año 1999
- Tecnología orientada a la movilidad por lo que es la usada para Dispatch con ancho de banda de 2 Mbps
- Equipamiento en banda de Frecuencia 2.4 GHz:
- 8 puntos De Acceso
- 15 repetidores WAP
- 106 Caex (PTX y Hub)
- 50 equipos Auxiliares
- 03 perforadoras (Provision 2)
- 12 Palas

La red multiservicio Alvarion opera bajo el estándar 802.11a, la cual otorga 54Mbps de transferencia teóricos como máximo y 28Mbps reales, siendo ideal para redes inalámbricas de 20Mbps sin embargo al ser una tecnología de 1999,

posee una Peor conductividad contra obstáculos que se traduce en la necesidad de tener más AP para dar cobertura que en 2.4Ghz.

Por otro lado, la red de acceso MasterLink, usa tecnología 802.11b, debido a su bajo ancho de banda que son 11Mbps teóricos y 5,9Mbps reales si se quiere colocar nuevos sistemas de monitoreo para los CAEX la red ya se satura por lo que no es posible implementarle nuevos sistemas, que, si bien no son necesarios actualmente, si pueden ser indispensables en el futuro.

En el siguiente cuadro se muestran las diferencias entre los estándares 802.11 a y b.

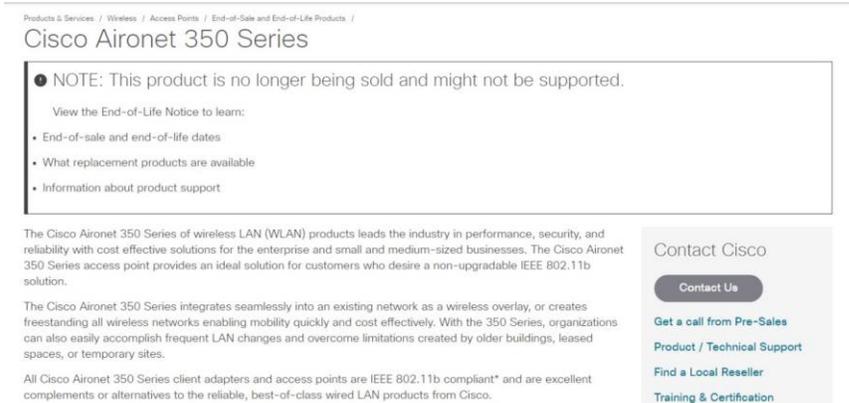
Tabla 2. Tabla que diferencia las características entre estándares 802.11 a y b

Standard	Banda	Ancho de banda teórico	Ancho de banda real
802.11a	5Ghz	54 Mbps	~22 Mbps
802.11b	2.4Ghz	11 Mbit/s	~5,9 Mbps

Fuente: Autoría Propia.

Equipamiento descontinuado de las redes inalámbricas (Cisco y Alvarion): Como se explicó anteriormente existen dos redes inalámbricas Cisco y Alvarion, el equipamiento usado en la red de Cisco o MLINK usan equipos llamados Cisco Aironet 350 Series, el cual si se accede a la página de cisco aparece el siguiente mensaje:

Figura 3. Imagen de la página de cisco donde sale el equipo Aironet 350 Series.



Fuente: Autoría Propia.

Como se puede ver en la figura 3, este producto se encuentra actualmente descontinuado y no se le da más soporte.

En el caso de la red multiservicio, utiliza equipamiento Alvarion modelo BreezeACCESS VL, se mencionó anteriormente que la empresa cayó a quiebra (Cellular News, 2013), aunque si uno busca por la internet la compañía existe, esto es debido a que fue adquirida por Supercom en 2016 (Alvarion, 2016), así que si bien actualmente está operativa, el enfoque de esta ya no es la minería.

3. Objetivo General

Proponer una solución inalámbrica multiservicio actualizando las redes existentes en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

4. Objetivo específico

- Proponer solución tecnología para la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi que cumpla con el 95% de la cobertura de toda la mina.
- Proponer diseño de Red Inalámbrica para Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi considerando realidad operacional actual y futura (mayor a 4 años).

Tabla 3. Matriz de métrica según los objetivos específicos

Objetivos Específicos	Métrica/Unidad	VAM	CEM
OE01	CM: Cobertura mínima aceptable de la nueva solución, expresada en %	Sin valor inicial	CM>95%
OE02	A: Tiempo de viabilidad de la red diseñada para la mina; Medido en Años	Sin valor inicial	A≥4

Fuente: Autoría propia.

Tabla 4. Matriz de trazabilidad OE v/s Problemas

PROBLEMAS Obj. específicos	P01	P02	P03
OE01		X	X
OE02	X	X	X

Fuente: Autoría propia.

Comentado [TGRA4]: Ninguno corresponde a un objetivo específico, corresponden a tareas, los OE's deben ser cuantificables y medibles. Debe concordar con las métricas presentadas

5. Alcance

El siguiente estudio se centrará en el área de la Tecnología del diagrama de Ishikawa, debido que los otros dos puntos expuestos en el diagrama, no están al alcance del alumno, es decir que se abordara todo el punto 2 (P02) lo que incluye sus subpuntos. Se estudiará los tipos de protocolos y fabricantes de tecnología inalámbrica existentes en la actualidad para proponer una solución a la red de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

5.1. Limitaciones

Una de las limitaciones será que este estudio es solo de carácter teórico y no se cuenta con el equipamiento de todas las soluciones tecnológicas que se verán en el transcurso de esta tesis debido al tamaño del proyecto en curso.

Comentado [TGRAS]: Fala mencionar que problemas identificados en Ishikawa son parte del alcance. Falta además las limitaciones al alcance

5.2. Supuestos

Para el desarrollo de esta investigación, se contará con el apoyo de un Ingeniero Civil en Telecomunicaciones de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, el cual dirige el proceso de la nueva red inalámbrica y guiará en los puntos de mayor complejidad del tema en cuestión.

6. Marco Teórico

Ya que el proyecto estará centrado en el área de minería y de telecomunicaciones, es importante repasar algunos términos y el funcionamiento de algunos procesos que se llevan a cabo para poder contextualizar mejor el ambiente en el cual se trabajara de aquí en adelante en esta tesis, tales definiciones son: Minería a rajo abierto, obtención de mineral a rajo abierto, procesos, protocolos 802.11, 3GPP y LTE, etc.

6.1. Minas a rajo abierto

Las minas a rajo abierto son aquellas cuyo proceso extractivo se realiza, y con maquinarias mineras de gran tamaño. Como ejemplos de este tipo de minas se pueden citar a Chuquicamata, La Escondida, Collahuasi, etc. En Chile, Ernest Henry (Australia), Minas de Riotinto (Huelva, España), entre otras.

Volviendo a Chile se encuentran cinco de las diez mayores mineras productoras de cobre en el mundo: Escondida, Codelco Norte, Collahuasi, El Teniente y Los Pelambres.

6.1.1. Extracción del cobre a rajo abierto

La explotación a rajo abierto se realiza cuando los yacimientos son de gran tamaño, presentan una forma regular, y están ubicados en la superficie o cerca de esta. Este es un proceso eficiente en la medida en que el costo de extraer el mineral (incluyendo la movilización de material no comercial que los cubre), sea menor que el precio de comercialización del mineral a extraer.

Figura 4. Foto Rajo Rosario, Minera Doña Inés de Collahuasi



Fuente: elaboración propia.

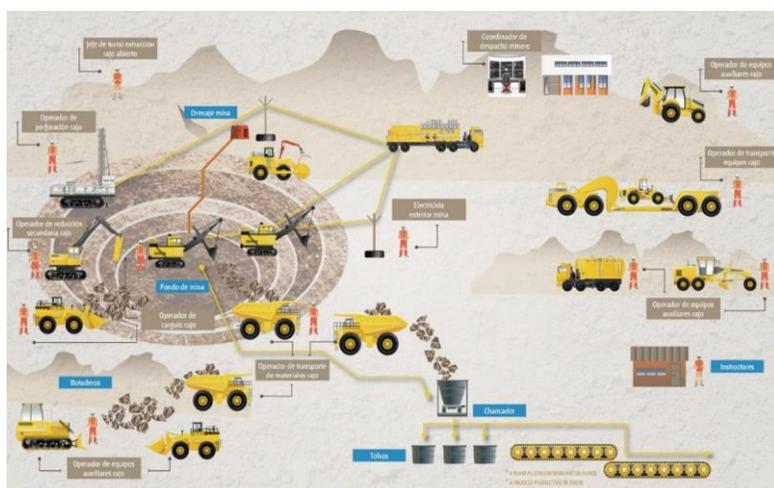
El rajo abierto se ve como un gran tazón y este se va construyendo a medida en que la operación va avanzando, tanto lateralmente como en profundidad. Mientras se va trabajando, se genera una especie de anfiteatro (por su forma escalonada) cuya forma puede ir cambiando entretanto avanza la operación. Si bien el concepto de una mina de rajo abierto es sumamente básico, su concepción y desarrollo involucra un planteamiento complejo y costoso. Cabe indicar, además que frecuentemente muchas operaciones mineras empiezan como rajo abierto y, cuando llegan a un punto en que el costo de extraer el mineral no cubre el costo de extracción de las rocas alledañas empiezan a utilizar métodos de minería subterránea.

6.1.2. ¿Cómo se explota una mina de rajo abierto?

Antes de iniciar la perforación es importante tomar en cuenta un elemento fundamental en su planificación, el ángulo del talud (rajo), el cual determinara tanto la seguridad como la rentabilidad de la mina. Una vez determinado el talud se empieza con el retiro de las rocas para llegar al mineral.

La extracción empieza con la perforación y voladura de la roca, procesos que parten los bloques de roca concreta en pedazos más pequeños que se cargan en camiones con grandes palas eléctricas o hidráulicas, o con excavadoras, para ser retirados y clasificados en camiones de gran tonelaje. A medida que el rajo va creciendo se forman lo que se denominan bancos, que son como “escaleras” alrededor de las cuales se explota el mineral y que están conectadas a través de rampas entre ellas y hacia la superficie. El rajo abierto supone la extracción de todo el material de la zona donde se encuentra el mineral, y, por lo tanto, de un gran volumen de rocas por lo que es necesario usar maquinaria y equipos de gran capacidad, lo que, además es posible debido a que el espacio no está restringido como es el caso de las minas subterráneas. El material clasificado con contenido metálico se transporta a los “chancados” para que pueda seguir los posteriores tratamientos físico y químicos para obtener el mineral resultante, mientras que el material clasificado como desecho se vierte en zonas asignadas para ello. A veces existe una tercera categoría de material de baja calidad (mineral de baja ley) que puede almacenarse por si en el futuro pudiera ser rentable su aprovechamiento.

Figura 5. Procesos de extracción del cobre a rajo abierto.



Fuente: (CCM, 2011)

6.2. Collahuasi

La actividad comercial del distrito minero Collahuasi se inició en 1880 con la explotación de los sistemas de vetas de cobre-plata de alta ley, operación que se interrumpió el año 1930 a raíz de la crisis económica mundial. Las actividades en el área se reiniciaron en 1978, año en el cual se identificaron los componentes claves del yacimiento Rosario.

Posteriormente, en 1991, una combinación de estudios basados en imágenes satelitales, levantamientos Aero fotogramétricos, terrestres y actividades de perforación de sondajes, dio como resultado el descubrimiento del yacimiento Ujina. Los estudios de factibilidad y de impacto ambiental del Proyecto Collahuasi fueron aprobados en 1995. A fines de 1996, habiéndose suscrito los acuerdos

relativos al financiamiento y comercialización, se dio inicio a la etapa de desarrollo y construcción.

La Compañía inauguró su operación comercial el 7 de abril de 1999, y desde entonces se propuso desarrollar su actividad en base a políticas y prácticas de excelencia y que contribuyan al bienestar de la sociedad, el desarrollo económico y cuidado del medio ambiente (Collahuasi, 2017).

La Compañía cuenta con dos procesos productivos en sus yacimientos, una línea de sulfuros y otra de óxidos, las que producen cobre y molibdeno. El año 2015 la Compañía realizó el cierre parcial temporal de la planta de cátodos.

El 2016 Collahuasi produjo 506,5 mil toneladas de cobre fino, con ingresos por US\$ 2.286 millones respecto de los costos, gracias a las mejoras operacionales y de gestión que se han implementado en los últimos años, poniendo foco en su cadena de valor y asegurando la eficiencia de sus procesos, se bajó el costo operacional a US\$1,14 la libra, cercano al primer cuartil de la industria. De esta forma, Collahuasi ha podido sortear el complejo escenario de precios que ha atravesado la industria los últimos años.

La producción de Collahuasi en el año 2018 fue de 559 mil toneladas de cobre fino superando lo producido el año anterior por un 6,7%.

6.3. Telecomunicaciones en minería a rajo abierto

Las redes físicas y lógicas del mundo de las telecomunicaciones participan de muchos procesos críticos de la minería, entre ellos: exploración, extracción, procesamiento del mineral, comercialización y cierre. Los requerimientos de transmisión de información entre las distintas fases y aplicaciones han sido resueltos bajo los paradigmas de los tres grandes cambios en las

telecomunicaciones de los últimos 40 años: la digitalización, la movilidad y la irrupción de protocolos abiertos, con IP como ejemplo dominante.

Las telecomunicaciones se han ido perfeccionando siendo insustituibles para la economía, la sociedad y, por cierto, para la minería. No ha sido fácil su incorporación al sector debido a los retos que presenta la transmisión de información en las minas a rajo abierto y subterráneas. Así, resultan estratégicas, ¿pues si no funcionan adecuadamente se arriesga la producción, peligran vidas humanas, activos y el medio ambiente.

Las telecomunicaciones en minería son consideradas como tecnologías facilitadoras de las faenas riesgosas y más nocivas. Esto implica la automatización de procesos mediante robótica o tele comando que demandaran el aumento de banda ancha para la transmisión de señales de video, voz y datos.

Las soluciones de telecomunicaciones para la minería deben estar diseñadas para trabajar en condiciones extremas, porque en una mina existen altas concentraciones de polvo en suspensión, vibraciones producto de las tronaduras, humedad y polvo metálico, junto con la complejidad adicional de que, a gran altura, disminuye el oxígeno y baja la temperatura. Se suma, además, la localización usualmente remota y de difícil acceso, la topología cambiante de la red a medida que la mina “se mueve” y las condiciones medioambientales complicadas (neblina acida, temperaturas extremas, zonas montañosas a gran altura, viento).

En esta sección explicaremos a fondo muchos términos que serán usados en la tesis a presentar tales como las redes multiservicio tecnologías usadas de telecomunicaciones en la mina, LTE, etc.

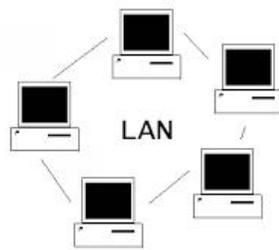
6.4. LAN

La red de área local (LAN por sus siglas en inglés) es la interconexión de varios ordenadores y periféricos. Su extensión está limitada físicamente a un edificio o

a un entorno de 200 metros o con repetidores podríamos llegar a una distancia de un campo de 1 kilómetro. Su aplicación más extendida es la interconexión de ordenadores personales y estaciones de trabajo en oficinas, fabricas, etc., para compartir recursos e intercambiar datos y aplicaciones. En definitiva, permite que dos o más maquinas se comuniquen entre sí.

Comentado [TGRA6]: referencias

Figura 6. Muestra de una red LAN



Fuente: (Google Corporation, 2006)

Comentado [TGRA7]: fuente no válida

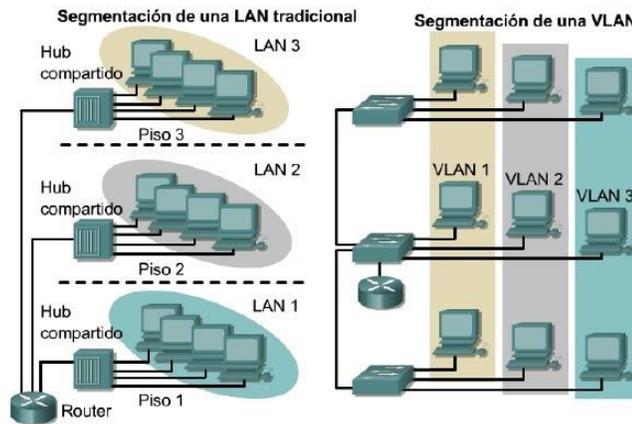
6.5. VLAN

Una VLAN es una agrupación lógica de estaciones, servicios y dispositivos de red que no se limita a un segmento de LAN físico.

Las VLANs facilitan la administración de grupos lógicos de estaciones y servidores que se pueden comunicar como si estuviesen en el mismo segmento físico de LAN. También facilitan la administración de mudanzas, adiciones y cambios en los miembros de esos grupos. (Redes Locales y Globales, s.f.)

Comentado [TGRA8]: referencias

Figura 7. Diferencia entre una VLAN y una LAN Tradicional



Fuente: (Redes Locales y Globales, s.f.)

Las VLANs segmentan de manera lógica las redes conmutadas según las funciones laborales, departamentos o equipos de proyectos, sin importar la ubicación física de los usuarios o las conexiones físicas a la red. Todas las estaciones de trabajo y servidores utilizados por un grupo de trabajo en particular comparten la misma VLAN, sin importar la conexión física o la ubicación.

La configuración o reconfiguración de las VLANs se logra mediante el software. Por lo tanto, la configuración de las VLANs no requiere que los equipos de red se trasladen o conecten físicamente.

Una estación de trabajo en un grupo de VLAN se limita a comunicarse con los servidores de archivo en el mismo grupo de VLAN. Las VLANs segmentan de forma lógica la red en diferentes dominios de broadcast, de manera tal que los paquetes solo se conmutan entre puertos y se asignan a la misma VLAN. Las VLANs se componen de hosts o equipos de red conectados mediante un único dominio de switch. El dominio de switch se admite en diferentes equipos de red.

Los switch de LAN operan protocolos de switch con un grupo de switch separado para cada VLAN.

LAS VLANs se crean para brindar servicios de segmentación proporcionados tradicionalmente por routers físicos en las configuraciones de LAN. Las VLANs se ocupan de la escalabilidad, seguridad y gestión de red.

Los routers en las topologías de VLAN proporcionan filtrado de broadcast, seguridad y gestión de flujo de tráfico. Los switch no conmutan ningún tráfico entre VLAN, dado que esto viola la integridad del dominio de broadcast de las VLAN. El tráfico solo debe enrutarse entre VLAN. (Redes Locales y Globales, s.f.)

Comentado [TGRA9]: referencias

6.6. MAN

Una red de área metropolitana (Metropolitan Área Network o MAN, en inglés) es una red de alta velocidad (banda ancha) que dando cobertura en un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y video, sobre medios de transmisión tales como fibra óptica y par trenzado (MAN BUCLE), la tecnología de pares de cobre se posiciona como una excelente alternativa para la creación de redes metropolitanas, por su baja latencia (entre 1 y 50ms), gran estabilidad y la carencia de interferencias radioeléctricas, las redes MAN BUCLE, ofrecen velocidades de 10Mbps, 20 Mbps, 45Mbps, 75Mbps, sobre pares de cobre y 100Mbps, 1Gbps y 10 Gbps mediante fibra óptica. (GPC, 2017)

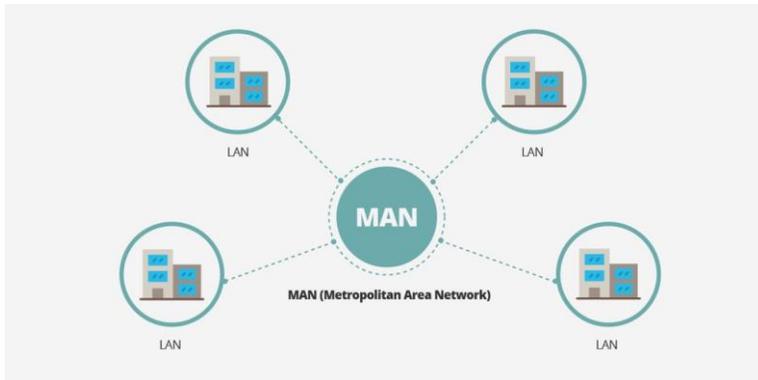
Comentado [TGRA10]: referencias

En el contexto de red de área metropolitana representa una evolución del concepto de red de área local a un ámbito más amplio, cubriendo áreas mayores que en algunos casos no se limitan a un entorno metropolitano, sino que pueden llegar a una cobertura regional e incluso nacional mediante la interconexión de diferentes redes de área metropolitana.

6.6.1. Ventajas de la red MAN

- Alta disponibilidad: Disponibilidad referida al porcentaje de tiempo en el cual la red trabaja sin fallos. Las redes de área metropolitana tienen mecanismos automáticos de recuperación frente a ellos, en el caso del cable de cobre se utiliza el bonding EFM, permitiendo la agregación de caudal en múltiples cables.
- Alta fiabilidad: fiabilidad referida a la tasa de error de la red mientras se encuentra en operación. Se entiende por tasa de error el número de bits erróneos que se transmiten por la red. En general la tasa de error para fibra óptica es menor que la del cable de cobre a igualdad de longitud. La tasa de error no detectada por los mecanismos de detección de errores es del orden de 10⁻²⁰. Esta característica permite a las redes de área metropolitana trabajar en entornos donde los errores pueden resultar desastrosos como es el caso del control de tráfico aéreo.
- Alta seguridad: la fibra óptica y el cable, son un medio seguro, porque no es posible leer o cambiar la señal sin interrumpir físicamente el enlace. La rotura de un cable y la inserción de mecanismos ajenos a la red implica una caída del enlace de forma temporal, además se requiere acceso y actuación sobre el cable, sin que este tipo de actuaciones pasen fácilmente desapercibidas.

Figura 8. Ejemplo de una red MAN.



Fuente: (GPC, 2017)

6.7.Red WAN

Las redes de área amplia (WAN por las siglas en inglés de Wide Area Network), son redes informáticas LAN y MAN interconectadas entre sí. Sus nodos están separados por distancias que pueden abarcar continentes enteros. Los integrantes de esas redes no necesariamente están conectados físicamente. Hacen uso de servicios de microondas y satelitales para integrar sus diferentes nodos. (GPC, 2017)

Comentado [TGRA11]: referencias

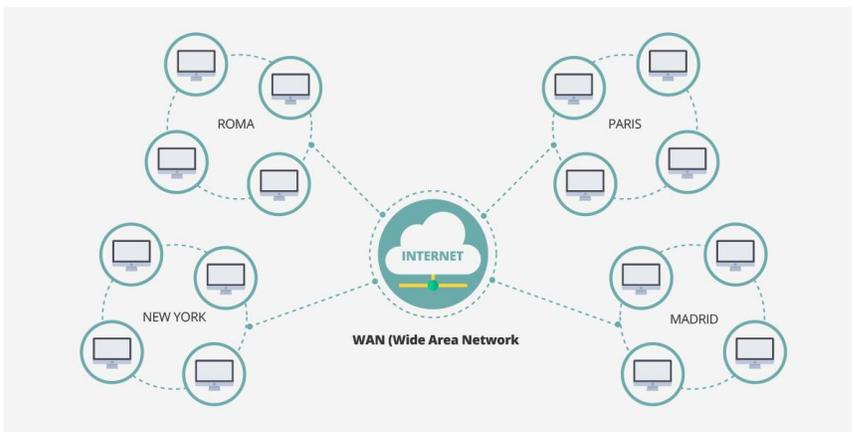
Son muy usadas por grandes empresas que abarcan mucho territorio. Generalmente necesitan usar redes privadas virtuales (VPN) para conseguir la privacidad necesaria en el intercambio de datos. Otro uso muy frecuente es para ofrecer una conexión web a clientes de grandes proveedores de internet (ISP – Internet Service Provider). Debido a la amplitud

Debido a la amplitud de su cobertura necesitan atravesar redes públicas, como las telefónicas, así como rentar servicios de transporte a otras redes privadas y usar conexiones satelitales para poder llevar la información de un lado a otro.

