

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES DE  
TECNOLOGÍA INALÁMBRICA PARA EL CONTROL DE  
ACTIVOS Y PERSONAS PARA UNA MINA DE TAJO ABIERTO

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**Diego Armando Carbajal Mendoza**

ASESOR: Ing. Alejandro Carlos Alcócer García

**Lima, julio de 2016**

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis se realiza con el objetivo de lograr un sistema de comunicación con tecnología inalámbrica para poder supervisar en tiempo real y diagnosticar, en caso de avería, a los vehículos que se encuentran trabajando dentro de la mina de tajo abierto en Cuajone. Esto ayudará a solucionar los problemas de comunicación entre los vehículos y operadores del centro de monitoreo, así como también poder controlar las acciones de la maquinaria de la mina y poder gestionarlos eficientemente para obtener su máxima producción.

El sistema de comunicación que se planteará se divide en dos etapas que son completamente independientes. En la etapa 1: se cubrirá el estudio de cobertura del área de la mina, el dimensionamiento y planificación de la red para poder abarcar la mayor parte de la zona de trabajo dentro de la mina. Luego, en la etapa 2 se efectuará el estudio de mercado de los equipos GPS, su configuración e integración con una plataforma para la supervisión y control de los vehículos, y el personal que trabaja dentro de la mina.

En la etapa 1 la red de comunicación se dimensionó con la red celular como la red principal y a la red satelital como respaldo para ocasiones donde haya una zona sin cobertura celular. De esta manera se estaría cubriendo toda el área de la mina para que haya una comunicación continua en tiempo real.

En la etapa 2 para la elección del equipo GPS, que usarán los vehículos, se buscó equipos que puedan soportar la red celular y la satelital, estos deben tener la capacidad de poder transmitir como parámetros principales la posición, la velocidad y el odómetro. Por otro lado, para el personal que se encuentra en las zonas de trabajo se usó un equipo GPS más pequeño y estos transmiten como mínimo su posición. Estos dos equipos GPS se deben configurar para que puedan reportar a una misma plataforma (centro de control). Así supervisar y controlar lo que sucede en la mina. Adicionalmente, el personal podrá hacer uso del Internet en las zonas de cobertura para casos que así lo requieran.

Finalmente, se realizó la propuesta económica de todo el sistema, los equipos y los materiales que se utilizarán.

FACULTAD DE  
 CIENCIAS E  
 INGENIERÍA

 PONTIFICIA  
 UNIVERSIDAD  
 CATÓLICA  
 DEL PERÚ

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

Título : Diseño de un sistema de comunicaciones de tecnología inalámbrica para el control de activos y personas para una mina de tajo abierto.  
 Área : Comunicaciones #1317  
 Asesor : Ing. Alejandro Carlos Alcócer García  
 Alumno : Diego Armando Carbajal Mendoza  
 Código : 20080469  
 Fecha : 26/08/15


**Descripción y Objetivos**

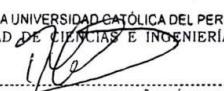
La visión general de la presente tesis, es optimizar la eficiencia del funcionamiento de los vehículos que operan dentro de una mina de tajo abierto, por medio de un diseño de un sistema de comunicación con tecnología inalámbrica. Además, este sistema controlará la localización de las personas en la mina y será útil a la gerencia de operaciones para disminuir los riesgos personales e incrementar su seguridad.

Para lograr esta visión, se diseñará una red celular y en combinación con equipos GPS se podrá tener una supervisión y diagnóstico remoto en tiempo real, tanto de los vehículos como del personal.

En este contexto, la presente tesis, se plantea un sistema de comunicaciones híbrido, que utiliza tanto la red celular como la red satelital para la supervisión y control automatizado a distancia para los vehículos y