Su versión inalámbrica es una WWAN. Esta interconecta al resto de los nodos mediante el uso de redes de telefonía celular con tecnología LTE, WiMax, GSM, CDMA2000, UMTS, entre otras. (GPC, 2017)

Comentado [TGRA12]: referencias

Figura 9. Muestra de una red de tipo WAN



Fuente: (GPC, 2017)

6.8. Red PAN

Se denomina red de área personal la que abarca los diferentes dispositivos de uso cercano de un usuario. Teléfono celular, laptop, cámaras de fotos, tabletas, etc., son los más comunes. Permite el intercambio de archivos de manera sencilla entre los aparatos. Su versión inalámbrica hace uso de la red Wifi, el Bluetooth o los rayos infrarrojos para intercambiar información.

6.9. Red SAN

Las redes de área de almacenamiento (SAN) son una tecnología usada para enlazar unidades de almacenamiento (básicamente discos duros) a una red local, de manera de compartir su uso en todas las áreas de una empresa. Este sistema puede crecer casi ilimitadamente sin afectar el rendimiento de la red ya

que el tráfico de almacenamiento se mantiene separado del tráfico de los usuarios. (GPC, 2017)

Comentado [TGRA13]: referencias

6.10. Estándar 802.11

Una LAN 802.11 está basada en una arquitectura celular, es decir, el sistema está dividido en celdas, donde cada celda (denominada Basic Service Set, BBS) es controlada por una Estación Base llamada Punto de Acceso (AP), aunque también puede funcionar sin la misma en el caso que las maquinas se comuniquen entre ellas. Los puntos de acceso de las distintas celdas están conectados a través de algún tipo de red troncal (llamado Sistema de Distribución)

La LAN inalámbrica completamente interconectada, incluyendo las distintas celdas, los Puntos de Acceso respectivos y el Sistema de Distribución es denominada en el estándar como un conjunto de Servicio Extendido (Extended Service Set, ESS).

6.10.1. El método de acceso básico: CSMA / CA

El mecanismo de acceso básico, llamado función distribuida de coordinación, es básicamente una detección de portadora de acceso múltiple con el mecanismo anticolidión (generalmente conocido como CSMA / CA).

Un protocolo CSMA funciona de la siguiente manera: si una estación desea transmitir y el medio está ocupado (es decir, alguna otra estación está transmitiendo), la estación esperara para transmitir en un momento posterior, si el medio está libre entonces la estación puede transmitir.

Este tipo de protocolos son muy eficaces cuando el medio no está muy sobrecargado ya que permite a las estaciones transmitir con la máxima rapidez, pero siempre hay una oportunidad donde las estaciones transmiten al mismo tiempo (colisión).

Para superar estos problemas, el 802.11 utiliza un mecanismo para evitar la colisión:

Una estación dispuesta a transmitir y si el medio está ocupado, entonces se remite. Si el medio es libre por un tiempo determinado (llamado DIFS, Distributed Space Frame Inter), entonces la estación se le da el permiso para transmitir, la estación receptora comprueba el CRC de los paquetes recibidos y enviara un paquete de reconocimiento (ACK). La recepción indicara al transmisor que no existió colisión. Si el remitente no recibe el paquete de reconocimiento, entonces va a retransmitir el fragmento hasta que se reconoce o se desechan después de un determinado número de retransmisiones

Virtual Carrier Sense: Con el fin de reducir la probabilidad de colisión de dos estaciones, porque no pueden escuchar a los demás, el estándar define un mecanismo de Carrier Sense Virtual:

Una estación dispuesta a transmitir un paquete, en primer lugar, transmite un paquete de control de corta llamada RTS (Request To Send), que contara con la fuente, el destino y la duración de la operación siguiente (es decir, el paquete y el respectivo ACK), la estación de destino responderá (si el medio está libre) con una respuesta de paquetes de control de llamada CTS (Clear To Send), que incluirá la información de la misma duración.

Todas las estaciones de recepción o la estrategia en tiempo real y/o el CTS, establecerán su indicador Virtual Carrier Sense (llamado NAV, para la asignación de Vector Network), para el periodo determinado y utilizara esta información junto con la detección de portadora física al detectar el medio.

Este mecanismo reduce la probabilidad de una colisión en el área de recepción por una estación que esta "oculta" desde el transmisor, a la corta duración de la transmisión de estrategia en tiempo real, porque la estación escuchara el CTS y "reserva" el medio como ocupado hasta el final de la transacción.

También hay que señalar que por el hecho de que el RTS y CTS son tramas cortas, reduce la sobrecarga de las colisiones, ya que estos son reconocidos más rápido de lo que sería reconocido si el paquete entero fuera a ser transmitido, esto es cierto, si el paquete es significativamente más grande que la estrategia en tiempo real, por lo que la norma permite para paquetes pequeños que se transmitan sin la operación RTS/CTS, y esto es controlado por un parámetro llamado RTS Threshold.

6.10.2. Distintos tipos de protocolos 802.11

IEEE 802.11a: La revisión 802.11^a fue aprobada en 1999. Este estándar utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 GHz y utiliza 52 subportadoras de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM) con una velocidad máxima de 54 Mbit/s, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s.

Dado que la banda de 2,4 GHz es muy utilizada hasta el punto de estar llena de gente, la utilización de la relativamente inusitada banda de 5 GHz da una ventaja significativa a 802.11^a. Sin embargo, esta alta frecuencia portadora también presenta una desventaja: el intervalo global eficaz de 802.11^a es menor que el de 802.11b / g. En teoría, las señales 802.11^a son absorbidas más fácilmente por paredes y otros objetos sólidos en su trayectoria debido a su longitud de onda más pequeña, y, como resultado, no pueden penetrar hasta los de 802.11b. En la práctica, 802.11b normalmente tiene un rango más alto a bajas velocidades. 802.11^a también sufre de interferencia, pero localmente puede haber menos señales para interferir, resultando en menos interferencia y mejor rendimiento.

802.11a tiene 12 canales sin solapamiento, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

IEEE 802.11b: La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999.

802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el mismo método de acceso definido en el estándar original CSMA/CA. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2,4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5,9 Mbit/s sobre TCP y 7,1 Mbit/s sobre UDP.

Los productos que usan esta versión aparecieron en el mercado a principios del 2000, ya que 802.11b es una extensión directa de la técnica de modulación definida en la norma original. El aumento dramático del rendimiento de 802.11b y su reducido precio llevó a la rápida aceptación de 802.11b como la tecnología de LAN inalámbrica definitiva.

Los dispositivos que utilizan 802.11b pueden experimentar interferencias con otros productos que funcionan en la banda de 2,4 GHz.

IEEE 802.11c: Es menos usado que los primeros dos, por la implementación que este protocolo refleja. El protocolo 'c' es utilizado para la comunicación de dos redes distintas o de diferentes tipos, así como puede ser tanto conectar dos edificios distantes el uno con el otro, así como conectar dos redes de diferente tipo a través de una conexión inalámbrica. El protocolo 'c' es más utilizado diariamente, debido al costo que implica las largas distancias de instalación con fibra óptica, que, aunque más fidedigna, resulta más costosa tanto en instrumentos monetarios como en tiempo de instalación.

“El estándar combinado 802.11c no ofrece ningún interés para el público general. Es solamente una versión modificada del estándar 802.11d que permite combinar el 802.11d con dispositivos compatibles 802.11 (en el nivel de enlace de datos capa 2 del modelo OSI)”.

IEEE 802.11d: Publicado en el año 2001, define los requisitos de nivel físico necesarios para extender el uso de redes IEEE 802.11 a países con dominios regulatorios no incluidos en el estándar general. Permite a los puntos de acceso comunicar información sobre los canales radio admisibles con niveles de potencia aceptables para los dispositivos de los usuarios. Permite que distintos dispositivos intercambien información en rangos de frecuencia según lo que se permite en el país de origen del dispositivo móvil.

IEEE 802.11e: Su objetivo es proporcionar QoS (Calidad de servicio) en redes WLAN. La finalidad es proporcionar clases de servicio con niveles gestionados en QoS para aplicaciones de datos, voz y vídeo. Ofrece un estándar inalámbrico que permite interoperar entre entornos públicos, de negocios y usuarios residenciales, con la capacidad añadida de resolver las necesidades de cada sector. A diferencia de otras iniciativas de conectividad sin cables, ésta puede considerarse como uno de los primeros estándares inalámbricos que permite trabajar en entornos domésticos y empresariales. La especificación añade, respecto de los estándares 802.11b y 802.11^a, características QoS y de soporte multimedia, a la vez que mantiene compatibilidad con ellos. Estas prestaciones resultan fundamentales para las redes domésticas y para que los operadores y proveedores de servicios conformen ofertas avanzadas. El sistema de gestión centralizado integrado en QoS evita la colisión y cuellos de botella, mejorando la capacidad de entrega en tiempo crítico de las cargas.

IEEE 802.11f: Nace con el objetivo de lograr la interoperabilidad de puntos de acceso IEEE 802.11b/g dentro de una red WLAN con puntos de acceso de diferentes fabricantes dentro de la misma red. El estándar define un protocolo para la comunicación entre puntos de acceso que permite la transferencia de usuarios entre puntos de acceso. El protocolo IAPP (Inter Access Points Protocol) es el encargado de transferir la información de contexto para permitir el traspaso de usuarios entre puntos de acceso.

IEEE 802.11g: Este utiliza la banda de 2,4 GHz (al igual que 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, que en promedio es de 22,0 Mbit/s de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11^a. Es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del nuevo estándar lo tomó el hacer compatible ambos modelos. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

Los equipos que trabajan bajo el estándar 802.11g llegaron al mercado muy rápidamente, incluso antes de su ratificación que fue dada aprox. El 20 de junio de 2003. Esto se debió en parte a que para construir equipos bajo este nuevo estándar se podían adaptar los ya diseñados para el estándar b.

Actualmente se venden equipos con esta especificación, con potencias de hasta medio vatio, que permite hacer comunicaciones de más de 50 km con antenas parabólicas o equipos de radio apropiados.

Existe una variante llamada 802.11g+ capaz de alcanzar los 108Mbps de tasa de transferencia. Generalmente sólo funciona en equipos del mismo fabricante ya que utiliza protocolos propietarios.

IEEE 802.11h: El desarrollo del 802.11h sigue unas recomendaciones hechas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) que fueron motivadas principalmente a raíz de los requerimientos que la Oficina Europea de Radiocomunicaciones (ERO) estimó convenientes para minimizar el impacto de abrir la banda de 5 GHz, utilizada generalmente por sistemas militares.

Con el fin de respetar estos requerimientos, 802.11h proporciona a las redes 802.11^a la capacidad de gestionar dinámicamente tanto la frecuencia, como la potencia de transmisión.

Selección Dinámica de Frecuencias: DFS (Dynamic Frequency Selection) es una funcionalidad requerida por las WLAN que operan en la banda de 5 GHz con el

fin de evitar interferencias co-canal con sistemas de radar y para asegurar una utilización uniforme de los canales disponibles.

Control de Potencia del Transmisor: TPC (Transmitter Power Control) es una funcionalidad requerida por las WLAN que operan en la banda de 5 GHz para asegurar que se respetan las limitaciones de potencia transmitida que puede haber para diferentes canales en una determinada región, de manera que se minimiza la interferencia con sistemas de satélite.

IEEE 802.11i: Está dirigido a batir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación. Proporciona una alternativa al mecanismo WEP original disponible para ofrecer seguridad en este tipo de redes. Ofreciendo nuevos métodos de cifrado y procedimientos de autenticación. Estándar ratificado.

IEEE 802.11j: Fue diseñada especialmente para el mercado japonés y permite que la operación de LAN inalámbrica en la banda de 4,9 a 5 GHz se ajuste a las normas japonesas para la operación de radio para aplicaciones en interiores, exteriores y móviles. La enmienda se ha incorporado a la norma IEEE 802.11-2077 publicada.

IEEE 802.11k: Permite a los conmutadores y puntos de acceso inalámbricos calcular y valorar los recursos de radiofrecuencia de los clientes de una red WLAN, mejorando así su gestión. Está diseñado para ser implementado en software, para soportarlo el equipamiento WLAN sólo requiere ser actualizado. Y, como es lógico, para que el estándar sea efectivo, han de ser compatibles tanto los clientes (adaptadores y tarjetas WLAN) como la infraestructura (puntos de acceso y conmutadores WLAN).

IEEE 802.11m: Complemento de mantenimiento del estándar IEEE 802.11 para llevar a cabo correcciones técnicas y aclaraciones sobre los distintos estándares. El grupo de trabajo del mismo nombre se encarga del mantenimiento del

estándar, respondiendo a las peticiones de información y definiendo las líneas de trabajo del mantenimiento futuro del estándar.

IEEE 802.11n: Su principal objetivo es ofrecer una mayor velocidad de Tecnologías en redes WLAN, con un objetivo inicial de alcanzar los 100mbps. En enero de 2004, el IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 (Tgn) para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. La velocidad real de transmisión podría llegar a los 600 Mbps (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta diez veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11^a y 802.11g, y unas cuarenta veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar gracias a la tecnología MIMO (Multiple Input – Multiple Output), que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas (3). La mayor parte de los fabricantes ya incorpora a sus líneas de producción equipos wifi 802.11n, por este motivo la oferta ADSL, ya suele venir acompañada de wifi 802.11n, como novedad en el mercado de usuario doméstico.

IEEE 802.11p: Este estándar opera en el espectro de frecuencias de 5,90 GHz y de 6,20 GHz, especialmente indicado para automóviles. Será la base de las comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC). La tecnología DSRC permitirá el intercambio de datos entre vehículos y entre automóviles e infraestructuras en carretera. Además, agrega el Wireless Access in Vehicular Environments o WAVE (acceso inalámbrico en entornos vehiculares), un sistema de comunicación vehicular. Esta mejora es muy usada en la implementación de los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT). Esto incluye el intercambio de datos entre vehículos y entre vehículos y la infraestructura de las carreteras por las que circulan.

IEEE802.11r: También se conoce como Fast Basic Service Set Transition, y su principal característica es permitir a la red que establezca los protocolos de seguridad que identifican a un dispositivo en el nuevo punto de acceso antes de que abandone el actual y se pase a él. Esta función, que una vez enunciada parece obvia e indispensable en un sistema de datos inalámbricos, permite que la transición entre nodos demore menos de 50 milisegundos. Un lapso de esa magnitud es lo suficientemente corto como para mantener una comunicación vía VoIP sin que haya cortes perceptibles.

IEEE 802.11s: Es el estándar en desarrollo para redes Wi-Fi malladas, también conocidas como redes Mesh. La malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos. Según la normativa 802.11 actual, una infraestructura Wi-Fi compleja se interconecta usando LAN's fijas de tipo Ethernet. 802.11s pretende responder a la fuerte demanda de infraestructuras WLAN móviles con un protocolo para la autoconfiguración de rutas entre puntos de acceso mediante topologías multisalto. Dicha topología constituirá un WDS (Wireless Distribution System) que deberá soportar tráfico unicast, multicast y broadcast. Para ello se realizarán modificaciones en las capas PHY y MAC de 802.11 y se sustituirá la especificación BSS (Basic Service Set) actual por una más compleja conocida como ESS (Extended Service Set).

IEEE 802.11v: Fue publicada en 2011. Y servirá para permitir la configuración remota de los dispositivos cliente. Esto permitirá una gestión de las estaciones de forma centralizada (similar a una red celular) o distribuida, a través de un mecanismo de capa de enlace de datos (capa 2). Esto incluye, por ejemplo, la capacidad de la red para supervisar, configurar y actualizar las estaciones cliente. Además de la mejora de la gestión, las nuevas capacidades proporcionadas por el "11v" se desglosan en cuatro categorías:

1. mecanismos de ahorro de energía con dispositivos de mano VoIP Wi-Fi en mente
2. posicionamiento, para proporcionar nuevos servicios dependientes de la ubicación
3. temporización, para soportar aplicaciones que requieren un calibrado muy preciso
4. coexistencia, que reúne mecanismos para reducir la interferencia entre diferentes tecnologías en un mismo dispositivo.

IEEE 802.11w: Este protocolo extiende la seguridad inalámbrica del estándar 802.11i a las tramas de gestión para evitar escuchas y falsificaciones. En este ejemplo, un punto de acceso y un cliente se configuran para utilizar tramas de gestión 802.11w e intercambian todas las claves necesarias.

1- El punto de acceso envía una solicitud de medición 802.11k unicast y el cliente transmite los resultados. En ambos casos, los contenidos del mensaje se ocultan al agresor.

2- El agresor intenta enviar una solicitud de medición falsificada. Como no conoce la clave, no puede encriptar adecuadamente la solicitud de medición y el cliente la deshecha sin ningún daño.

3- El punto de acceso utiliza un código de integridad del mensaje para enviar una trama broadcast a los clientes con el fin de regular su potencia. Los clientes verifican el mensaje con la clave de integridad. El agresor también ve el mensaje y conoce los contenidos, pero no puede crear un nuevo mensaje falso a partir de éste.

4- El agresor intenta emitir un mensaje de desautenticación. Los clientes reciben el mensaje y comparan sus claves de uso único con la del mensaje. Dado que el

agresor no conoce la clave del punto de acceso, las claves no coincidirán y los clientes ignorarán el mensaje de forma segura.

6.11. OFDM

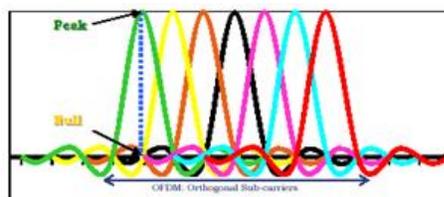
Es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación multicarrier considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo. La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de carriers que están espaciados entre sí en distintas frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las propias.

El funcionamiento de la modulación OFDM divide el espectro del canal disponible dentro de algunas subportadoras independientes. Esto se logra haciendo todas las portadoras ortogonales entre ellas, evitándose así interferencia. En una señal OFDM todas las subportadoras son transmitidas simultáneamente.

La ortogonalidad se logra haciendo coincidir los picos del espectro de las subportadoras con los valores nulos del espectro de las otras subportadoras pertenecientes al mismo canal, obteniéndose como resultado un perfecto alineamiento y espaciado de las señales subportadoras.

Comentado [TGRA14]: formato

Figura 10. OFDM



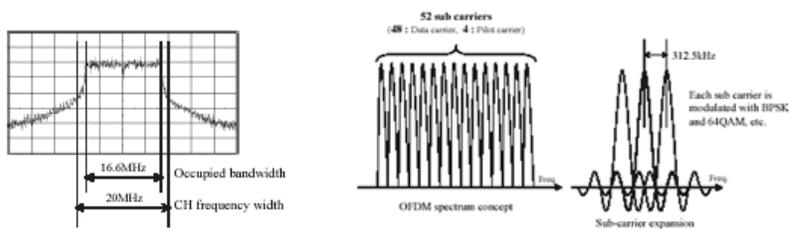
Fuente: (del Valle, 2013)

Las señales subportadoras independientes son individualmente moduladas y desmoduladas. Si una o dos subportadoras son degradadas o impactadas por el desvanecimiento selectivo en frecuencia (señales a diferentes frecuencias se propagan y viajan a velocidades diferentes), el impacto es mínimo una vez que la información es ensanchada a través de los desechos de subportadoras. La transmisión simultánea de varias subportadoras permite una alta tasa de transmisión de datos. Una vez que la señal de OFDM es transmitida en varias subportadoras paralelas, los bits para detección y corrección de errores (FEC) son insertados en las mismas, los cuales son utilizados en el receptor para recobrar bits perdidos debido a la interferencia o multitrayectorias. Este mecanismo de corrección de errores permite a OFDM maximizar la fiabilidad de la transmisión de los datos.

En este tipo de modulación el ancho de banda requerido es de 16.6 MHz, pero se le asigna 20 MHz por canal debido a que se le agrega unas pequeñas bandas de guarda en dicho canal. Existen 52 subportadoras ortogonales por canal las cuales están divididas en dos grupos, uno de 48 portadoras de datos y otro de 4 portadoras piloto. Las subportadoras poseen una separación de 312,5 kHz entre ellas y son moduladas digitalmente, por ejemplo, con BPSK, 64QAM, etc.

Comentado [TGRA15]: formato

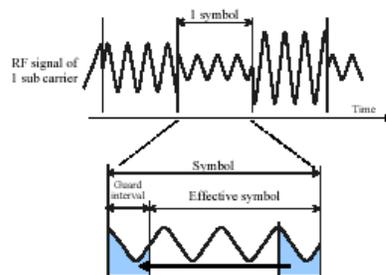
Figura 11. Sub Carrier



Fuente: (del Valle, 2013)

Otro procedimiento característico en este tipo de modulación es que al momento de enviar los símbolos se le agrega un intervalo de guarda a la duración efectiva del mismo.

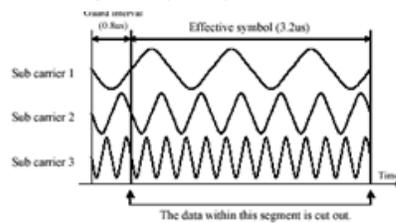
Figura 12. Symbol OFDM



Fuente: (del Valle, 2013)

La duración del símbolo efectivo es de 3.2 ms motivo este por el cual la separación entre subportadoras es de 312,5 kHz.

Figura 13. Symbol efectivo OFDM



Fuente: (del Valle, 2013)

El intervalo de guarda posee un tiempo de 0,8 ms, dicho intervalo se agrega debido que de esta manera se reduce la interferencia ocasionada por las señales que llegan retrasadas como consecuencia de las multitrayectorias.

6.12. 3GPP

El Proyecto de Asociación para la Tercera Generación (3GPP) es una organización mundial de comunicaciones inalámbricas que desarrolla

estándares o especificaciones en colaboración para arquitecturas de radiocomunicaciones, redes centrales y servicios. El 3GPP inicialmente desarrolló el Sistema Global para Comunicaciones Móviles, o GSM, que es la tecnología celular más ampliamente utilizada en el mundo, con una participación de mercado de más del 90 por ciento y más de 6,5 mil millones de suscripciones. (5gamericas, 2015)

GSM, considerada una tecnología de segunda generación (2G), ofrece servicios de voz y datos conmutados por circuitos y es la red *legacy* de la evolución a las tecnologías del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), también conocida como Acceso Múltiple en Banda Ancha por División de Código (WCDMA).

UMTS, High Speed Packet Access (Acceso a Paquetes a Alta Velocidad o HSPA, por su sigla en inglés) y HSPA+ comprenden la evolución tecnológica a 3G y la tecnología de banda ancha móvil más ampliamente desplegada en el mundo. HSPA es el término empleado para referirse al despliegue en una red de tecnología HSDPA (3GPP Release 5) como así también HSUPA (3GPP Release 6). HSPA Plus (HSPA+ en el 3GPP Release 7 y posteriores) es también parte de la tecnología HSPA y prorroga la inversión de un operador en la red antes de dar el siguiente paso a 3GPP Long Term Evolution (Evolución para el Largo Plazo o LTE, según la sigla en inglés, o 3GPP Release 8 y posteriores).

A mediados de 2014, había más de 550 redes HSPA y HSPA+ disponibles a nivel comercial en más de 200 países alrededor del mundo.

La cuarta generación (4G) de tecnología para 3GPP es LTE, que pasó a ser la tecnología móvil de mayor crecimiento. El rápido despliegue comercial de LTE había llegado a más de 300 redes comerciales en más de 100 países a mediados de 2014. LTE-Advanced según 3GPP Release 10 comenzó su

despliegue comercial en 2014 y se esperaba que estuviera disponible en hasta 40 redes para el término del año. (5gamericas, 2015)

6.13. LTE

LTE (Long Term Evolution) o el E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network) es el punto de acceso del Evolved Packet System (EPS en inglés). Los principales requisitos para el acceso a la red nueva son de alta eficiencia espectral, alta velocidad en peak de datos y flexibilidad de

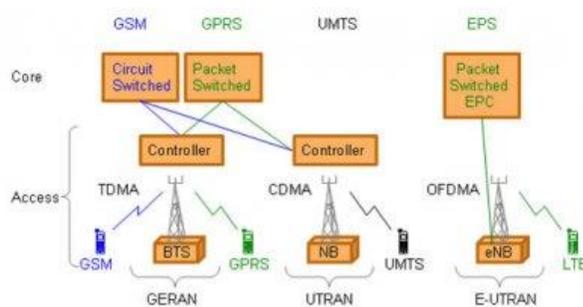
Figura 14. Diagrama que muestra la solución de red GSM a LTE

frecuencia.

Comentado [TGRA16]: formato

Comentado [TGRA17]: formato

Fuente: (Nohrborg, 2018).



GSM fue desarrollado para transportar servicios de tiempo real, en un modo de conmutación de circuitos (en azul en la figura 1), con los servicios de datos que sólo son posibles a través de un circuito de conexión de conmutación de módem, con velocidades de datos muy bajas. El primer paso hacia una basada en paquetes IP conmutada (en verde en la figura 1) solución se hizo con la evolución de GSM a GPRS, utilizando la interfaz de aire mismo y método de acceso, TDMA (Time Division Multiple Access).

Para alcanzar mayores velocidades de datos y el volumen de datos UMTS se desarrolló con una red de acceso nuevo, basado en la tecnología CDMA (Code Division Multiple Access). La red de acceso UMTS emula un circuito para la conexión de conmutación de servicios de tiempo real y una conexión de conmutación de paquetes para servicios de comunicación de datos (en negro en la figura 1). En UMTS, la dirección IP es asignada al UE cuando un servicio de comunicación de datos se establece y se libera cuando el servicio es liberado. Recepción de servicios de comunicación de datos, por lo tanto, sigue confiando en el núcleo de conmutación de circuitos para paginación.

El Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS) es puramente basado en IP. Ambos servicios en tiempo real y servicios de comunicación de datos se realizan por el protocolo IP. La dirección IP se asigna cuando el móvil está encendido y se libera cuando se desconectan.

La solución de acceso nuevo, LTE, se basa en OFDMA (Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia) para ser capaz de alcanzar incluso mayores velocidades de datos y los volúmenes de datos. Modulación de orden alto (hasta 64QAM), ancho de banda mayor (de hasta 20 MHz) y de transmisión MIMO en el enlace descendente (hasta 4x4) es también una parte de la solución. La mayor tasa de datos teórica es 170 Mbps en el enlace ascendente y MIMO con la tasa puede ser tan alta como 300 Mbps en el enlace descendente.

6.13.1. La motivación para LTE

- Necesidad de garantizar la continuidad de la competitividad del sistema 3G para el futuro
- Usuario demanda de mayores velocidades de datos y la calidad de servicio

- Conmutador de paquetes de sistema optimizado
- Continua demanda de reducción de costos
- Baja complejidad respecto a otras tecnologías
- Evitar la innecesaria fragmentación para tecnologías pareadas y no pareadas en operación de banda.

Comentado [TGRA18]: formato

6.14. Desafío de las redes inalámbricas en minas a rajo abierto

Comentado [TGRA19]: Falta capítulo de definición de requerimientos, debe ir posterior al plan de tesis.

Las redes inalámbricas tradicionales son muy céntricas en el ámbito de radio frecuencia. Su principio de diseño es simple, y consiste en el uso de radios de alto poder e instalarlos tan alto como sea posible para así llegar lo más lejos posible. Esta solución asegura que se necesita menos infraestructura para tener cobertura.

La mayoría de los vendedores de red inalámbrica siguen este modelo hoy cuando despliegan bandas anchas de redes inalámbricas. Cuando se enfrentan con un problema de cobertura o de red, la típica solución es agregar antenas de mayor ganancia, ampliando los clientes o agregando más infraestructura. Mientras estas soluciones sin duda aumentarán la potencia de señal en algunas áreas, también incrementarán drásticamente el ruido base y causarán problemas adicionales de cobertura y rendimiento. Estos nuevos problemas típicamente aparecerán en áreas ligeramente diferentes de la red. Así un ciclo vicioso inicia, ya que el mantenedor de la red está tentado a agregar infraestructura adicional a estas nuevas áreas problemáticas u obtener señales más fuertes de parte de los dispositivos de los clientes.

Comentado [TGRA20]: Esto debería estar en el marco teórico

6.15. Aspectos legales de Subtel.

Comentado [TGRA21]: Marco teórico

La Subtel tiene unos aspectos legales respecto a las frecuencias utilizadas, es importante tener en cuenta estos aspectos legales al realizar modificaciones y/o mejoras en la red. La siguiente imagen es un Screenshot del artículo que modifica

la resolución exenta número 1327, citada en la letra c, la ventaja de estar en un lugar tan aislado es que no hay que preocuparse por interferencias debido a lo solitario de la zona.

Figura 15. Decreto de la Subtel que modifica la resolución N° 1321

LEYES, REGLAMENTOS, DECRETOS Y RESOLUCIONES DE ORDEN GENERAL														
Núm. 41.947	Miércoles 3 de Enero de 2018	Página 1 de 2												
Normas Generales														
CVE 1328710														
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES														
Subsecretaría de Telecomunicaciones														
MODIFICA RESOLUCIÓN N° 1.321 EXENTA, DE 2017, DE LA SUBSECRETARÍA DE TELECOMUNICACIONES														
(Resolución)														
Santiago, 18 de diciembre de 2017.- Con esta fecha se ha resuelto lo que sigue: Núm. 2.523 exenta.														
Vistos:														
a) El decreto ley N° 1.762, de 1977, que creó la Subsecretaría de Telecomunicaciones;														
b) La Ley N° 18.168, General de Telecomunicaciones;														
c) La resolución exenta N° 1.321, de 2017, de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, que fijó la norma técnica para el uso de la banda de frecuencias 380 - 395 MHz por servicios limitados de telecomunicaciones;														
d) La resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República, que Fija Normas sobre Exención del Trámite de Toma de Razón, y														
Considerando:														
a) Que se ha estimado necesario considerar el uso de la banda 2.300 - 2.325 MHz para soluciones de banda ancha de carácter privado destinadas esencialmente al desarrollo industrial;														
b) La necesidad de administrar eficientemente la utilización del espectro radioeléctrico; y en uso de mis atribuciones legales,														
Resuelvo:														
Artículo único. Modifíquese la resolución exenta N° 1.321, de 2017, citada en la letra c) de los vistos, en el siguiente sentido:														
1. Reemplácese, en el texto de la Ref. donde dice "La Banda de Frecuencias 380 - 395 MHz" por "Las Bandas de de Frecuencias 380 - 395 MHz y 2.300 - 2.325 MHz".														
2. Reemplácese, en el texto del resuelvo y del artículo 1°, donde dice "la banda de frecuencias 380 - 395 MHz" por "las bandas de frecuencias 380 - 395 MHz y 2.300 - 2.325 MHz".														
3. Incorpórese a continuación del cuadro del artículo 3°, lo siguiente:														
"La canalización a emplear en la banda 2.300 - 2.325 MHz será la siguiente:														
<table border="1"><thead><tr><th>Canal N°</th><th>Banda de Frecuencias (MHz)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>2.300 - 2.305</td></tr><tr><td>2</td><td>2.305 - 2.310</td></tr><tr><td>3</td><td>2.310 - 2.315</td></tr><tr><td>4</td><td>2.315 - 2.320</td></tr><tr><td>5</td><td>2.320 - 2.325</td></tr></tbody></table>	Canal N°	Banda de Frecuencias (MHz)	1	2.300 - 2.305	2	2.305 - 2.310	3	2.310 - 2.315	4	2.315 - 2.320	5	2.320 - 2.325		
Canal N°	Banda de Frecuencias (MHz)													
1	2.300 - 2.305													
2	2.305 - 2.310													
3	2.310 - 2.315													
4	2.315 - 2.320													
5	2.320 - 2.325													

Fuente: <https://www.subtel.gob.cl/>

6.16. La filosofía del diseño de redes según 3D-P

Comentado [TGRA22]: Debe ir en marco teórico con las respectivas referencias

La filosofía de diseño de 3d-p para una red inalámbrica confiable consiste en la creación de áreas individuales de cobertura para punto de acceso (AP o Access point por sus siglas en inglés) y minimizar las zonas superpuestas utilizando el terreno, las antenas de baja ganancia y las configuraciones de baja potencia. Esto garantiza una huella de RF minimizada de cada zona AP y también ayuda a gestionar la congestión en el medio inalámbrico. Para crear estas pequeñas zonas de RF, los AP se montan en un nivel bajo, muy cerca del área de cobertura prevista. El diseño final se compone de muchas zonas de RF pequeñas diseñadas con el objetivo de mantener el RF local y maximizar el rendimiento de los protocolos.

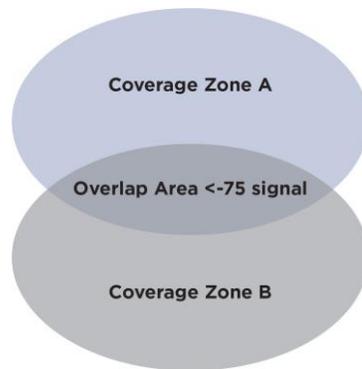
La Figura 20 proporciona un ejemplo de dos puntos de acceso, cada uno con una zona de cobertura adecuada. Los clientes que viajan a través de la Zona A se comunicarán con el AP desde la Zona A hasta que alcancen el área de cobertura superpuesta entre la Zona A y la Zona B. En esta área, el administrador de conexión comenzará a forzar un escaneo para un nuevo AP.

Una vez que se recibe el AP de la Zona B como una señal más fuerte que el AP de la Zona A, el cliente se asociará con el AP de la Zona B.

Cuando el cliente haya salido del área de cobertura superpuesta de ambos puntos de acceso, recibirá el punto de acceso de la Zona B lo suficientemente fuerte como para que no busque más puntos de acceso adicionales.

La comunicación a la Zona B AP no será interferida por la comunicación en la Zona A vecina, ya que el margen entre la intensidad de la señal de la Zona B y la de la Zona A AP será lo suficientemente grande como para que el cliente pueda comunicarse con una interferencia mínima.

Figura 16. Zonas de coberturas

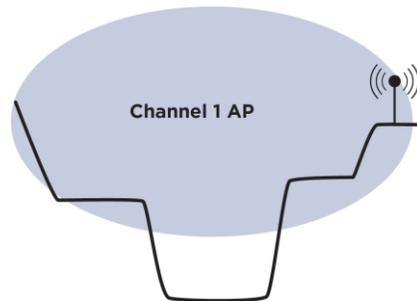


Fuente: (3D-P, 2016)

La figura que se presenta a continuación muestra un ejemplo de una sección transversal de un pozo. En este ejemplo, se utiliza un solo AP para proporcionar una zona de cobertura en todo el foso. Este es a menudo el plan de despliegue original en muchas redes. Este plan de implementación puede funcionar bien en

el caso de que pocos clientes trabajen en la zona de cobertura o donde el requisito de rendimiento de esos clientes sea mínimo.

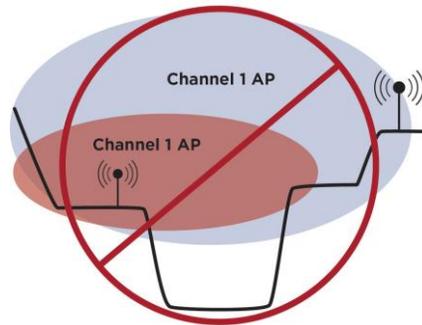
Figura 17. Representación de cobertura dentro de un pozo



Fuente: (3D-P, 2016)

A medida que aumenta el rendimiento y el número de clientes de la fosa, la solución típica es la que se muestra en la siguiente figura. Se agrega un nuevo AP al foso para proporcionar un rendimiento / cobertura adicional. Sin embargo, la interferencia que crea este nuevo AP es a menudo la causa de nuevos problemas. Los clientes que viajan a través del foso percibirán un piso de mayor ruido y tendrán problemas para comunicarse claramente con cualquiera de los AP. A menudo, el aumento de la ganancia de la antena en el cliente intenta sacar la comunicación de este cliente del ruido. Esto nuevamente agrava el problema para otros clientes en pozos cercanos ya que su nivel de ruido efectivo se ha incrementado por la antena de mayor ganancia en este cliente.

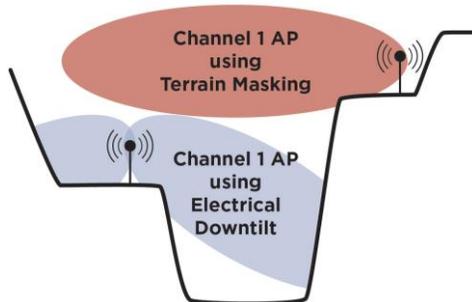
Figura 18. Interferencia dentro del pozo por nueva AP



Fuente: (3D-P, 2016)

El uso del terreno y la inclinación eléctrica hacia abajo en uno de los puntos de acceso puede proporcionar dos zonas de cobertura no superpuestas para estos puntos de acceso. Esto se muestra en la Figura que está a continuación. Esta es una buena solución ya que los clientes que trabajan en los dos bancos del foso tienen una opción clara de AP para utilizar para su comunicación, y se minimiza la interferencia superpuesta.

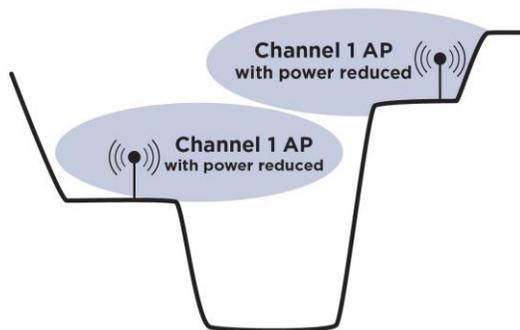
Figura 19. Solución a sobre posición de canales.



Fuente: (3D-P, 2016)

La energía también se puede utilizar para reducir la interferencia entre dos zonas de cobertura adyacentes. La siguiente figura muestra un ejemplo de esto.

Figura 20. Otra opción con el mismo propósito de la figura 24



Fuente: (3D-P, 2016)

6.17. Buenas prácticas para la gestión de conexiones.

Comentado [TGRA23]: Debe ir en marco teórico con las respectivas referencias

Otro elemento importante para obtener el máximo rendimiento de una red inalámbrica es la administración de la conexión. Cuando se implementan soluciones de mallado del cliente, como el Rajant ME4 o el Punto final inteligente (IEP) 3D-P con ME4 integrado, la gestión de la conexión es administrada por el algoritmo de mallado. Sin embargo, cuando clientes con estándares 802.11 son utilizados se debe incorporar administradores de conexión.

La gestión de conexión estándar desde dispositivos de consumo está diseñada principalmente para roaming de estilo de oficina o campus. En estas redes, los dispositivos intentan mantener un enlace a un AP conectado el mayor tiempo posible. Se permiten algunos ajustes en la "adherencia" de la conexión en un intento de permitir una itinerancia más rápida. Con estos dispositivos, los eventos de itinerancia pueden tardar más de un segundo en completarse. (3D-P, 2016)

En el entorno de la minería, mantener una conexión con un AP preferido durante el mayor tiempo posible puede parecer una buena idea, ya que reduce los eventos de itinerancia y, por lo tanto, el tiempo de itinerancia. Sin embargo, al

mantener un solo AP durante el mayor tiempo posible, el ancho de banda del cliente se sacrifica debido a las distancias más largas a los AP.

Más allá del problema de la distancia, el diseño de una red para estas conexiones va en contra del diseño celular que se describe en este documento y conduce a una mayor superposición entre las zonas de cobertura y un aumento del piso de ruido y la congestión. El rendimiento general de la red se reduce.

3D-P ha diseñado una inteligencia significativa en los algoritmos de administración de conexión utilizados en los IEP equipados con 802.11n para reducir el tiempo de itinerancia. El IEP utiliza el escaneo en segundo plano para mantener una lista de los AP disponibles. Cuando un AP proporciona un aumento de rendimiento suficientemente significativo, el IEP se desplazará a ese AP. El roaming en redes no desplegadas y desplegadas de manera adecuada generalmente ocurre en menos de 100 ms. En este entorno, mientras que el roaming ocurre con más frecuencia, la latencia de roaming requerida se minimiza, mientras que el rendimiento del IEP y la capacidad general de la red aumentan considerablemente. (3D-P, 2016)

6.18. Conclusión

Diseñar una red inalámbrica para una mina es drásticamente diferente de diseñar redes interiores, o incluso redes urbanas al aire libre. Se debe hacer un gran esfuerzo para minimizar la superposición entre las zonas AP, así como la congestión dentro de estas zonas. Una vez que la red se implementa correctamente, se requiere un mantenimiento continuo para mantener las zonas de RF optimizadas a medida que la mina avanza, los cambios de terreno y los cambios en el área de trabajo. (3D-P, 2016)

6.19. Desafíos de LTE en las minas a rajo abierto.

La introducción de LTE a la comunidad inalámbrica ha generado mucha discusión acerca de las posibilidades de esta nueva tecnología en el sector de redes inalámbricas industriales, y particularmente en la minería. Los usuarios esperan poder utilizar LTE con promesas de mayor previsibilidad, capacidad y velocidad para las redes inalámbricas, así como una capacidad mejorada de roaming inalámbrico con respecto a algunas de las tecnologías existentes que se utilizan en el entorno resistente actual. (3D-P, 2016)

3D-P se compromete a proporcionar las mejores redes inalámbricas en entornos mineros e industriales, y está constantemente probando y desarrollando futuras mejoras inalámbricas. LTE no es una excepción. 3D-P proporciona a nuestros clientes tanto la infraestructura LTE como los productos para clientes, y nuestras implementaciones más antiguas de LTE se remontan a 2013.

Como con cualquier nueva tecnología, hay fortalezas y debilidades en LTE. Como socio de tecnología inalámbrica, 3D-P ayuda a nuestros clientes a elegir las mejores tecnologías inalámbricas para sus requisitos particulares. Hay un ajuste para LTE en algunas redes industriales, pero los desafíos deben entenderse y las soluciones deben incorporarse en el diseño general de la red.

La tecnología y los protocolos utilizados para LTE son significativamente diferentes de las redes basadas en 802.11 que se implementan actualmente en muchos sitios mineros. La emoción y la exageración que vienen con cualquier despliegue de nueva tecnología en el mundo del consumidor deben entenderse y, en muchos casos, observarse a medida que se presentan las peculiaridades de la tecnología individual. Es importante recordar que no hay magia.

Las nuevas tecnologías y las antiguas aún tienen las mismas restricciones según las leyes de la física. Los despliegues tempranos de LTE están haciendo cumplir nuestra comprensión de estas leyes. Las lecciones que hemos aprendido de los

Comentado [TGRA24]: Debe ir en marco teórico con las respectivas referencias

primeros usuarios de LTE ayudan a 3D-P a continuar implementando las mejores soluciones de LTE para nuestros clientes a medida que esta tecnología madura. (3D-P, 2016)

6.19.1. Métodos de LTE

Hay muchos fabricantes de equipos inalámbricos, incluidos Redline y Motorola, que han desarrollado hardware LTE diseñado específicamente para entornos industriales. Estas soluciones incluyen tanto la infraestructura de red como la red de retorno y la infraestructura inalámbrica de eNodeB. Y estas soluciones han bajado significativamente en precio, haciendo que las ubicaciones de infraestructura por debajo de \$ 100k se conviertan en realidad. Los beneficios adicionales surgen en la implementación de estos núcleos de paquetes locales, ya que la conmutación y el enrutamiento siguen siendo locales, lo que disminuye significativamente la latencia y la inestabilidad. Estos hechos permiten el despliegue de múltiples torres en una mina y resuelven muchos de los desafíos que las torres de alto costo crearon alrededor de la cobertura en la cara de trabajo. (3D-P, 2016)

En algunos casos, las minas han podido desplegar redes LTE totalmente privadas. En otros, las redes trabajan en conjunto con la red de los operadores, incluso compartiendo la capacidad para los dispositivos de los usuarios finales, como los teléfonos celulares, y la gestión de roaming, facturación, etc.

En todos los casos, para implementar una red LTE, se deben resolver los siguientes desafíos.

6.19.2. Disponibilidad de espectro

LTE trabaja en espectros con licencia. Este es uno de los factores que impulsan la emoción alrededor de LTE. El uso de canales con licencia y las metodologías de acceso a medios utilizadas por LTE proporcionan niveles significativos de previsibilidad, incluida la gestión de los parámetros de los clientes, como las tasas

Comentado [TGRA25]: Debe ir en marco teórico con las respectivas referencias

Comentado [TGRA26]: Debe ir en marco teórico con las respectivas referencias

de información comprometida y las capacidades de calidad de servicio (QoS). El desafío viene en obtener el espectro para ejecutar una red LTE. (3D-P, 2016)

En regiones remotas de Australia, es posible adquirir licencias privadas de espectro LTE para operar. Sin embargo, en América del Norte en particular, todo el espectro reservado para LTE es propiedad de los proveedores de servicios de LTE. Existen soluciones para superar este primer desafío al trabajar con los operadores para obtener los derechos para ejecutar una red en sus frecuencias. Cuando se implementa en áreas remotas y remotas, esto puede ser posible, ya que los transportistas pueden no tener diseños para implementar en esas áreas. Sin embargo, incluso en esas situaciones, obtener los derechos de ese espectro es un obstáculo importante que debe superarse antes de avanzar hacia el despliegue de LTE. (3D-P, 2016)

6.19.3. Alto costo de infraestructura

Cuando se compara con la infraestructura tradicional 802.11, los costos de la infraestructura LTE pueden parecer desalentadores. Sin embargo, la introducción de productos como Ellipse eNodeB de Redline y FlexCore Evolved Packet Core ha reducido significativamente los costos de implementación de una red LTE.

Por supuesto, el costo de implementar una red LTE rara vez es el costo de una sola torre. Incluso cuando el espectro está disponible en los espacios de baja frecuencia, como 700MHz, normalmente se necesitan múltiples torres para proporcionar una cobertura completa, como se explica en la siguiente sección de este documento. Sin embargo, incluso en estos casos, la infraestructura de LTE ha llegado al punto en que se puede justificar el precio, si los beneficios de la tecnología son realmente necesarios. (3D-P, 2016)

6.19.4. Cobertura en las zonas de trabajo.

a cobertura dentro y alrededor de las palas siempre ha sido un desafío en la minería. El terreno puede proporcionar un obstáculo importante para la cobertura

en muchos casos, especialmente en cortes de caída y otras áreas estrechamente confinadas. Las palas y las líneas de dragado en sí mismas también suelen ser una causa importante de puntos ciegos para los camiones de acarreo, los bulldozers y otros equipos que trabajan cerca de este equipo, ya que pueden bloquear la señal debido al sombreado de RF. (3D-P, 2016)

En las implementaciones de redes de minería 802.11 tradicionales, a menudo se implementa una solución de malla o un hotspot en la pala o en la propia línea de dragado para resolver estos desafíos de cobertura. La implementación de una red híbrida LTE y Wi-Fi puede proporcionar la misma solución para una implementación LTE. En una posible solución de red híbrida, un punto de acceso Wi-Fi en la pala utilizaría LTE como backhaul para brindar cobertura a los equipos que trabajan dentro y alrededor de la pala. Otra alternativa podría utilizar una solución de mallado de clientes Wi-Fi alrededor de la pala para solucionar estos puntos ciegos. Los camiones y otros clientes podrían vagar entre la solución LTE y Wi-Fi disponible de manera similar a los usuarios de teléfonos celulares que vagan entre LTE y Wi-Fi cuando usan un punto de acceso de LTE en una cafetería. Existen otras ventajas muy importantes para una red híbrida, que se analizan en secciones posteriores de este documento. (3D-P, 2016)

6.19.5. Throughput asimétrico

LTE está diseñado para usuarios que desean extraer más datos de la red, en comparación con enviar datos a la red. Por ejemplo, los usuarios de teléfonos celulares que navegan por la web o usan aplicaciones de redes sociales consumen mucha más información que la que envían a la red. Más allá de esta función de diseño básico, a menudo es mucho más fácil que el teléfono celular típico “escuche” las transmisiones desde la torre celular de alta potencia que la transmisión desde la antena y la radio mucho más débiles en el teléfono celular para llegar a la torre. (3D-P, 2016)

Además, la solución LTE asimétrica proporciona cierta protección para las redes LTE, ya que la densidad de los clientes LTE puede aumentar mucho, en cuyo caso los transmisores de menor potencia en los dispositivos del usuario ayudan a garantizar la reutilización de la frecuencia de las celdas cercanas. En consecuencia, el rendimiento asimétrico es una característica del diseño de LTE. Desafortunadamente para los usuarios de la minería, este es el perfil de datos opuesto para las aplicaciones de minería, que por lo general envía mucha más información de la que obtienen. (3D-P, 2016)

El resultado es una red que tiene una capacidad de rendimiento limitada, en comparación con las redes 802.11n de alta capacidad actuales. La resolución de este desafío se maneja nuevamente mediante el uso de tecnologías adicionales en conjunto con la solución LTE. Se debe utilizar una red en capas e híbrida para resolver estos problemas.

La red híbrida se describe anteriormente, que consta de puntos de acceso Wi-Fi (AP) en toda la red, lo que permite la comunicación directamente a los clientes Wi-Fi, que pueden o no ser capaces también de una comunicación LTE directa. La solución en capas entra en juego en varias ubicaciones de datos clave.

- Primero, al backhauling directo de muchos de los puntos de acceso de Wi-Fi a una red de punto a multipunto (PMP), a menudo llamada "capa de distribución", en lugar de a través de la propia LTE. Esto libera ancho de banda en la red LTE para otras comunicaciones.
- La capa de distribución también se puede utilizar para conectar cámaras, edificios y otros lugares que no tienen los mismos requisitos de movilidad que el cliente LTE típico, eliminando nuevamente el tráfico de los enlaces LTE asimétricos.
- Finalmente, estas capas de red adicionales se utilizan para conectar torres celulares remotas o eNodeB que podrían implementarse en remolques

solares alrededor de la red, de vuelta al núcleo del paquete, lo que aumenta aún más la cobertura de la propia red LTE.

6.19.6. Conexión L3

Uno de los mayores desafíos con LTE en un entorno de minería es el requisito de las aplicaciones de minería para comunicarse a través de una conexión de Capa 2 (L2), mientras que LTE es una tecnología de Capa 3 (L3).

En términos simples, la mayoría de las aplicaciones de minería esperan poder alcanzar su servidor de red dentro de la misma red, sin embargo, cuando se conectan a una red LTE, su tráfico se enruta fuera de la red (L3). Existen varias soluciones para esto, que generalmente incluyen la creación de algún tipo de túnel que encapsula el tráfico de las aplicaciones y lo entrega a través de la red L3 a la red del servidor, de manera que tanto el servidor como la aplicación no necesitaban participar. Estos túneles requieren cierto nivel de capacidad de cálculo en ambos lados del enlace. Esto suele ser trivial en el lado del servidor de la oficina, pero no es el caso a bordo del equipo. Se requiere un dispositivo de computación de borde de algún tipo detrás del módem LTE para crear este túnel.

La computación perimetral también se requiere para permitir el roaming entre la red LTE y los puntos de acceso Wi-Fi que han creado la red híbrida que resolvió algunos de los problemas anteriores discutidos. (3D-P, 2016)

Para estos clientes, la solución híbrida también puede ser muy interesante, ya que puede proporcionarles conectividad y rendimiento en áreas que pueden no estar cubiertas por la red celular existente de los principales operadores.

6.19.7. Conclusión.

Si bien LTE proporciona varias ventajas clave, la principal es la capacidad de crear cierta previsibilidad en una red inalámbrica móvil, no es la solución adecuada para muchas implementaciones. En aquellos casos en los que es la

solución adecuada, la mayoría de las veces se requiere una red híbrida y en capas, que incluya una capa de backhaul y distribución, así como puntos de acceso Wi-Fi, para obtener los beneficios completos de LTE y permitir el rendimiento y Conectividad requerida por las aplicaciones mineras de hoy.

Comentado [TGRA27]: Debe ir en marco teórico con las respectivas referencias

6.20. Tecnologías usadas en minería a rajo abierto.

Las tecnologías utilizadas en distintas minas son según sus requerimientos en esta tesis se utiliza un sistema de monitoreo de la mina a cargo de la compañía Modular Mining la cual fue fundada en 1979 la cual en ese año lanzo un producto innovador el sistema de gestión de flotas DISPATCH y gracias a este, impulso para desarrollar otros softwares que serán definidos a continuación, las definiciones expuestas acá, serán extraídas de las fuentes de sus propios fabricantes.

6.20.1. DISPATCH:

El sistema de gestión de flotas DISPATCH® para minas a cielo abierto permite a los emprendimientos más importantes del mundo maximizar su producción y su eficiencia, al tiempo de aumentar la seguridad y el control. Aprovechando el hardware y el software de comunicaciones líderes del mercado, junto con las mejores prácticas de negocios, el sistema DISPATCH proporciona optimización de flota probada en el campo mismo de la industria minera.

Las funciones avanzadas incluyen posicionamiento del equipo por GPS, monitoreo del estado del equipamiento, monitoreo del mantenimiento, gestión de mezclas y obtención de informes de producción. Con más de 30 años de reconocimiento de su algoritmo de optimización y más de 200 instalaciones en todo el mundo, el sistema DISPATCH es considerado como el estándar de la industria para sistemas de gestión de flotas. (Modular Mining Systems, 2018)

6.20.2. PROVISION.

6.20.2.1. Sistema de navegación para palas:

Con el sistema ProVision® Shovel, los operadores son guiados por GPS de alta precisión hasta alcanzar el material correcto, mantener el grado de inclinación adecuado, respetar las profundidades de excavación necesarias y operar dentro de las especificaciones óptimas de la máquina.

El sistema se integra completamente con software de planificación de minería, proporcionado al operador actualizaciones en tiempo real de los límites del mineral para mejorar la gestión de los recursos. El dispositivo móvil de abordaje muestra la elevación en tiempo real de acuerdo con la planificación original, ayudando a reducir el trabajo redundante sobre el grado del antepecho y mejorando el rendimiento de excavación en antepechos siguientes. El sistema puede detectar el direccionamiento incorrecto de cargas y evitarlo gracias a una integración perfecta con el sistema DISPATCH. Cuando se trata de mejorar la eficiencia del operador, ahorrar costos y garantizar la seguridad, cada trabajo del balde cuenta. (Modular Mining Systems, 2018)

6.20.2.2. Sistema de navegación para cargadores.

El sistema ProVision® Loader permite a los operadores de cargas aumentar la productividad y ajustarse al plan minero. El sistema aprovecha GPS de alta precisión para rastrear continuamente el movimiento real del balde de carga en relación con los límites del material, el grado del antepecho, las capas de material y las pendientes.

Las comunicaciones inalámbricas, de gran ancho de banda, proporcionan lecturas de topografía y geología a los operadores de carga; la integración con

los planes mineros permite actualizaciones en tiempo real directamente al dispositivo móvil a bordo. El modelo digital de terreno, compartido, permite la realización de proyectos conjuntos entre cualquier unidad provista con ProVision, lo que es especialmente útil cuando las excavadoras trabajan alrededor de las cargadoras. Además, la detección de proximidad y riesgos de abordó contribuye a mejorar la seguridad del operador. (Modular Mining Systems, 2018)

6.20.2.3. Sistema de navegación para excavadoras.

El sistema ProVision® Dozer racionaliza el proceso de trabajo de la excavadora al distribuir información relacionada entre el plan minero, las operaciones mineras y los operadores de la excavadora en el yacimiento. Desde el dispositivo móvil de abordó, los operadores de la excavadora y de los camiones son guiados activamente a: mantener el grado del antepecho, crear rampas de acuerdo con la planificación y operar el equipo dentro de las especificaciones óptimas.

Por medio de GPS de alta precisión, el sistema rastrea continuamente el movimiento real de la excavadora en relación con el diseño final del suelo, las zonas de reserva y el equipamiento circundante. La planificación centralizada y la retroalimentación en tiempo real permiten a los operadores trabajar eficientemente sin banderas, estacas u otros dispositivos señalizadores, reduciendo el trabajo redundante y eliminando los costos de orientación. Múltiples excavadoras pueden realizar el trabajo sobre el mismo proyecto actualizando un modelo digital del terreno, compartido. Las herramientas de gestión centralizada permiten monitorear y obtener informes sobre el rendimiento de cualquier excavadora u operador en particular. Además, la detección de proximidad y riesgos de abordó contribuye a mejorar la seguridad del operador. (Modular Mining Systems, 2018)

6.20.3. PREVAIL.

La industria minera es altamente innovadora en su búsqueda de una mayor eficiencia y seguridad. Y su equipo de P&H tiene un papel determinante en esta búsqueda. Mantener el equipo funcionando a niveles altos de productividad y confiabilidad es un factor clave para lograr un buen control de los costos y el crecimiento de las utilidades.

La tecnología del sistema de gestión de condiciones a distancia PreVail (RHM) proporciona a los equipos de mantención y operaciones datos de rendimiento y estado de la máquina de manera eficiente y oportuna. Con esta información, sus equipos pueden concentrarse en optimizar la producción y en aplicar estrategias de mantención enfocadas en la confiabilidad. El resultado es un esfuerzo focalizado en mayores niveles de confiabilidad, productividad y rentabilidad. Su funcionamiento se basa en 3 fases:

El sistema PreVail RHM utiliza módulos de Monitoreo de equipo basado en la condición (CBEM) para detectar ciertas tendencias de datos del sistema que se desvían de los límites de control normal.

Cuando la recopilación y análisis de datos en tiempo real revela una anomalía de datos del sistema, el modelo CBEM reconoce este problema y su impacto potencial en el estado de la máquina. Responde emitiendo una Notificación básica inicial (first-snapshot notification, FSN) a la oficina de soporte más cercana.

Nuestro personal de monitoreo y pronóstico del estado de las máquinas actúa conforme a la notificación FSN comprobando, interpretando y verificando el progreso. Después envía una orden de trabajo para dar inicio a la medida correctiva. (Komatsu Mining, 2018)

6.20.4. Telemetría y Teleoperación (Teleprocess).

El Gabinete Teleprocess GTA – construido por SISDEF LTDA – permite automatizar los Pozos de Agua distribuidos al interior de la mina, incorporando tecnología certificada para realizar “Teleoperación y Telemetría” de procesos y que, en conjunto con la arquitectura de control del gabinete, habilitan la capacidad de controlar y monitorear de manera inalámbrica las señales asociadas al proceso de extracción de agua desde pozos. Su estructura auto soportada y construcción robusta hacen posible su instalación a intemperie al interior de la mina, asegurando su funcionamiento incluso en condiciones climáticas extremas; y su diseño estanco garantiza el correcto cuidado de la electrónica presente al interior del gabinete.

Entre los principales beneficios de automatizar y habilitar la “Teleoperación y Telemetría” del proceso de extracción de agua desde pozos, se pueden mencionar:

- Controlar y monitorear – en tiempo real – de manera confiable y segura, cada proceso de extracción de agua incorporado al Sistema de Teleoperación y Telemetría de Pozos.
- Establecer redundancias de seguridad asociados a la protección de equipos y personas, que aseguren el correcto funcionamiento del proceso.
- Almacenar datos históricos respecto a la operación y funcionamiento de cada pozo.
- Evitar la exposición innecesaria del personal a ambientes hostiles presentes al interior de la mina para tareas de operación y monitoreo de cada pozo.
- Optimizar los tiempos de acción y reacción asociados a la operación de pozos, considerando que los accesos al interior de la mina no siempre son expeditos o simplemente el ingreso a mina está restringido.

Figura 21. Equipos e instalaciones de Teleoperación y Telemetría.



Fuente: (SISDEF Ingeniería e Integración, 2018)

El control y monitoreo "REMOTO" de cada pozo se realiza desde una Estación de Ingeniería (PC dedicado), que incorpora un Sistema SCADA encargado de desplegar – en tiempo real – toda la información crítica de proceso en una sola pantalla, para que esta pueda ser evaluada por el operador conforme a los datos obtenidos desde la mina; lo que permite:

Planificar actividades asociadas a la operación y cuidado de los equipos que participan en el proceso de extracción de agua.

Optimizar los tiempos de reacción frente a situaciones de uso normal o situaciones de emergencia, sin tener que asistir a terreno.

Figura 23. Caseta LEICA actualmente instalada en el Rajo Rosario



Fuente: elaboración propia

6.20.5.1. Control de desprendimientos

Cada año, los desprendimientos de tierra causan enormes daños y grandes pérdidas económicas a minas, propiedades residenciales y comerciales, autopistas y líneas de ferrocarril. En la minería, los ingenieros geotécnicos se encuentran bajo una presión cada vez mayor para aumentar los ángulos de pendiente con el fin de aumentar la productividad. Esto aumenta también el riesgo de fallo de pendientes.

Los sistemas de auscultación de Leica Geosystems gestionan los riesgos mediante la detección precoz de inestabilidades.

6.20.5.2. Estaciones Totales.

Las estaciones totales de Leica Geosystems fijan el estándar de precisión y fiabilidad. Están diseñadas específicamente para los exigentes requerimientos de la auscultación continua y son únicas en su clase.

6.20.6. Ground Probe.

Ground Probe fue la primera empresa en introducir el radar de estabilidad de taludes en la industria minera. Hoy, los sistemas SSR son utilizados por la empresa de minería importantes del mundo, tanto para monitorear de forma activa taludes críticos para la producción como para monitoreo en segundo plano de taludes en general.

SSR (Radar de Estabilidad de Taludes en español) combina las fortalezas del radar y la información visual para brindar un panorama completo de los movimientos de un talud. El SSR utiliza un radar para medir de forma remota el movimiento de superficies rocosas y utiliza imágenes visuales para confirmar y mostrar el resultado. Este sistema dual de medición permite que los ingenieros geotécnicos y personal de la mina pueden controlar con seguridad los movimientos en taludes y establecer sistemas de alarma para mejorar la seguridad y optimizar la productividad.

Los sistemas SSR funcionan de manera confiable en las condiciones más extremas, y son ideales para diversas aplicaciones de minería a cielo abierto.

Existen otras áreas de aplicaciones para el SSR dentro de las que se pueden mencionar la ingeniería civil y la construcción.

7. Benchmark

A continuación, se describirán las distintas compañías que podrían ser candidatos para ser usados en la solución de la red multiservicio ya sea por sus características.

7.1. Redline Communications.

Redline Communications es el innovador de Virtual Fiber™, un robusto producto inalámbrico de banda ancha utilizado por compañías y gobiernos en todo el mundo para desplegar y administrar, de manera económica, los servicios y aplicaciones distribuidas. Los resistentes productos de Redline suministran conectividad máquina a máquina a través de áreas extensas e incluso en los ambientes más hostiles, y son utilizadas para facilitar y mejorar redes de seguridad pública, desarrollar y expandir las redes seguras, y conectar los campos de petróleo digitales y las redes inteligentes. Redline ha estado entregando sistemas inalámbricos poderosos, versátiles y confiables a los gobiernos, a la industria militar, a la industria de petróleo y gas y de telecomunicaciones durante más de una década a través de socios certificados en América, Medio Oriente y África Su buena calidad en equipamiento y su reputación hablan por sí solas por lo cual es un candidato que tener en consideración a la hora de pensar en la solución buscada. (Redline Communications, 2018)

Comentado [TGRA29]: formato de la figura, debe ir bajo el texto

Figura 24. Logo de Redline

The logo for Redline Communications features the word "redline" in a bold, lowercase, red sans-serif font. Below it, the word "communications" is written in a smaller, lowercase, grey sans-serif font. A registered trademark symbol (®) is positioned to the upper right of the "e" in "redline".

Fuente: (Redline Communications, 2018)

7.2. Cisco Enterprise

Cisco es una empresa global que tiene sede en varios países en el orbe, fundada en 1984 por un grupo pequeño de científicos de la Universidad de Stanford. Fue creciendo hasta posicionarse actualmente como uno de los líderes del mercado en diversas áreas, tales como routing y switching, comunicaciones unificadas, soluciones inalámbricas y seguridad. Esto lo convierte en un candidato para tener en cuenta siempre cuando se tenga pensado y proponer una solución para una red inalámbrica ya sea industrial minera u hogareña, además de eso según la propia empresa son 5 los principales beneficios a los cuales las empresas mineras pueden acceder a través del internet industrial de las cosas: (Cisco Enterprise, 2018)

- Mejora en la eficiencia y fiabilidad de la producción mediante el seguimiento de todos los aspectos de las operaciones a través de toda la cadena de producción: de la mina al puerto.
- Protección a los trabajadores a través de tecnologías de localización, capacidad de operar de manera remota y de monitorear áreas de trabajo peligrosas
- Incremento en la productividad mediante el intercambio de información en todos los procesos y aplicaciones empresariales.
- Reducción de riesgos y mejora en el cumplimiento y en la seguridad a través de medidas ambientales, físicas y digitales.
- Reducción de costos de producción gracias a la visibilidad en tiempo real de los activos que ayuda a identificar de manera anticipada potenciales problemas.

Figura 25. Logo de Cisco



Fuente: (Cisco Enterprise, 2018)

Comentado [TGRA30]: formato de la figura, debe ir bajo el texto

7.3. Rajant

Rajant Corporation es el proveedor exclusivo de redes inalámbricas privadas impulsado por la tecnología patentada Kinetic Mesh, BreadCrumb® nodos de la red, y InstaMesh® software de red. Con Rajant, los clientes pueden desplegar rápidamente una red altamente adaptable y escalable que aprovecha la potencia de bienes – los datos de tiempo para entregar en – demanda, inteligencia crítica para el negocio desde el campo. BreadCrums Rajant pueden integrar a la perfección con cualquier red Wi-Fi o Ethernet – Dispositivo para entregar baja conectada – latencia, alta – aplicaciones de datos de rendimiento, voz y video a través de la, auto malla – red de curación. Con la capacidad de tomar las aplicaciones de red privada y los datos de todo el mundo, las redes Rajant se utilizan en una amplia gama de industrias, incluyendo la militar, industrial, transporte, servicios públicos, telecomunicaciones y todos los niveles de gobierno, gracias a la robustez en sus equipos, en el caso de la minería es un perfecto candidato para analizar sus equipos y puedan cumplir con las inclemencias ambientales de la zona minera. (Rajant Corporation, 2018)

Figura 26. Logo de Rajant



Fuente: (Rajant Corporation, 2018)

Comentado [TGRA31]: formato de la figura, debe ir bajo el texto

7.4. Radwin

Radwin es una empresa que tiene como objetivo entregar alta calidad en ancho de banda por medio de conexión inalámbrica, no siendo superior a 6Ghz, sus productos tienen una buena recepción en donde sus competidores flaquean, además de eso se destacó que para el rescate de los mineros de la minera San José (Network World España, 2011), se usó tecnología de la compañía Radwin para mantener comunicación constante con los mineros luego de haber sido encontrados, la cual según ellos fue clave a la hora de poder mantener una comunicación optima y continua con los afectados bajo tierra, esta es una de las razones por las cuales se indagara respecto a su desempeño operacional y su componentes puedan cumplir con las exigencia presentadas más adelante.

Figura 27. Logo de Radwin



Fuente: (Radwin Enterprise, 2018)

Comentado [TGRA32]: formato de la figura, debe ir bajo el texto

7.5. Nokia

Con base en la experiencia adquirida a nivel mundial en proyectos en el sector minero, Nokia ha entendido la real necesidad por la búsqueda de nuevas tecnologías, aplicaciones y soluciones que tienen por objetivo aumentar la seguridad física de las personas que trabajan en la mina día a día. Como proveedor de tecnología reconocido en el mercado y con sus dos laboratorios de desarrollo, Bell Labs y Nokia Technologies, Nokia ha desarrollado en términos de infraestructura de red componentes, como EPC, CPEs y aplicaciones pensadas

para misión crítica que satisfacen las necesidades del sector minero de manera general. (Nokia Corporation, 2018)

Figura 28. Logo de Nokia



Fuente: (Nokia Corporation, 2018)

Comentado [TGRA33]: formato de la figura, debe ir bajo el texto

8. Enfoques Metodológicos.

En esta sección se hará una breve explicación respecto a las dos metodologías (gestión y trabajo) que serán utilizadas para este proyecto y los cuáles serán los que se usarán en este proyecto

8.1. Metodología de Trabajo en cascada

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

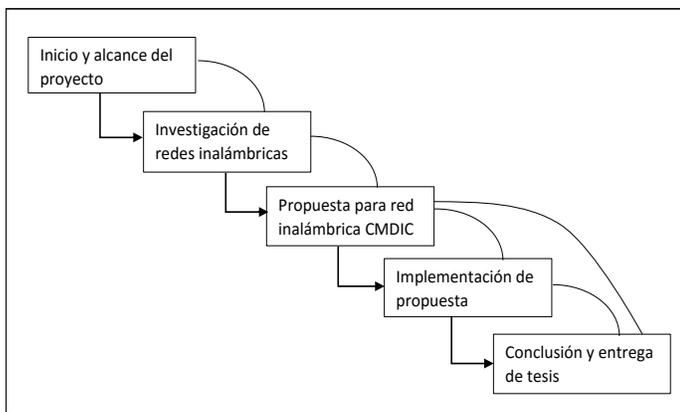
Este método está dividido en las siguientes etapas.

- **Análisis:** En esta etapa se reúnen las necesidades del cliente o en nuestro caso la necesidad de realizar el proyecto de investigación, en casi todos los casos lo que se obtiene de acá son documentos escritos.
- **Diseño:** En esta etapa se describe la estructura interna del proyecto de investigación para así descomponer y organizar las distintas tareas que se

pueden realizar por separado, en esta etapa se suele representar esta información con diagramas y documentos escritos.

- Implementación: En esta etapa se realizan todos los estudios financieros y técnicos que se proponen en el proyecto de investigación.
- Integración: En esta etapa se unen y estudian los resultados de los estudios financieros y técnicos y se verifica si se cumplen los objetivos tanto general como específicos planteados con anterioridad y se pasa a realizar conclusiones.

Figura 29. Diagrama de metodología en cascada.



Fuente: Elaboración propia

8.2. Metodología de gestión

Para esta metodología usaremos el sistema PMBOK el cual son las siglas de Project Management Body of Knowledge, es una guía la cual establece un criterio de las buenas prácticas relacionadas con la gestión, la administración y la dirección de proyectos mediante la implementación de técnicas y herramientas que permiten identificar un conjunto de 47 procesos, distribuidos a su turno en 5 macro procesos generales. Las gestiones que hay dentro de PMBOK son 10 las cuales son:

Gestión de la integración: implica tomar decisiones referidas a la asignación de recursos, balancear objetivos y manejar las interdependencias entre las áreas de conocimiento. (conexionesan, 2016)

Gestión del alcance: incluye aquellos procesos requeridos para garantizar que el proyecto cuente con todo el trabajo necesario para completarlo exitosamente. Su objetivo principal es definir y controlar qué se incluye y qué no se incluye en el proyecto. (conexionesan, 2016)

Gestión del tiempo: incorpora los procesos necesarios para administrar la finalización del proyecto a tiempo. Estos procesos son: definición de las actividades, establecer las secuencias de las actividades, estimar los recursos de las actividades, programar la duración de las actividades, y desarrollar y controlar el cronograma. (conexionesan, 2016)

Gestión de los costos: contiene los procesos relacionados con estimar, presupuestar y controlar los costos de tal manera que el proyecto se ejecute con el presupuesto aprobado. (conexionesan, 2016)

Gestión de la calidad: aquí se encuentran los procesos y actividades que determinan responsabilidades, objetivos y políticas de calidad para que el proyecto sea ejecutado satisfactoriamente. (conexionesan, 2016)

Gestión de los recursos humanos: se consideran los procesos relacionados con la organización, gestión y conducción del equipo del proyecto. Este equipo es conformado por las personas a quienes se les asigna roles y responsabilidades para completar el proyecto. (conexionesan, 2016)

Gestión de las comunicaciones: implementa los procesos necesarios mediante los cuales se busca que la generación, recopilación, distribución, almacenamiento, recuperación y disposición final de la información del proyecto sean adecuados y oportunos. (conexionesan, 2016)

Gestión de los riesgos: aquí se desarrollan los procesos relacionados con la planificación de la gestión, la identificación, el análisis, la planificación de respuesta a los riesgos, así como su monitoreo, control y minimización en un proyecto. (conexionesan, 2016)

Gestión de las adquisiciones: abarca los procesos de compra o adquisición de los insumos, bienes y servicios que se requiere para hacer realidad el proyecto. (conexionesan, 2016)

Gestión de los interesados: desarrolla los procesos que hacen posible la identificación de las personas, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados por el proyecto. Se busca conocer y evaluar las expectativas de los interesados y su impacto en el proyecto. (conexionesan, 2016)

De las 10 gestiones de conocimiento se eligieron 5, las cuales se explicarán a continuación la razón de su elección:

- Gestión de Tiempo: Esta gestión se involucra debido a que se elaborará una línea de tiempo a través de una carta Gantt que será presentada más adelante.
- Gestión de Alcance: es necesario tener un orden de los conocimientos necesarios para poder desarrollar el proyecto de una manera óptima y eficiente
- Gestión de Riesgo: Como toda investigación, siempre existirán riesgos es por ello por lo que esta gestión de riesgo nos ayudara a conocer las vulnerabilidades, debilidades y falencias que pueden tener las distintas compañías que serán analizadas y así tener en cuenta estos riesgos a la hora de elegir uno de estos fabricantes.
- Gestión de Adquisiciones: Se elige esta gestión porque habrá que tener una estructura de todos los tipos de adquisiciones hechas por cada fabricante para poder cumplir con el objetivo esperado.

- Gestión de interesados: Se incluye esta gestión, porque el cumplimiento del objetivo general de la investigación afectara de manera ya sea negativa o positivamente a las partes involucradas a lo largo del proyecto (empresas, personas, etc.).

La siguiente figura muestra el EDT que se creó en base a la metodología de trabajo PMBOK.

Figura 30. EDT según gestión PMBOK



Fuente: Elaboración propia
90

9. Plan de tesis

A continuación, para medir la gestión de tiempo y las metas establecidas para tener un orden del proyecto, se estableció la siguiente carta Gantt con las distintas tareas a realizar en el transcurso de la duración de la tesis.

10. Definición de Requerimientos

10.1. Introducción.

En este capítulo se hablará sobre la definición de los requerimientos necesarios para una solución tecnológica viable para la mina, sin embargo, antes de hablar de los requerimientos es necesario saber la situación actual para poder contextualizar adecuadamente el proyecto.

10.2. Situación actual de la red inalámbrica CMDIC

La red inalámbrica que se encuentra actualmente operativa en Collahuasi, está compuesta por un Backbone y dos redes de acceso.

- a. Backbone: Compuesta de switch administrables con enlaces de fibra óptica y enlaces inalámbricos del tipo punto a punto.
- b. Redes de Acceso: Compuesta por Switch administrables y enlaces inalámbricos del tipo punto – multipunto
 - i. Red de Acceso multiservicio, vendor Alvarion.
 - ii. Red de Acceso Masterlink, vendor Cisco.

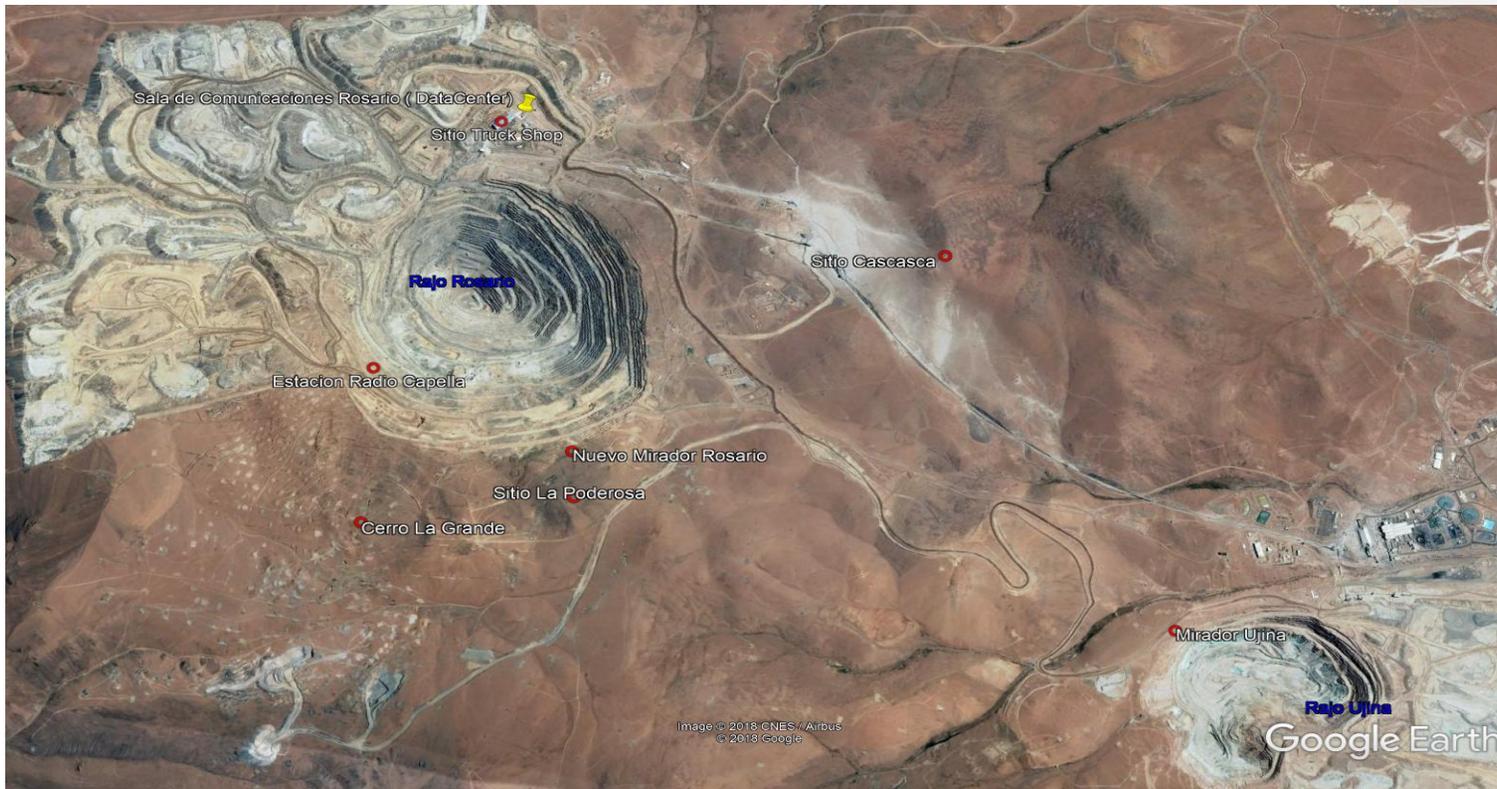
10.2.1. Levantamiento de la ubicación de cada sitio.

La red multiservicio Collahuasi está compuesta por varios equipos remotos y autónomos que se encuentra alrededor y al interior de los Rajos Rosario y Ujina. Estos equipos, que son denominados celdas de acceso, están ubicados en puntos estratégicos tanto fuera como en el interior del rajo para brindar cobertura en zonas de difícil acceso y así brindar comunicación a los clientes o suscriptores móviles o semi-moviles en el interior mina.

La siguiente figura, extraída de Google Earth, ubica los sitios donde se encuentra instalado el equipamiento inalámbrico y switch's.

Comentado [TGRA34]: ¿esto corresponde al desarrollo de la solución? Si es así el capítulo debe nombrarse "Desarrollo de la solución". Previo a dicho capítulo, debe venir uno llamado "Análisis de posibles soluciones". En donde se comparan dos o más posibles soluciones, justificando la escogida.

Figura 32. Sitios estratégicos de la red Multiservicio Collahuasi.



Fuente: Autoria propia.

Debido a la operación minera, muchos clientes van cambiando de lugar, los cuales son los encargados de monitorear el estado del rajo.

La red se divide en Alvarion y MasterLink y ambas integran la siguiente estructura:

- Backbone Switch.
 - El Backbone Switch está conformado por:
 - Switch administrable Truck Shop.
 - Switch administrable sitio Cascasca.
 - Switch administrable sitio La Poderosa.
 - Switch administrable cerro La Grande.
- La red de acceso está conformada por:
 - Infraestructura: son las celdas de acceso principal, capaces de dar cobertura a sectores y entregar comunicación a repetidores fijos y repetidores móviles.
 - Truck Shop
 - La Grande
 - Cerro Cascasca
 - Nuevo Mirador Rosario
 - La Poderosa
 - Repetidores Fijos: son celdas de acceso, capaces de entregar conectividad directa a los equipos y/o usuarios, los que proveen una cobertura mejorada a sectores de difícil cobertura desde la infraestructura. Estas se enlazan directamente a sitios de Infraestructura.
 - Estacionamiento Llama
 - Mirador Ujina
 - Repetidores Móviles: son celdas de acceso, capaces de entregar conectividad directa a los equipos y/o usuarios, desde puntos remotos

que proveen una cobertura mejorada a sectores de difícil cobertura desde la Infraestructura. Estas se enlazan directamente a la Infraestructura o a través de Repetidores Fijos si aplica. Estos Repetidores Móviles, dada su característica ofrecen la flexibilidad necesaria para entregar cobertura a áreas con posibles cambios topológicos y/o geológicos a corto plazo.

- Se cuenta con dos tipos de repetidores móviles:
 - Cell Extender Alvarion
 - Wap MasterLink

10.2.1.1. Detalle Levantamiento Backbone Switch

El Backbone consta de switch's administrables, ubicados en la sala comunicaciones Rosario, sitios Truck Shop, La Cascasca, La Poderosa, La Grande y Mirador Ujina respectivamente.

- Core y distribución de la red: Ubicado en la sala de comunicaciones Rosario, los cuales se llaman:
 - SW-CORE-DIST-AUT-SCR-01
 - SW-CORE-DIST-AUT-SCR-02
 - Firewall
- El core cuenta, además, con 28 VLANS de las cuales 8 están divididas en administrativas, 18 están relacionadas en aplicación además de 1 VLAN nativa y una VLAN que controla el anillo EAPS. En la siguiente figura se muestra como están separadas las VLAN por el sector que están asignadas, mientras en la sección de APLICACIONES están las VLAN que controlan los aparatos como el control del sueño PREVAIL el Wifi las comunicaciones por VoIP, mientras que las de administración están relacionadas para los camiones, perforadoras, palas la VLAN del Backbone además de la infraestructura de la mina.

Nota: todo el Core y distribución está configurado y cableado en alta disponibilidad.

Los siguientes diagramas muestran las VLAN's creadas y sus direcciones dentro del Core, la figura siguiente muestra la sección del core dentro del Backbone

AUTOMATIZACION – RED INALAMBRICA IP logical Network

VLAN IntellMine , ID:3 192.168.12.0/25	192.168.12.1
VLAN GEOTECNIA , ID:4 192.168.14.128/24	192.168.14.129
VLAN CCTV , ID:9 192.168.17.0/25	192.168.17.1
VLAN VoIP , ID:10 192.168.17.128/25	192.168.17.129
VLAN SCADA , ID:11 192.168.18.0/25	192.168.18.1
VLAN AGUILA , ID:12 192.168.18.128/25	192.168.18.129
VLAN TERRALITE , ID:13 192.168.19.0/24	192.168.19.1
VLAN PC's , ID:14 192.168.20.0/24	192.168.20.1
VLAN MATRIKON , ID:15 192.168.21.0/24	192.168.21.1
VLAN PREVAIL , ID:16 192.168.22.0/24	192.168.22.1
VLAN MIDAS , ID:17 192.168.23.0/24	192.168.23.1
VLAN MONITOREO , ID:18 192.168.24.0/24	192.168.24.1
VLAN SISTEMAS , ID:19 192.168.25.0/24	192.168.25.1
VLAN MASTERLINK , ID:20 172.17.0.0/16	172.17.0.1
VLAN CONTROL_SUEÑO , ID:24 192.168.26.0/24	192.168.26.1
VLAN CAM_ORLACO , ID:25 192.168.27.0/24	192.168.27.1
VLAN CMDIC_WIFI , ID:26 192.168.28.0/24	192.168.28.1
VLAN CPe , ID:30 192.168.30.0/24	192.168.30.1
VLAN BACKBONE , ID:2 192.168.13.0/25	192.168.13.1
VLAN INFRAESTRUCTURA , ID:21 192.168.13.64/26	192.168.13.65
VLAN REPETIDORES , ID:22 192.168.13.128/26	192.168.13.129
VLAN Cpe_Movil , ID:23 192.168.13.192/26	192.168.13.193
VLAN PALA , ID:5 192.168.14.128/25	192.168.14.129
VLAN CAMIONES , ID:6 192.168.15.0/24	192.168.15.1
VLAN PERFO , ID:7 192.168.16.0/25	192.168.16.1
VLAN AUXILIARES , ID:8 192.168.16.128/25	192.168.16.129
VLAN NATIVE , ID:100	→
VLAN CONTROL-EAPS-CMDIC	→

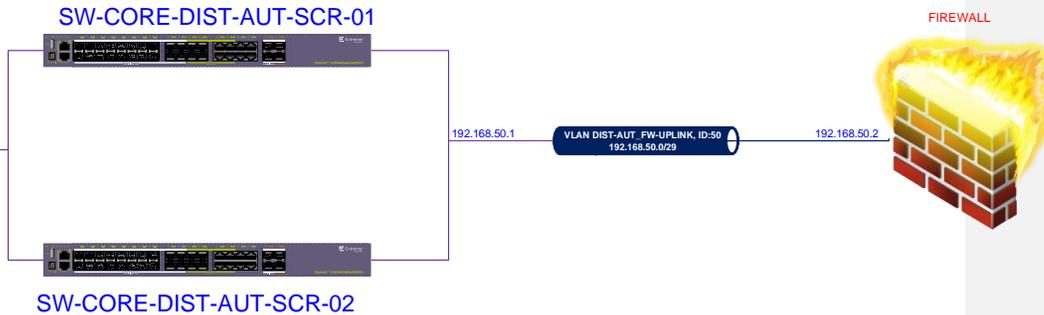
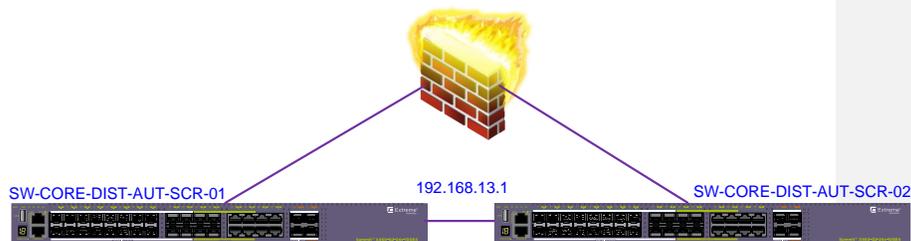


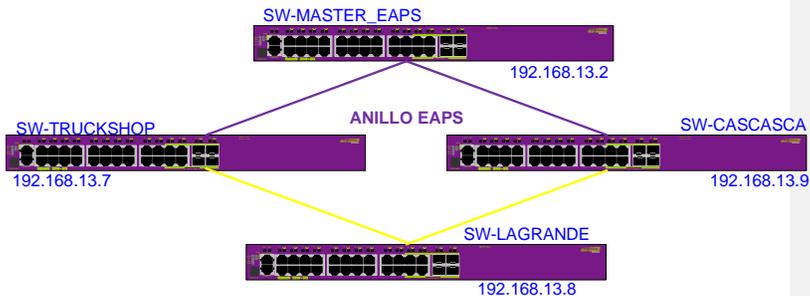
Figura 33. Core en el bloque de Acceso



Fuente: Autoría Propia

- Acceso: Ubicado en sala de comunicaciones Rosario, Truckshop, Cascasca, Cerro La Grande, conforman una topología de anillo, la cual está gestionada por el protocolo de conmutación EAPS (Ethernet Automatic Protection Switching por sus siglas en ingles).

Figura 34. Topología de tipo Anillo o Eaps



Fuente: Autoría Propia.

Además de los mencionados anteriormente, están los ubicados en Radio estación Capella, Estacionamiento Llama, Mirador Rosario, Mirador Ujina, los servidores que están también en la sala de

comunicaciones rosario, y los switch's Videowall y Automatización ubicados en una oficina adyacente a la sala de comunicaciones rosario (a 50 mts. aprox.). Los nombres de estos switch's son:

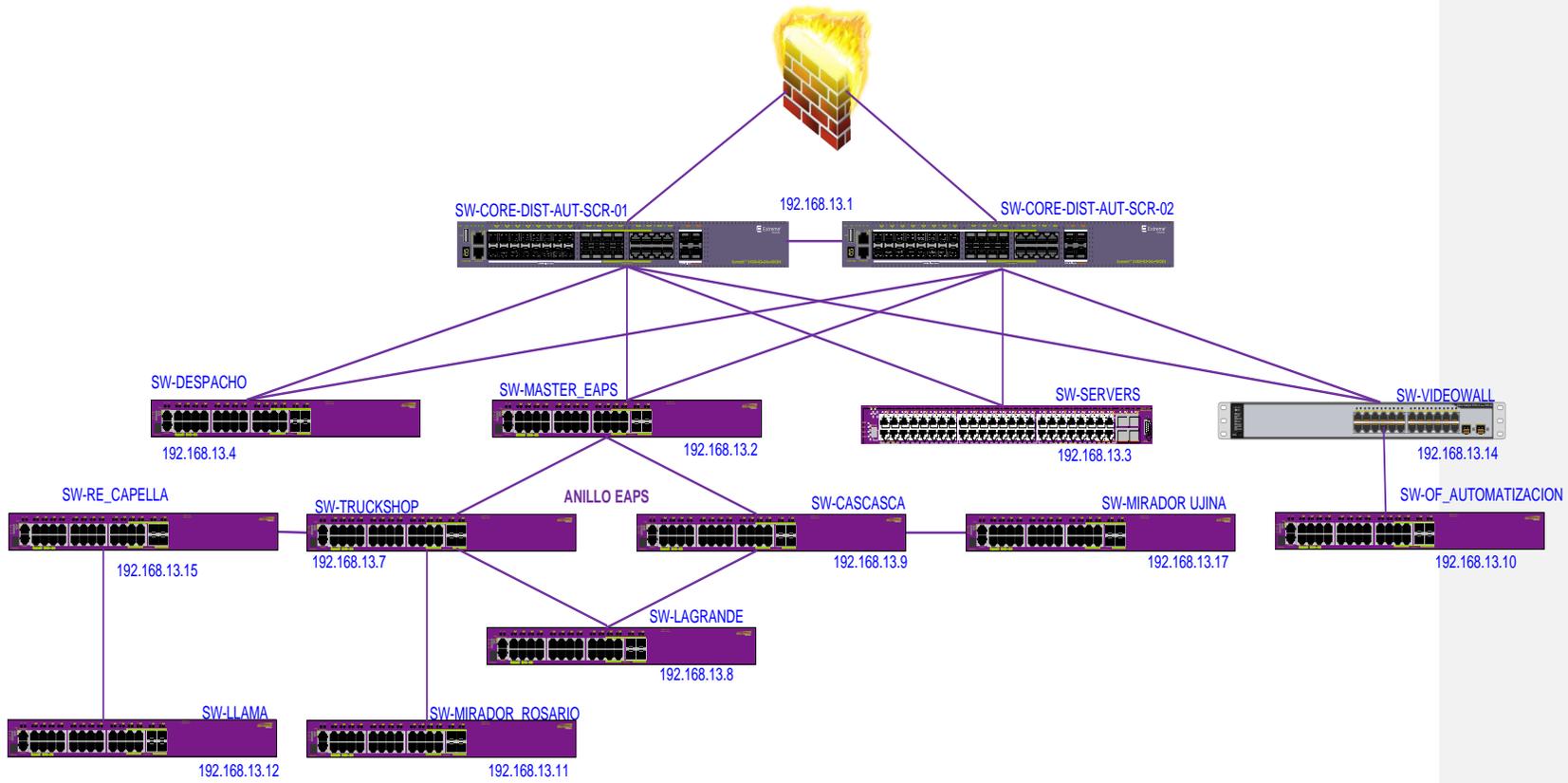
- SW-MASTER_EAPS
- SW-CASCASCA
- SW-TRUCKSHOP
- SW-LAGRANDE
- SW-DESPACHO
- SW-RE_CAPELLA
- SW-LLAMA
- SW-MIRADOR_ROSARIO
- SW-SERVERS
- SW-VIDEOWALL
- SW-OF_AUTOMATIZACION
- SW-MIRADOR_UJINA

Los enlaces de fibra óptica utilizan conversores de medios, que luego se conectan a cada switch del Backbone.

Para cada Switch del Backbone se realizó un levantamiento minucioso puerto a puerto, verificando cada equipo conectado a la red, reconociendo: servidores, equipos inalámbricos Alvarion y MasterLink, equipamiento inalámbrico Modular Minning, conexión entre Switch, UPS, etc.

La siguiente figura muestra la topología Completa del Backbone Switch de la red Multiservicio

AUTOMATIZACION - RED JERARQUIA DE NUCLEO CONTRAÍDO



10.2.2. Detalles del levantamiento de la red de acceso

La red de acceso consta de equipos Alvarion modelo BreezeACCESS VL, que operan en la banda de los 5.8 GHz, los cuales forman los enlaces punto a multipunto. El Rajo Rosario cuenta con 6 celdas de acceso y el Rajo Ujina cuenta con 2 celdas de acceso

Las celdas tienen como objetivo dar comunicación a los suscriptores que se encuentran en la localidad de Rosario y Ujina

La red de acceso la podemos separar en:

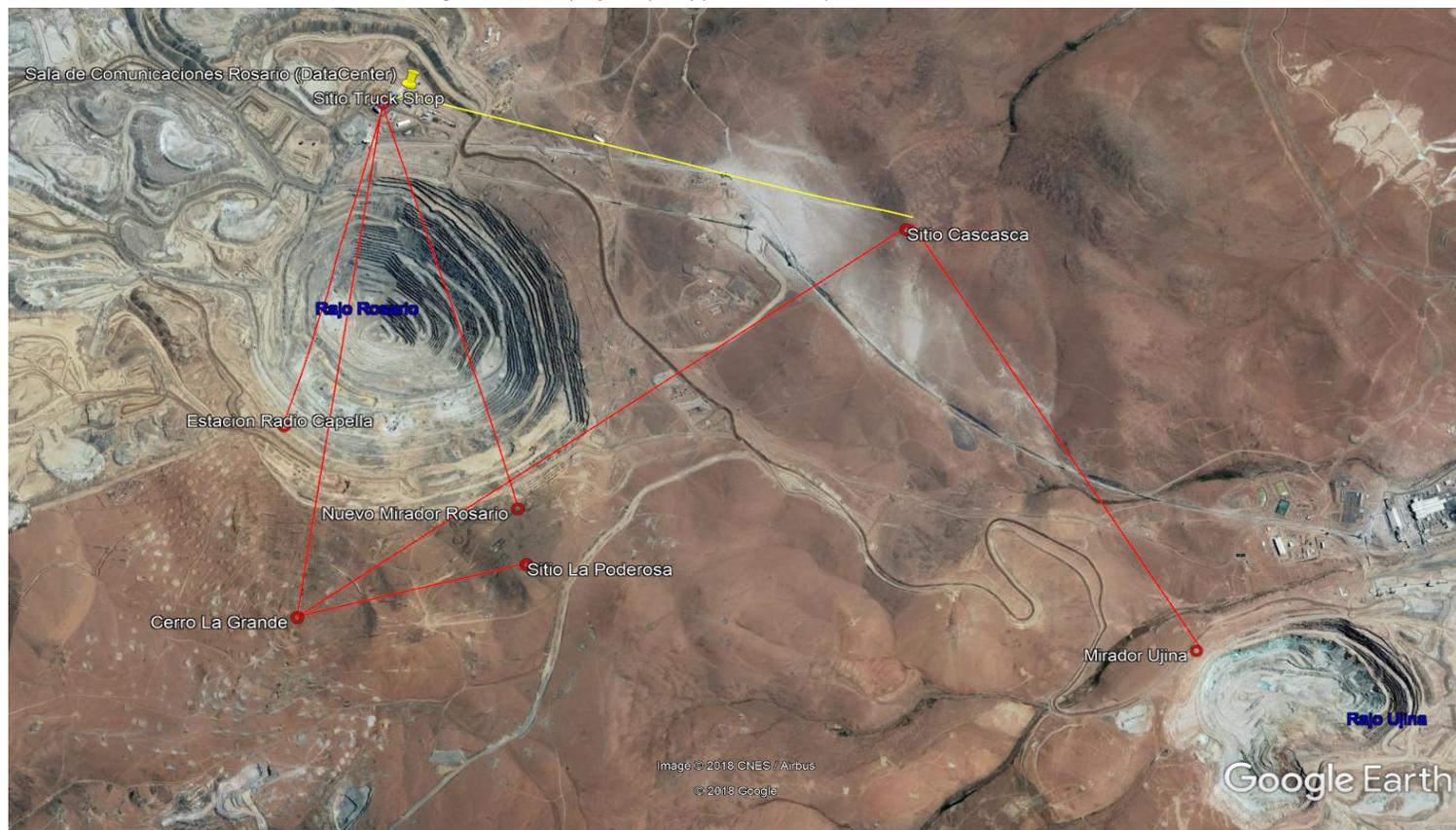
- Infraestructura
- Repetidores fijos
- Repetidores móviles
- Suscriptores

10.2.2.1. Infraestructura

Estos sitios son los más importantes en la red de acceso, ya que cada uno de ellos están conectados a los switch del Backbone, por lo que la información obtenida de cada equipo ubicado al interior de los rajos o en sus cercanías enlazaran directamente a la sala de comunicaciones Rosario por medio de enlaces de fibra óptica

En la siguiente figura proporcionada por Google Earth, se puede apreciar los enlaces marcados por rojo los que son enlaces inalámbricos punto a punto, la línea en amarillo es la una conexión por medio de fibra óptica; y se puede apreciar el anillo EAPS entre los sitios Cascasca, Cerro La Grande, y el área de datacenter con sus ambos switch, el principal y el de respaldo en el sitio con nombre "Sala de comunicaciones Rosario (Datacenter)".

Figura 35. Enlaces por fibra óptica y por enlaces PTP puestos desde vista satelital



Fuente: Autoría propia.

El detalle de la infraestructura que posee cada sitio es el siguiente:

- Sitio Truck Shop:
 - Posee un AU (Access Unit) Alvarion
 - Un AP (Access Point) Masterlink
 - Un PTP (Point to Point, o punto a punto por sus siglas en inglés) con dirección hacia el sitio La Grande
 - Un PTP modelo B100 Alvarion hacia el sitio Radio estación Capella.
 - Un B350 (BreezeNET) PTP Ultra Alvarion hacia el sitio Nuevo Mirador Rosario
- Sitio Cascasca:
 - AU Alvarion Rosario
 - AU Ujina
 - PTP Redline con dirección hacia La Grande
- Sitio La Grande:
 - PTP B300 hacia Truckshop
 - PTP Redline hacia la Grande
 - AU Hacia Rosario
 - AP Masterlink.

10.2.2.2. Repetidores fijos

Los repetidores fijos están compuestos por los siguientes sitios:

- Mirador Rosario
- Radio Estación Capella.

10.2.2.2.1. Definición de los repetidores Fijos.

El equipo suscriptor del sitio repetidor se enlaza a la celda de la Infraestructura, luego la celda del sitio repetidor extiende la cobertura a otros sectores. Los

suscriptores son de una capacidad de 54Mbps para no provocar cuellos de botella

La frecuencia con que opera la celda del Repetidor Afijo esta deshabilitada en el suscriptor, previniendo de esta manera que se produzca un “routing loop” en el sitio que actúa como repetidor.

Cada sitio repetidor tiene un switch en el cual están conectados los dos equipos Alvarion.

10.2.2.3. Repetidores Móviles

Los Cell extender son repetidores Alvarion, están conformados por SU y AU, en el rajo Rosario existen 5 repetidores móviles en uso y en Ujina 1.

10.2.2.3.1. Definición de Repetidores Móviles

Debido a la topografía y al trabajo de la operación minera a rajo abierto, es necesario contar con equipos que permitan extender la cobertura de la Infraestructura y de los repetidores fijos a sectores, en donde la topografía imposibilita la comunicación. Estos lugares son: fondo de la mina y botaderos.

Estos repetidores móviles tienen la característica de ser autónomos en energía, ya que cuentan con paneles solares que los alimentan.

El concepto de repetidor móvil es exactamente el mismo que el del repetidor fijo, salvo en una configuración; el suscriptor del repetidor móvil debe tener habilitada la función de “Best AU”, con el objetivo de ser capaz de elegir la mejor celda luego de ser encendido en el lugar al que fue movido. El suscriptor del repetidor móvil elegirá la mejor celda bajo el parámetro SNR (Signal to Noise Rate).

A continuación, se muestra una imagen tomada por Google Earth, en la cual, se puede apreciar la posición de los repetidores móviles en la mina, como fue descrito anteriormente.

Figura 36. Ubicación de repetidores móviles en la mina.



Fuente: Autoría propia.

10.2.2.4. Suscriptores

Los Suscriptores o clientes se encuentran en distintos sitios de la mina y se pueden dividir en Fijos, móviles y/o semi-móviles.

Clientes Fijos:

- Geotecnia
 - 5 Unidades Ground Probe
 - 1 Estación Ibis, con cámara HD
 - 12 Unidades Leica
- Pozos de Telemetría
 - 100 Unidades
 - 2 Sitos Fijos, concentración de data de Pozos (Tk1001, P2)

- Control de Acceso
 - 4 Unidades
- Carros Novariant
 - 7 Unidades
- Carros CCTV
 - 6 Unidades
- Estaciones Meteorología
 - 2 Unidades
- Semáforos condiciones climáticas
 - 4 unidades
- Sitios Fijos
 - 5 Casinos
 - 4 Petroleras
 - 4 Oficinas

Clientes Móviles y/o Semi-móviles:

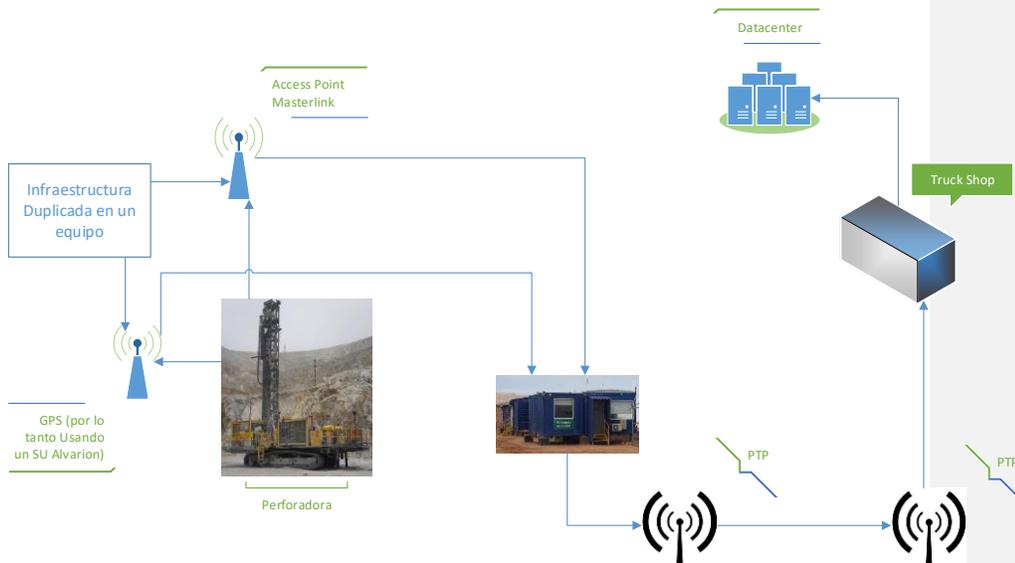
- CAEX
 - 106 Unidades (Komatsu 930, Liebherr)
- Palas – Cargadores Frontales
 - 12 Palas
 - 3 CF
- Perforadoras
 - 14 Unidades
- Equipos Auxiliares
 - 15 Tractores Oruga
 - 14 Tractores Neumáticos
 - 10 Motoniveladoras
 - 7 Aljibes
 - 5 Retroexcavadoras

- Buses Cambio de Turno
 - 10 unidades

La mayoría de equipos móviles se conectan a la zona de cobertura por medio de antenas omnidireccionales instaladas en alguna parte de su equipo, mientras que la mayoría de los equipos fijos, usan antenas directivas para comunicarse a algún AU cercano.

Un punto importante sobre los suscriptores y/o clientes que se conectan a la red es que no todos se conectan a la misma red, en la situación actual de la mina existen dos redes, la red MasterLink y la red Alvarion como había sido mencionado anteriormente; estas redes no se pueden interconectar, y cada una necesita su repetidor fijo y/o móvil para poder conectarse, en el caso de Alvarion, son los Cell Extender, y en el caso de MasterLink son los WAP, esto provoca que, por ejemplo, un suscriptor usa una aplicación que está en la red Masterlink, y además posee GPS, ambos se conectan a sus respectivas VLAN's pero por repetidores distintos, esto provoca que físicamente, si es que se necesita un repetidor fijo se usen dos carros para un solo equipo y por lo tanto esto tiene como resultado una duplicación de infraestructura tanto virtual como física. Para entender esto de mejor manera se expresa el siguiente diagrama:

Figura 37. Diagrama explicativo de Infraestructura Duplicada.



Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la figura 31, hay un ejemplo del crucial problema que existe en la red de la mina, la perforadora n°22 (la que está al centro de la figura) posee una antena MasterLink por lo tanto al protocolo 802.11b y una antena GPS la cual va directamente conectada con permiso Access a la VLAN referente a los GPS, por medio de un SU Alvarion, la razón por la cual están separados es debido a que la mina posee algunos suscriptores móviles los cuales no son iguales a los demás y funcionan con softwares distintos a los demás, este es uno de varios ejemplos que existen, y por esta razón es necesario actualizar los equipos para solo tener una red y así tener más limpia y ordenada la red y evitar tener mayor gasto de personal.

10.2.3. Imágenes de los sitios

Luego de haber analizado las distintas características de cada sitio, a continuación, se mostrarán imágenes tanto de estructuras, de repetidores fijos, móviles y de suscriptores que están en la mina.

- Las siguientes imágenes son de los equipos que están en el sitio Truck Shop, en donde se reparan los camiones mineros de alto tonelaje.

-

Figura 38. Rack y equipo Alvarion colocado en la parte superior del sitio Truck Shop



Fuente: Autoría propia.

- Las siguientes imágenes corresponden al Datacenter, ubicado en el sitio Sala de comunicaciones Rosario, en este es donde llega toda la información referente a los datos de la mina y el punto de origen de todas las VLAN's.

Figura 40. Sitio Datacenter



Fuente: Autoría propia.

Figura 42. Otra imagen del Datacenter



Fuente: Autoría propia.

- La imagen a continuación es en el mismo Truck shop donde está el Datacenter, corresponde al lugar llamado despacho, funciona como un tipo de “unidad operativa de control de tránsito, su labor acá es ver todo lo referido a palas y Caex y dirigir por medio de las aplicaciones como DISPATCH, de dirigir a distintos lugares los camiones y evitar tacos o

atochamientos y todo fluya de manera correcta sin contratiempos, además de estar atento a cualquier percance o accidente que ocurra dentro de la mina.

Figura 44. Despacho, sitio desde donde se ve todo lo relacionado al tráfico de la mina.



Fuente: Autoría propia.

- La siguiente imagen corresponde al sitio radio estación Capella, el cual es un mini container, este sitio funciona como un repetidor fijo que da cobertura hacia una zona de la mina, teniendo un AU con una inclinación de 120°

Figura 46. Sitio radio estación Capella.



Fuente: Autoría propia.

- La siguiente imagen muestra hacia donde da cobertura la radio estación Capella.

Figura 48. Sitio de cobertura otorgado por Estación Radio Capella.



Fuente: Autoría propia.

- La siguiente imagen muestra el AP cisco 350, como se mencionó anteriormente debido a aplicaciones y equipos en terreno es que se usa la red de acceso MasterLink, esta red, que tiene el mismo diseño que la Alvarion, hace la misma función que los AU Alvarion, y da cobertura a la misma zona que la Alvarion.

-

Figura 50. Ap. Cisco 350



Fuente: Autoría propia.

- Esta imagen muestra el equipo Alvarion PTP b100 que tiene enlace directo de manera inalámbrica con el Truck Shop.

Figura 52. PTP Alvarion b100.



Fuente: Autoría propia.

- En el mismo sitio hay suscriptores que corresponden a geotecnia, la cual se encarga de verificar minuciosamente que el trabajo que se está realizando no suponga un riesgo para los trabajadores al detectar inestabilidad en el terreno que puedan provocar posibles derrumbes, el equipo corresponde a un SU 54M de 5.8GHz Ground Probe

Figura 54. Ground Probe y SU de 5.8 GHz.



Fuente: Autoría propia.

Comentado [TGRA35]: formato

- La siguiente imagen es del sitio nuevo mirador Rosario, al igual que el anterior sitio, este tiene denominación de Backhaul, junto a la imagen del Nuevo Mirador, hay un suscriptor que correspondería a un Ground Probe.

Figura 56. Sitio nuevo mirador Rosario



Fuente: Autoría propia.

- Esta imagen corresponde al interior del mirador nuevo rosario, y es el rack que hay dentro de él.

Figura 58. Rack del sitio nuevo mirador Rosario.



Fuente: Autoría propia.

- En el interior del rack, está el switch correspondiente al mirador, además de los IDU's que son parte de los equipos que se encuentran en el exterior del sitio.

Figura 60. Switch e IDU's.



Fuente: Autoría propia.

- Y más abajo del rack se encuentra el AP de 2.4GHz de cisco correspondiente a la red MasterLink.

Figura 62. Cisco AP de 2.4 GHz.



Fuente: Autoría propia.

- Los equipos que están conectados son 3, un AP cisco 350, un equipo PTP Alvarion b350 que apunta hacia el Truck Shop, y un suscriptor que en este caso sería una cámara IP BOSCH modelo MIC7000 HD.

Figura 64. (de izquierda a derecha). PTP Alvarion b350; cámara IP BOSCH MIC7000; AP Cisco 350.



Fuente: Autoría propia.

- La siguiente imagen muestra hacia donde otorga cobertura el sitio, en este caso sería al sitio llamado “Fase 10”.

Figura 66. Fase 10.



Fuente: Autoría propia.

- Las siguientes corresponden a distintos suscriptores móviles y semi-móviles que operan en toda la mina, los cuales son:
 - Palas
 - Caex

- Perforadoras

Figura 68. (de izquierda a derecha) Perforadora, Pala y CAEX.



Fuente: Autoría propia.

- La torre que se ve en la imagen, corresponde al Sitio Cerro Cascasca, en la cual este instalado equipamiento Alvarion, que da cobertura a Ujina y a cerro La Grande

Figura 70. Torre de comunicaciones Cerro Cascasca.



Fuente: Autoría propia.

- La siguiente imagen muestra la torre de comunicaciones que está en el cerro la grande, la cual tiene enlaces con los sitios La poderosa, haciendo un Backhaul, y también haciendo un enlace con el sitio Cascasca, que es integrante de la topología tipo Anillo EAPS.

Figura 72. Torre de Comunicaciones sitio cerro la Grande.



Fuente: Autoría propia.

- La imagen a continuación corresponde a la torre que se encuentra en el sitio la poderosa, este sitio es un backhaul al igual que radio Capella y nuevo rosario, este sitio es donde se encuentra la estación de meteorología, de esta manera se avisa por medio de un semáforo el estado del clima y de esa manera ver qué tipo de trabajos se pueden hacer y cuáles no, hay que recordar que el clima en la mina es muy diverso debido al efecto del invierno altiplánico en la época de verano en Chile.

Figura 74. Sitio la poderosa



Fuente: Autoría propia.

10.3. Búsqueda de mejoras y/o problemas

A continuación, se describirán las mejoras y/o problemas encontrados en el actual escenario de la red inalámbrica de la Compañía Minera Doña Inés De Collahuasi:

- Al implementar los nuevos sistemas de Sistemas como, Alta Precisión PROVISION3 Palas, la red Masterlink ya se saturó
- Al entregar servicios separados por dos redes, existe infraestructura duplicada.
 - Alto gasto en HH (Horas Hombre) para soportar ambas.
- No es posible proporcionar multiservicio sobre CAEX, impidiendo la agregación de nuevas tecnologías, como por ejemplo el monitoreo en línea de Neumáticos (MEMS, BTAG y GTS) y futuros sistemas de control.

- Detalles según red:
 - Red “Multiservicio” Alvarion:
 - Tecnología antigua, del año 1999, pero aún existe venta de repuestos
 - Tecnología cerrada, no interoperable con otras marcas
 - Disponibilidad de ancho de banda acotada para nuevas soluciones tecnológicas
 - Consumo de energía alto, implica repetidores solares de gran capacidad
 - Tecnología orientada a la conexión de puntos fijos, no a la movilidad
 - Red de Acceso MasterLink:
 - Tecnología antigua, del año 1999, no existe venta de repuestos
 - Baja disponibilidad de ancho de banda (2 Mbps por equipo)
 - Gran dificultad para otorgar servicios críticos que requieren alta disponibilidad y ancho de banda
 - Equipos disponibles interoperables, pero de bajas prestaciones
 - Autogeneración de interferencias al agregar más sistemas.

10.4. Requerimientos y/o condiciones definidos por parte de la CMDIC

La siguiente sección es un listado de requisitos que la mina impone para poder realizar una mejora de su red, si los puntos requeridos y/o condiciones se

cumplen puede entrar como una potencial opción para poder hacerse un reemplazo de la red.

Los requerimientos que pide la mina son:

- Red de Comunicaciones Multiservicio para servicios fijos y de movilidad:
 - Soporte Video
 - Voz
 - Dato (Telemetría)
- Que opere en bandas 2.4 GHz, 5.X GHz
- Si se desea utilizar otra banda, se deberán gestionar los permisos pertinentes
- Diseñado y probado en nuestra Geografía
- Debe ser una tecnología abierta que permita ser aprendida para internalizar el soporte y mantención
- Cobertura en Rajo Rosario, Ujina, Botaderos, stock y trayectos
- Tecnología de última generación para sostener el crecimiento y la dinámica de la operación minera
- Tecnología de punta que esté vigente en soporte y repuestos al menos por 7 años.
- Tecnología capaz de tener autonomía de 5 Caex para proceso de automatización de la mina.

Respecto a las coberturas en la mina:

- Coberturas

- Cobertura 99% Rajo Rosario
- Cobertura 99% Botaderos Rosario
- Cobertura 80 % Rajo Ujina
- Cobertura en canchas Ujina
- Cobertura 99% Tranque
- Cobertura 95% en todos Trayectos
- Anchos de banda
 - Rajo Rosario: además del ancho de banda requerido por los equipos, se debe disponer siempre de 10-20 megas en todo el rajo, como mínimo. Con el objetivo de realizar traslados de equipos fijos (geotecnia, Carros CCTV, etc.), sin inconvenientes
 - Botaderos Rosario: además del ancho de banda requerido por los equipos, se debe disponer siempre de 5-10 megas en todos los sectores
 - Rajo Ujina: además del ancho de banda requerido por los equipos, 5-10 megas en todo el rajo, como mínimo
 - Canchas Ujina: además del ancho de banda requerido por los equipos 5-10 megas en sector de carguío, Pala 01 y Cargadores frontales.
- Tranque: además del ancho de banda requerido por los equipos, 10 Megas para los traslados de los equipos
- Anchos de banda por Equipos y/o Sistemas
 - CAEX:

- 1,5 a 2.5 Mbps en rajo (por Caex)
 - Trayectos 1,5 Mbps (por Caex)
- Palas:
 - 5 – 8 Mbps en rajo, con latencias de 2 ms – 10 ms (por pala)
- Perforadoras
 - 5 – 8 Mbps, con latencias de 2 ms – 10 ms (por perforadora)
- Equipos Auxiliares
 - 1,5 a 2,5 Mbps en rajo (por equipo Auxiliar)
- Buses cambio de turno
 - 2,5 Mbps
- Para la infraestructura se deben utilizar los mismos que están actualmente operando
- Para equipos repetidores, se deberá utilizar los ya existentes y si por diseño se deberían usar más, entonces se deberá indicar la posición en donde se ubicarán.

En la siguiente imagen, extraída de Google Earth muestra, en verde, las zonas que deberían estar cubiertas por la nueva red que se debería proponer:

Figura 76. Zona de cobertura para la nueva red propuesta.



Fuente: Autoría propia.

11. Posibles soluciones

11.1. Introducción

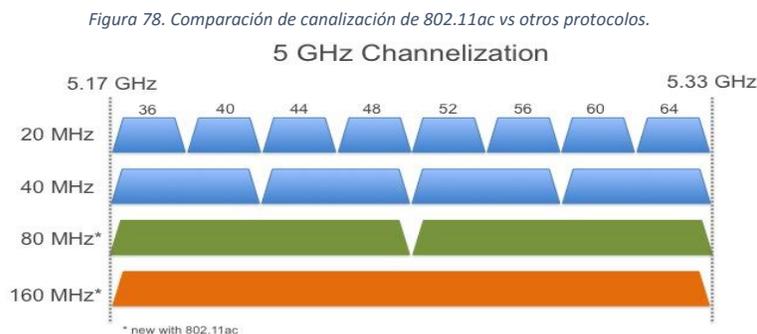
En los capítulos anteriores se dio el contexto de la tesis, y la situación actual del caso específico de la Mina Doña Inés de Collahuasi, el cual es difícil hacer algunas mejoras en la red, debido a que ya está desactualizado, en este capítulo se analizarán las tecnologías actuales populares y si logran cumplir los requerimientos necesarios, y finalmente se mostrarán empresas que sean capaces de cubrir la mejor tecnología, y los requerimientos por parte de la empresa, en otro capítulo se expresará la conclusión respecto a esta tesis.

11.2. Análisis de tecnologías.

Luego de ver los requerimientos y/o condiciones que se presentan por parte de la CMDIC es importante analizar qué tipos de tecnologías actuales y en operación

existentes pueden ser candidatos, luego de una pequeña explicación de ellas¹ se hará un análisis de tal manera por si puede ser un candidato para la mina.

802.11ac y ah: La tecnología 802.11ac es una mejora a la norma 802.11n una diferencia es que la ac trabaja solamente en banda de frecuencia de 5GHz a diferencia de la n que trabaja en 2.4 y 5. Ac es un protocolo muy atractivo y prometedor debido a su tecnología MIMO, y velocidades que teóricamente pueden llegar hasta los 1300Mbps. Sin embargo, el gran problema que tiene esta tecnología es especialmente por lo que fue creada, el tamaño del ancho de banda que utiliza que es de 160MHz si bien esto puede ser bueno en lugares urbanos, en la mina donde hay muchos usuarios al mismo tiempo es un problema debido a que rápidamente la red se quedaría sin espacio, como se muestra en la siguiente imagen.



Fuente: Autoría propia.

Lo que necesita la mina es mayor división de canales en vez de uno grande, este problema es de tipo minero, además de eso fabricantes por otro lado la 802.11ah si bien la subdivisión de canales es menor como es requerido en la práctica, trabaja en una banda de frecuencia muy baja que es la 900 y los proveedores mineros no trabajan con ella, sumado a que en distancias muy largas, la

¹ Se describirán brevemente características de las tecnologías a continuación, debido a que, si se explica en detalle el funcionamiento de cada una de ellas, la tesis se alargaría mucho más y se desviaría del tema central que es un análisis sobre la compatibilidad de estas tecnologías con el caso específico de CMDIC.

capacidad efectiva de transferencias de datos o Througput es muy baja en relación a 802.11a por ejemplo, por lo tanto también queda descartada.

802.11ad: el protocolo de 802.11ad, es una tecnología no tan reciente (aprobado el 2013) esta tecnología es mejor que el protocolo .11ac, pero no es un reemplazo, entra como un complemento a la misma que servirá para ayudar a la gente del hogar para realizar transmisiones en distancias cortas sin embargo al igual que su predecesora no funciona en lugares más hostiles como la minería, su principal aplicación sería de tipo hogareña, ya que trabaja frecuencias de hasta 60GHz, una frecuencia de ese tamaño ya presentaría problemas con la absorción de la señal simplemente por el muro, por lo tanto esta tecnología no es la adecuada para esta solución.

802.11b: El protocolo 802.11b ya está siendo utilizada en la mina, y es un pilar fundamental actualmente, ya que alberga la red de todos los CAEX y están bajo la aplicación de DISPATCH la cual, como se mencionó anteriormente, funciona para monitorear en tiempo real el estado de cada equipo. Sin embargo, esta tecnología ya está saturada, y uno de los problemas de este protocolo es que no puede albergar tantos usuarios debido a su ancho de banda, por lo tanto, ya está comprobado en terreno que actualmente el protocolo 802.11b está en su límite.

802.11a: El protocolo 802.11a, es la opción más óptima del conjunto de los protocolos 802.11 para ser elegido, actualmente ya está siendo utilizado este protocolo en la mina, y está funcionando muy bien, el problema con que no pueda ser utilizado en toda la red, es sencillamente por la falta de equipos o la antigüedad de los mismos. Sin embargo, actualmente hay empresas que tienen equipos necesarios para poder llevar a cabo una mejora a la red existente de 802.11a, por lo tanto, una renovación usando este mismo protocolo como base, es una opción a tener en cuenta, por lo tanto, si se recomendaría para una futura propuesta de red inalámbrica multiservicio.

LTE: La tecnología Long Term Evolution, o LTE por sus siglas en inglés, es una interesante propuesta debido a su popular uso actual en celulares, además de usar bandas bajas y que pueden cubrir enlaces de larga distancia, actualmente en Chile funciona bajo la Banda 7(2600 MHz), la Banda 28(700 MHz) y la Banda 4(AWS-1, 1700 MHz/2100 MHz) la relación de subportadora/espacio de banda hace que sea un potencial candidato para usarla como una tecnología que pueda servir para reemplazar actualmente la red operativa de la mina, además de ver a futuro actualizaciones y mantenimiento en los próximos años gracias a su popularidad, además de eso la compañía desea implementar tecnología de automatización de camiones como podemos recordar en los requerimientos, haciendo esta tecnología ideal para satisfacer estas características.

11.2. Conclusión de análisis de tecnológicas.

Luego de hacer los análisis y de optar por las mejores tecnologías para poder hacer una mejora y/o reemplazo de la red actual de la mina, se procederá a seleccionar marcas que pueden lograr satisfacer las necesidades de la mina. Las propuestas se dividirán en dos grupos, propuesta de diseño con protocolo 802.11 y el diseño de la red inalámbrica con tecnología LTE, por lo tanto, este capítulo se dividirá en los siguientes puntos bajo el uso de las siguientes compañías:

- Protocolo 802.11:
 - Mejora de la actual red inalámbrica usando equipos Radwin.
 - Mejora de la actual red inalámbrica usando equipos Rajant.
- Estándar LTE:
 - Propuesta tecnológica propuesta por Nokia.

12. Desarrollo de las soluciones.

12.1. Mejora de la red inalámbrica usando equipos Radwin/Rajant.

La propuesta de red de Radwin y Rajant es el reemplazo de equipos bajo los mismos sitios, Radwin propone hacer un intercambio completo de todos los equipos, pero manteniendo la red tal cual está actualmente, es decir, no hacer una modificación o mover algún sitio, si no, solamente una renovación de los equipos.

Lo mismo tiene contemplado hacer Rajant, una renovación de equipos completa de la mina y de los suscriptores para de esa manera usar una sola red y así eliminar la duplicación de red que está teniendo más gasto de personal, debido a que se tiene que estar monitoreando por separado cada una de ellas.

Las instalaciones y los reemplazos en ambas propuestas serian a cargo de los propios ingenieros a cargo de la CMDIC. La compra de los equipos seria por medio de una 3 empresa ya que ambas compañías mueven sus equipos por medio de una compañía distribuidora, en este caso ambas marcas serian compradas a la misma marca, la cual sería Protab, una empresa que se encarga de entregar soluciones a empresas del ámbito minero en lo que es telecomunicaciones, en este ámbito, Protab los cuales entregan además de los equipos necesarios, ingeniería de perfectibilidad.

Los siguientes extractos de tablas, muestran los equipos y la cantidad requerida en el caso de equipos Radwin para hacer el reemplazo total de la red de la mina.

Tabla 6. Equipos necesarios para la actualización de la red por parte de Radwin.

Radwin	
<i>Modelo</i>	<i>Cantidad</i>
HBS 5800	21
HMU 5700	11
HSU5525	1
HSU5510	139
VMU	216
2000 D+	8

Antenas	
<i>Modelo</i>	<i>Cantidad</i>
Antenas 2x2 Sectorial 120° 5GHz	21
Antenas Omnidireccional	103

Housing + Radio + Antenas Activas + Ferrería	
<i>Modelo</i>	<i>Cantidad</i>
CAEX	105
Auxiliares, Perfos, Palas, Cargadores, buses	98
Camionetas	13

Radwin	
<i>Modelo</i>	<i>Cantidad</i>
HBS 5800	21
HMU 5700	11
HSU5525	1
HSU5510	139
2000 D+	8

Fuente: Protab S.A.

El diseño de la red de Rajant, por otro lado, también tiene incluida parte de equipos Radwin debido a que, Rajant no posee esos equipos, debido a que no

es su especialidad, la calidad de los equipos Rajant es en su capacidad de blindaje de equipos, se dice (rumores) que algunos equipos Rajant fueron encontrados y operativos entre los escombros en la zona de impacto, el 11 de febrero de 2011 en New York, en donde fue el atentado a las torres gemelas.

Luego de esta aclaración, acá se encuentra los siguientes extractos de tablas donde se muestra la cantidad de equipos a utilizar en la solución por parte de Rajant.

Tabla 9. Equipos necesarios para la actualización de la red por parte de Rajant.

Switch	
Descripción	Cantidad
Switch 24 ports Giga	6
Switch 08 puertos IE-2000 + 2 Giga	6
Switch Administrable de Rango Extendido, 6KM 24 VDC, 8 puertos M12	108
Switch Administrable de Rango Extendido, 6KM 24 VDC, 4 puertos M12	32
Switch Administrable de Rango Extendido, 6KL 24 VDC, 4 puertos RJ-45	40
Switch Administrable de Rango Extendido, 6KL 220 VAC o 24 VDC, 8 puertos RJ-45	29
Switch Administrable 4 puertos RJ-45 Riel Din (pequeño)	113

Rajant	
Modelo	Cantidad
LX5	22
ME4	148
JR2	172

Antenas	
Modelo	Cantidad
Omni 6 conectores Terrawave	29
Omni	103
Sectorial 5GHz	38
Sectorial 2.4 GHz	33
Antenas SISO 2.4	299
Directivas	51

Radwin	
Modelo	Cantidad
HBS 5200	15
HSU 510	36
HSU 525	1
HSU5550	6
2000 D+	8

Fuente: Protab S.A

12.1.1. Instalación de los equipos.

Como las minas operan los 365 días del año sin descanso extrayendo cobre, la mina no puede detener su funcionamiento por unas horas o días para poder hacer

una instalación de red nueva o renovación de equipo a los camiones, eso equivaldría a la pérdida de millones de dólares a la compañía debido a que no hay producción. Es por esto que la manera más óptima de hacer estos reemplazos es a la marcha, la ventaja de estas dos propuestas de redes, es que ambas son compatibles con el protocolo 802.11 que trabaja en las bandas de 5 GHz, además de eso son compatibles con el protocolo 802.11q que son en los cuales están trabajando todas las VLAN's de la red, por otra parte, la instalación de los nuevos equipos en los equipos móviles que están siempre operando, llámese Perforadoras, CAEX, palas. etc., es un poco más compleja, pero la forma de reemplazo de estos equipos es más simple de lo que se piensa, cuando estos suscriptores móviles tengan que entrar en la zona de mantenimiento y/o cuando estén estacionados en el estacionamiento llama, es donde se realizara el cambio sin contra tiempos, de esta manera se haría primero un cambio a toda la flota, y luego de eso se haría el cambio en los sitios y en las áreas de cobertura, así solo se tendría que hacer un reinicio de la red y todo estaría funcionando de manera normal.

Figura 80.. Interior de Truck shop, lugar donde se llevaría a cabo el reemplazo de los equipos mientras se hacen mantención a los camiones



Fuente: Autoría propia.

12.2. Propuesta tecnológica de Nokia usando tecnología LTE.

El interesante escenario que plantea Nokia es un poco más amplio debido a que ofrece una nueva red con un posicionamiento nuevo de todos los sitios además de que se debería hacer un reemplazo total de todo lo correspondiente a la anterior red, el objetivo de Nokia es proveer a COLLAHUASI con una red privada de TDD-LTE en la banda 40 (2300MHz) con la finalidad de otorgar a la minera múltiples servicios incluido el de misión crítica permitiendo a COLLAHUASI y todos sus trabajadores experimentar una nueva gama de servicios a través de una red de alta capacidad de tráfico de datos y baja latencia, basada en los estándares internacionales definidos por el 3GPP.

La solución LTE es escalable, capaz de acomodar nuevas tecnologías y servicios y está preparada para satisfacer las demandas M2M de la industria minera y al mismo tiempo es una solución lista para las pruebas del futuro, con la capacidad de proveer soporte tecnológico para aplicaciones como: "Internet of Things", Mission Critical push-to-talk (MC-PTT) y Push to Video (MC-PTV) y la evolución de LTE hacia 5G.

12.2.1. Descripción de la solución.

La red LTE de Collahuasi consta de múltiples componentes cuidadosamente integrados para ofrecer una solución de comunicaciones móvil moderna, confiable, manejable y altamente escalable. La red LTE está diseñada para brindar una calidad de servicio efectiva, brindando la capacidad de priorizar los flujos de tráfico a través de múltiples portadores de tráfico LTE (bearers) a cada UE (User Equipment) según las necesidades de calidad de servicio / requerimientos de red de cada aplicación.

El diseño de la red LTE se ha construido desde cero para incorporar seguridad y calidad de servicio, incluida la capacidad de priorizar efectivamente el tráfico

dentro de múltiples dominios de tráfico LTE de acuerdo con los requisitos de las aplicaciones de COLLAHUASI.

El perfil del tráfico de las aplicaciones mineras se asigna de acuerdo con los requisitos funcionales mínimos del usuario para operar bajo las mejores condiciones de rendimiento posibles. Algunas aplicaciones tienen características limitantes, como la latencia máxima, ancho de banda, packet lost, jitter, entre otros.

La siguiente tabla muestra los requerimientos básicos de red según Nokia para los distintos tipos de servicios que se usan en la mina

Tabla 12. Lista de requerimientos básicos de red para distintos tipos de servicios.

AHT (Autónomo)	Alta	8	8	<15 ms	25	50%
Perforadora Autónoma	Alta	192	192	<15 ms	10	50%
Bulldozer/Cargador	Alta	128	128	<15 ms	8	50%
Excavadora	Alta	2.048	2.048	<15 ms	8	50%
Radar Monitor	Alta	8	8	<15 ms	4	100%
D-GPS	Alta	32	32	<15 ms	43	50%
CCTV SD (camiones)	Baja	128	128	<10 ms	25	50%
CCTV HD (perforadoras)	Baja	2	2	<10 ms	25	50%
CCTV FHD (Geotecnia)	Baja	512	512	<10 ms	4	100%
Telemetría (eléctricos, otros)	Alta	1.024	1.024	<15 ms	500	100%
Rastreo GPS (todos)	Alta	2.048	2.048	<15 ms	100	100%
Voz (PCM)	Media	1	1	<10 ms	500	50%
Video en vivo	Media	2	2	<10 ms	10	20%

Fuente: Nokia

La solución tecnológica de Nokia está constituida en bloques de dominio o building blocks, los cuales están separados como se muestra en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 13. La solución propuesta por Nokia se compone de los building blocks agrupados en dominios.

UE Dominio	User Equipment (UE) – CPEs: 7705 SAR-Hm.
RAN Dominio	LTE Radio Infrastructure – Fixed & Mobile LTE Towers, Power systems, cabling and protection. Radio Access Network (RAN) – LTE radio equipment, including Nokia AirScale eNodeB.
Backhaul	Local Area Network (LAN) – Red de transporte COLLAHUASI.
LTE Core Domain	Common Core – Nokia Micro Core Network – Full MCN (HSS, PCRF, MME, S-GW y PG-W). Terminator Router – 7750 SR-2e (solución de broadcast y multicast). Application Servers & Hosting – Compute and Store, Data Centre platforms.
OAM Domain	Operations and Management System (OAM) – NSP.

Fuente: Nokia.

Luego de entregar toda esta información, se requiere saber en detalle las características y cantidades de todos los equipos que serán instalados en la nueva red multiservicio propuesta por Nokia, un extracto de la cantidad de equipos necesarios para llevar acabo, dividido en bloques también, se muestra a continuación.

Tabla 14. Equipos y servicios necesarios para la instalación de la solución LTE ofrecida por Nokia.

EQUIPOS	Cantidad
Radio LTE (HW / SW)	
FLEXI MULTI RADIO 10 BTS TDD LTE 17A 1+1+1@40W, 10MHZ BW, BAND 40	8
Antenas 2-puertos (TBD)	24
Backhaul	
Enlace 1+1 HSB 300Mbps 23GHz	1
Services router - 7705 SAR w	1
Sistema de Gestión (NMS)	
NetAct Compact HW/SW	1
Software de Gestión 5620 SAM	1
iOM HW/SW	1
Core Network	
IP Core (Routers) - 7705 SAR-8	2
LTE Core (MCN - Micro core Network - Geo Redundant	1
LTE Core (CMU - Compact Mobility Unit - Geo-Redundant	1
Synchronism (Master clock) - TP 5000 - Geo-Redundant	1
CPE	
7705 SAR-Hm	200
SERVICIOS	
Diseño de Red	
Network Planning Optimization - NPO	1
Implementación	
PM fee (H&S, PM, TPM and FF)	1
Installation Services & miscellaneous	1
Engeneering and Commissioning	1
Logistics	1
Training	1
Spare Parts	1
Mantenimiento Correctivo	
CARE HW and SW (OPEX) - 3yr	1
Infraestructure	
Heavy duty trailer 25m	6

Fuente: Nokia

En las siguientes tablas que se mostraran a continuación se muestra una breve definición sobre los componentes que están relacionados a cada dominio que define a la solución LTE ofrecida por Nokia.

Dominio Core

Tabla 17. Equipos y servicios necesarios para la instalación de la solución LTE ofrecida por Nokia.

Micro Core Network – MNC			Función de HSS (Subscriber Authentication & Subscriber Profile Management), PCRF (Provides Policy rules y QoS Management), MME (Mobility Management Entity) y S/PGW (Gateways) de acuerdo con el 3GPP
Terminator Router	7705 SAR-8	N/A	Provee interfaces de 10Gb para el Core y la red de COLLAHUASI, así como las configuraciones de tunneling hacia los UEs

Fuente: Nokia.

Dominio RAN

Tabla 18. Lista de elementos que conforman la solución propuesta por Nokia para el dominio de RAN

Módulo de Sistema	AirScale	17A	Control de las telecomunicaciones, la operación y mantenimiento del sistema
Unidad de distribución de energía	FPFH	NA	Es una Unidad de Distribución de Potencia (PDU)
Modulo RF	AZNA	NA	Módulo de RF para la Banda 40 (2300MHz)

Fuente: Nokia

Dominio OAM

La red LTE de COLLAHUASI será administrada por el NSP, OSS (Operation Support System por sus siglas en inglés) desarrollado por Nokia, proporcionando una interfaz única para ver y correlacionar el estado operacional de cada elemento de red LTE.

Tabla 19. Lista de elementos que conforman la solución propuesta por Nokia para el dominio de OAM

Service Aware Manager	5620 SAM / NSP	NA	Proporciona una gestión de configuración mejorada para la red ofertada.
-----------------------	----------------	----	---

Fuente: Nokia

Dominio UE

Tabla 20. Lista de elementos que conforman la solución propuesta por Nokia para el dominio UE

CPE	7705 SAR-Hm	NA	Extiende los servicios IP/MPLS a través de LTE. Los servicios públicos pueden admitir comunicaciones de dispositivos de campo de forma inalámbrica utilizando servicios IP/MPLS. También permite servicios de extremo a extremo.
-----	-------------	----	--

Fuente: Nokia

12.2.2. Simulaciones

Nokia creó unas simulaciones de RF planning para poder calcular la cobertura con los nuevos sitios en posición, se usó un programa de simulación llamado Atoll. Atoll es una plataforma de optimización y diseño de redes inalámbricas de múltiples tecnologías que admite operadores inalámbricos durante todo el ciclo de vida de la red, desde el diseño inicial hasta la densificación y optimización. Es muy parecido a Radio Mobile solo que es de uso más corporativo y de carácter industrial para las grandes empresas. Las coordenadas de los nuevos sitios se pueden ver en la siguiente tabla:

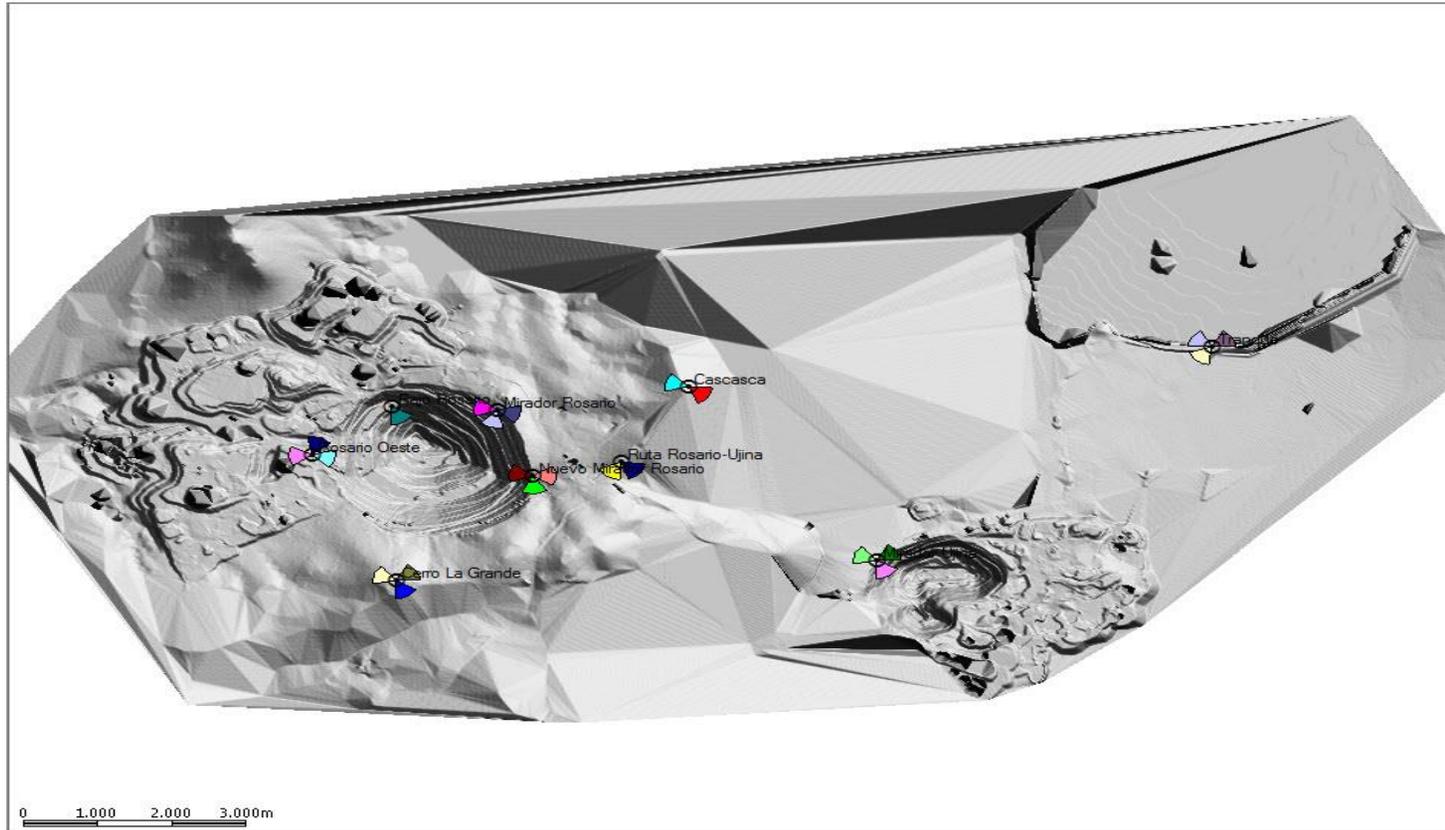
Tabla 21. Coordenadas de los nuevos sitios propuestos.

Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Support Height (m)
Casca	-68,670556	-20,962464	[4.836]	25
Cerro La Grande	-68,708114	-20,993069	[4.870]	20
Mirador Rosario	-68,695076	-20,96615	[4.690]	20
Mirador Ujina	-68,646172	-20,989783	[4.437]	20
Nuevo Mirador Rosario	-68,690607	-20,9765	[4.693]	20
Rajo Rosario	-68,70872389	-20,9656448	[4.390]	20
Rosario Oeste	-68,71902189	-20,97329716	[4.570]	20
Ruta Rosario-Ujina	-68,67915385	-20,9742749	[4.795]	20
Tranque	-68,60310647	-20,9559895	[4.185]	20

Fuente: Nokia.

En el mapa de la zona, se pueden apreciar como estarían conectados los enlaces y también la posición de los sitios mencionados en la anterior tabla:

Figura 82. Lugares ubicados en el mapa de la mina, usando el software Atoll.



Fuente: Nokia.

Como se puede ver los sitios donde se hacen cambios son los cercanos al rajo, esto es para entregar la mayor cobertura posible a las zonas de mayor exigencia para los suscriptores móviles, la siguiente tabla muestra los parámetros utilizados por Nokia para hacer la simulación.

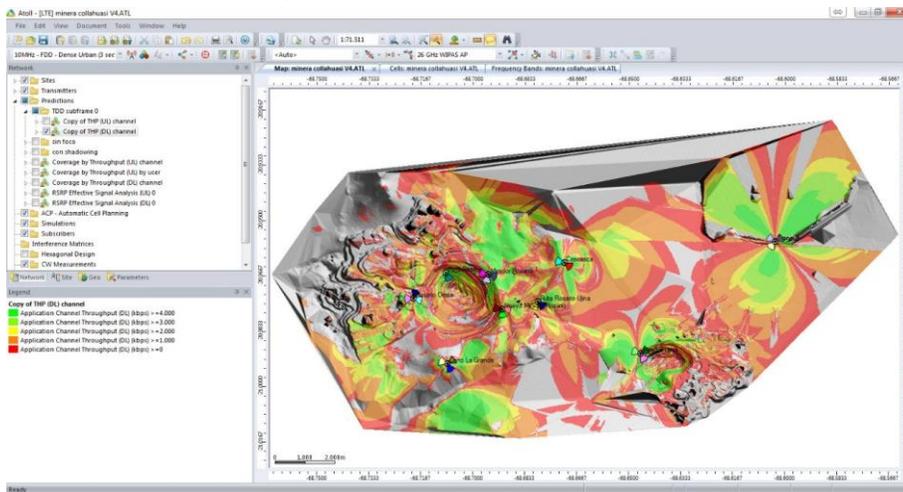
Tabla 25. Tabla de configuración para el programa Atoll.

Band 40 (2300MHz TDD) - 10 MHz BW 4x2 4RxDiv - 4m CPE Height (0dBi Gain)	DL	UL
Output power	20W	
Tx Antenna Power [dBm]	43,01	24,00
Antenna gain [dBi]	18,00	4,50
Feeder loss [dB]	0,40	-
Body loss [dB]	-	1,80
Receiving end	DL	UL
Feeder loss [dB]	-	0,40
Body loss [dB]	1,80	-
Antenna gain [dBi]	4,50	18,00
Noise figure [dB]	2,20	4,50
System Overhead	DL	UL
Total number of PRBs per TTI	50,00	
Cyclic prefix	Normal	
Number of OFDM Symbols per Subframe	14,00	14,00
DL-to-UL configuration	DL-to-UL Conf 1	
Special Subframe Format	"S" Subframe Format 7	
Number of Regular DL/UL Subframes	4,00	4,00
Number of Special Subframes	2,00	
DwPTS/UpPTS Length	10,00	2,00
GP Length	2,00	
DL/UL Ratio [%]	54,29%	40,00%
Service	DL	UL
Method for modulation and coding scheme	Optimize	Optimize
Modulation and coding scheme (Optimized)	5_QPSK	8_QPSK
Modulation and coding scheme (User defined)	-	-
Service Type	Data	
Cell Edge User Throughput [kbps]	2048,00	2048,00
Channel	DL	UL
Channel Model	Enhanced Pedestrian A 5 Hz	
Antenna configuration	4Tx-2Rx	1Tx-4Rx
Tx/Rx Algorithm at eNB	CL Single CW	IRC
Cell load [%]	50,00%	50,00%
Method For Interference Margin	From load	From load
Interference Margin [Formula] [dB]	1,25	0,62
Number of Received Subcarriers [dB]	27,78	27,32
Thermal Noise Density [dBm/Hz]	-173,93	
Subcarrier Bandwidth [kHz]	15,00	
Noise Power per Subcarrier [dBm]	-132,17	
Rx sensitivity [dBm]	-102,06	-102,51
Maximum Allowable Path Loss (clutter not considered) [dB]	170,14	146,19
RSRP (clutter not considered) [dBm]	-137,31	-113,36

Fuente: Nokia.

En la tabla se puede apreciar que el % la Cell load es de 50% y 50% respectivamente esto hacia que el Throughput no fuera muy bueno en uplink, pero la calidad de downlink era muy buena, sin embargo, en las minas los suscriptores que se conectan necesitan más subir información a la nube de la red que descargarla es por eso que las siguientes imágenes tienen una configuración de los Cell load se modificó a 20% para downlink y 60% para uplink, el resultado es el siguiente.

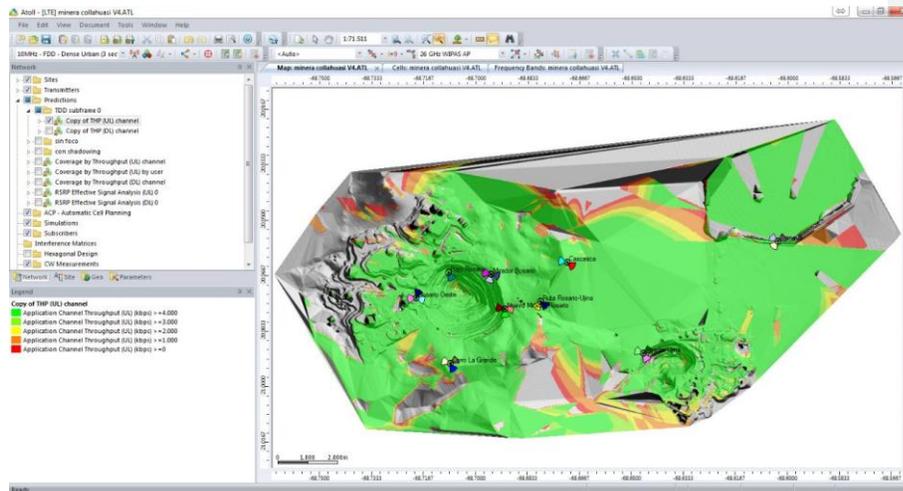
Figura 86. simulación de la red con downlink 20%



Fuente: Nokia.

Y la imagen respecto al uplink es la siguiente.

Figura 87. simulación de Throughput en uplink con 60%



Fuente: Nokia.

Como se puede ver esta simulación sacrifica considerablemente el Throughput en el downlink, pero la recompensa en uplink es evidente, esta configuración es una excelente opción para tener en cuenta si se instalan camiones autónomos como tiene pensado la mina, o en los lugares con alto tráfico de datos.

12.2.3. Instalación de equipos

La instalación de la solución tecnológica sería un poco más complicada que el reemplazo en los casos de las otras soluciones tecnológicas, ya que como se mencionó anteriormente, la mina en ningún momento se puede detener para poder hacer una instalación de esta envergadura, tiene que ser instalada a la marcha y, por supuesto, que este totalmente operativa y en pleno funcionamiento.

La forma en la que se debería hacer es al inicio de la misma manera, empezar a colocar los equipos dentro de los suscriptores móviles y semi móviles mientras

entran a mantención, pero a diferencia del otro, no reemplazar los antiguos equipos, para que el suscriptor que tenga instalado el nuevo equipo no pierda conexión con toda la red mientras la solución de Nokia está siendo instalada. Esto provocaría un mayor gasto de HH y por ende más caro ya que a medida que se vaya avanzando se tendrán que tener dos redes arriba, la red LTE de Nokia y la antigua red Masterlink Alvarion mientras la nueva red está en marcha verde. Luego de eso de apoco se empezaría a hacer la migración de las VLANs a los nuevos equipos, es por esto que esta solución sería un poco más a largo plazo que la anterior, aunque la nueva red sería mucho más poderosa y con potencial para albergar una flota autónoma de camiones mineros.

13. Resultados obtenidos.

De los resultados obtenidos de las dos soluciones propuestas por parte de Rajant/Radwin y la solución tecnológica propuesta por Nokia comparado con los requerimientos de la CMDIC y las métricas anteriormente usadas se puede inferir que:

Métrica 1: la primera solución de Rajant/Radwin si cumple con el 95% o más de la cobertura debido a que, como es un reemplazo y la red y cobertura se mantendrían intactos este punto se cumple, ya que la mina tiene un 100% de su propia cobertura por lo tanto esta métrica se cumple.

Por otro lado, Nokia cumple con su modelo de cobertura un 99,98% de las principales zonas de la mina, por lo tanto, el nuevo modelo propuesto por la licitación de Nokia también cumple esta métrica.

Métrica 2: Respecto a la métrica 2, la solución propuesta de Rajant/Radwin es una solución estable que renueva los equipos y da un soporte de por lo menos 5 años, por lo tanto, se cumple esta métrica, pero si a futuro se quiere hacer una automatización de la mina, habría que hacer una reevaluación para corroborar si esta solución sigue estando a la altura de los requisitos a futuro.

La solución tecnológica de Nokia está más preparada para afrontar los desafíos a futuro de la mina, debido a que posee un soporte técnico y además con posibilidad de evolucionar los equipos a la red 5G solamente haciendo una actualización de software, por lo cual no habría que reevaluar o poner nuevos nodos para afrontar una posible automatización de la mina.

Comentado [TGRA36]: falta un capítulo con los resultados obtenidos, donde se validen las métricas propuestas.

14. Conclusiones.

Luego de analizar todas las propuestas disponibles que cumplen con los requisitos de la mina, a continuación, se mostraran los objetivos específicos para observar si se lograron y luego de eso analizar si la información recopilada para esta tesis cumple con el objetivo general del proyecto de esta investigación.

Los análisis y el levantamiento actual de la red de la CMDIC se hizo a la par junto con un ingeniero que ayudo en todas las materias y áreas que el alumno no tenía acceso, debido a que no era trabajador de la misma. Todos los datos entregados son reales, para poder hacer un análisis lo más crítico y realista frente a la situación actual de la mina, todos estos datos fueron solicitados y fueron entregados para el desarrollo de esta tesis.

Sobre las soluciones tecnológicas entregados por parte de terceros, se pudo tener acceso a ellos de manera restringida, debido a un proceso de licitación iniciado con anterioridad y que continua hasta el día de hoy, sin embargo, no impidió en la realización y al proceso de investigación de esta tesis. Respecto a las entregadas por las compañías, se deducen que las 3 presentadas en el capítulo pasado son factibles, pero a final de cuenta solamente una debe ser la recomendada, a continuación, se verá si se cumplieron los objetivos específicos:

Objetivo específico 1: Proponer solución tecnología para la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi que cumpla con el 95% de la cobertura de toda la mina. Como se vio en la sección de los resultados obtenidos de las dos propuestas entregadas, se puede inferir que ambas logran tener una cobertura mayor a 95%, en caso de Rajant/Radwin, se logra un 100% debido a solo una renovación de equipos. Por parte de Nokia, se logra obtener un 99,98% de cobertura total en la mina, la cual está sobre el requerimiento mínimo que se requería en el objetivo específico, por lo tanto, ambas soluciones cumplen el objetivo específico a cabalidad

Objetivo específico 2: Proponer diseño de Red Inalámbrica para Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi considerando realidad operacional actual y futura. En el último punto se proponen tres diseños, dos de ellos mantienen el diseño de la red actual de la mina, pero mejorándola considerablemente gracias a la renovación de todos los equipos, y la tercera es un diseño creado por Nokia dándole otro enfoque gracias a la tecnología LTE, todos los diseños cumplen con la visión de la realidad operacional actual y futura. Es por esto que el objetivo específico número 3 se considera logrado al tener 3 soluciones tecnológicas distintas para resolver la situación actual de la mina.

Respecto al objetivo general el cual es Proponer una solución inalámbrica multiservicio actualizando las redes existentes en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi; se analizaron con detenimiento las dos soluciones que cumplían con las métricas y con los objetivos anteriormente señalados, se llega a la conclusión que la mejor tecnología es la solución tecnológica propuesta por Nokia, debido al uso de la tecnología LTE como base, además de trabajar en una banda baja como es la 2300MHz, y sumado a eso la capacidad de poder evolucionar esta red a 5G en un futuro además de entregar autonomía a CAEX como se pidió en la mina.

Sin embargo, si es que no es necesario u obligatorio la automatización de la mina, se recomienda la solución tecnológica de Rajant, debido a su fácil reemplazo de equipos en tiempos más cortos, y la robustez del protocolo 802.11a que puede seguir siendo usado sin problema en los siguientes años de la mina.

Respecto a la carta Gantt entregada a mitad de año, el desempeño fue negativo, debido a la cantidad de información necesaria para estudiar y el poco avance en las semanas, problemas de carácter personal a través del semestre, y el no tener un contacto en vivo en la zona debido a que el alumno investigador no era un trabajador en la compañía minera, provoco que gran porcentaje de los

compromisos entregados no se pudieran llevar a cabo solicitando una extensión en el plazo de entrega de la tesis para poder terminar satisfactoriamente.

Las metodologías no ayudaron en la realización del proyecto además de no hacer sentir cómodo al alumno tesista en el desarrollo de esta, debido a que desde el inicio no se pudo hacer un avance lineal, se recibía información desde la mina, se estudiaba y luego se escribía en la tesis, teniendo un documento fragmentado en algunos puntos que debían estar listos de antes, sin embargo para el final se pudo volver a tomar el camino de tipo cascada para poder terminar de manera correcta el proyecto de investigación.

Se destaca principalmente la comprensión en esta situación por parte del director de carrera y el profesor guía alentando para terminar lo antes posibles y entregando la extensión del plazo antes mencionada.

El tamaño de la tesis fue gigantesco y los desafíos tomados también lo fueron, aunque eso hizo crecer en conocimiento al alumno debido a la desconocida situación de las tecnologías de las telecomunicaciones en un are tan importante y vital para el país como es la minería.

Para finalizar, al realizar este proyecto de investigación se puede deducir claramente la importancia de las telecomunicaciones en un ámbito tan aislado del mundo como es la minería, actuando en distintos lugares, como mandando la ubicación por GPS de las palas, para saber dónde están acarreado, el monitoreo en vivo para saber si el rajo de la mina esta inestable y pueda ocurrir un desprendimiento, organizar el tráfico de camiones para no crear atochamientos y mantener a los camiones sin tiempos muertos y mantener la eficiencia de la mina a tope, es por esto y muchas razones más de lo importante que es mantener la comunicación estable en un área tan importante para el país como es la **minería**.

Comentado [TGRA37]: faltan conclusiones más determinantes, que tengan que ver con las métricas propuestas

15. Referencias

3D-P. (2016). Obtenido de www.3d-p.com

5gamericas. (2015). *Evolucion 3GPP*. Obtenido de <http://www.5gamericas.org/es/resources/technology-education/3gpp-technology-evolution/>

ADDERE Ltda. (Abril de 2017). *Subtel*. Obtenido de Subtel.gob: http://www.subtel.gob.cl/wp-content/uploads/2017/10/Mineria_Astronomia_Informe_FINAL.pdf

Alvarion. (19 de Junio de 2016). *Alvarion a Supercom company*. Obtenido de Alvarion: <http://www.alvarion.com/supercom-to-acquire-wireless-network-provider-alvarion/>

BRIONES, R., BOSSELIN, H., GUTIÉRREZ, G., & ZAGAL, J. (16 de Diciembre de 2017). *El mostrador*. Obtenido de El mostrador: <http://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/2017/12/16/el-litio-mineral-estrategico-para-la-energia-en-chile-y-el-mundo/>

Canal 13. (5 de Julio de 2016). *T13*. Obtenido de T13.cl.

CCM. (2011). Obtenido de CCM pagina web: <http://www.ccm.cl/proceso-extraccion-a-rajo-abierto/>

Cellular News. (15 de Julio de 2013). Obtenido de <http://www.cellular-news.com/story/60986.php>

Cisco Enterprise. (2018). *Mineria Conectada*. Obtenido de Cisco Enterprise: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/industriaminera/la-mina-conectada.pdf

Collahuasi. (2 de Febrero de 2017). *Collahuasi*. Obtenido de Collahuasi : <http://www.collahuasi.cl/quienes-somos/nuestra-historia/>

conexionesan. (31 de Agosto de 2016). *Apuntes empresariales*. Obtenido de Conexionesan: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/08/las-diez-areas-de-conocimiento-segun-el-pmi/>

del Valle, A. (27 de Febrero de 2013). *El cajon de la verdad*. Obtenido de <http://elcajondelaverdad.blogspot.com/2013/02/tecnologia-ofdm.html>

Google Corporation. (2006). *Google Sites*. Obtenido de Google Sites: <https://sites.google.com/site/telecomunicacionaa/red-de-area-local-lan>

GPC. (3 de Abril de 2017). *GPC INC*. Obtenido de <https://gpcinc.mx/blog/redes-informaticas-lan-man-wan/>

Grupo editorial Editec. (1 de Febrero de 2018). *Noticias*. Obtenido de Minería Chilena: <http://www.mch.cl/reportajes/entel-lista-ofrecer-la-red-inalambrica-lte-alta-capacidad/>

Komatsu Mining. (2018). *Monitoreo PreVail*. Obtenido de Komatsu: <https://mining.komatsu/es/tecnolog%C3%ADa/inteligencia-de-miner%C3%ADa/sistema-de-monitoreo-de-condiciones-a-distancia-prevail>

Ministerio de Energía. (12 de Marzo de 2018). *minminería*. Obtenido de Ministerio de Energía: <http://www.minminería.gob.cl/%C2%BFque-es-la-minería/historia-de-la-minería-en-chile/>

Modular Mining Systems. (2018). *DISPATCH*. Obtenido de Modular: <http://www.modularmining.com/es/product/dispatch/>

Modular Mining Systems. (2018). *Modular: Provision*. Obtenido de Modular: <http://www.modularmining.com/es/product/provision/#tab-0>

Network World España. (21 de Febrero de 2011). *Actualidad*. Obtenido de Network World From IDG: <http://www.networkworld.es/actualidad/las-soluciones-wireless-de-radwin-contribuyeron-al-rescate-de-los-mineros-chilenos>

Nohrborg, M. (2018). *3GPP a global initiative*.

Nokia Corporation. (2018). *Nokia para Empresas*. Obtenido de https://www.nokia.com/es_int/para-empresas/

Notimérica. (18 de Febrero de 2017). *notimérica/economía*. Obtenido de Notimérica: <http://www.notimerica.com/economia/noticia-sigue-dependiendo-economia-chilena-cobre-20170218071940.html>

Radwin Enterprise. (2018). *Radwin*. Obtenido de <https://www.radwin.com/>

Rajant Corporation. (2018). Obtenido de <https://www.rajant.com/>

Redes Locales y Globales. (s.f.). *Redes Locales y Globales*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/redeslocalesyglobales/4-configuracion-de-red/4-redes-de-area-local-virtuales-vlans/1-uso-de-las-vlan>

Redline Communications. (2018). *Where Redline Excels*. Obtenido de Redline Communications: <http://rdlcom.com/>

SISDEF Ingeniería e Integración. (2018). *Teleoperación y Telemetría para pozos de agua*. Obtenido de SISDEF: <https://www.sisdef.cl/mineria/productos-y-servicios/automatizacion-y-control/gabinete-teleprocess-gta/>

SPC Group. (19 de Abril de 2013). *SPC consulting Group*. Obtenido de Spcgroup: <https://spcgroup.com.mx/diagrama-de-ishikawa/>

Telesemana.com. (17 de Julio de 2017). *Telesemana.com*. Obtenido de Telesemana:
<http://www.telesemana.com/blog/2017/07/17/el-sector-de-la-mineria-proporcionara-un-mercado-potencial-de-us2-900-millones-para-proveedores-de-infraestructura-lte-en-2022/>

Valero, C. (8 de Enero de 2018). *ADSL ZONE*. Obtenido de ADSLZONE.net:
<https://www.adslzone.net/2018/01/08/intel-chip-wifi-802-11ax/>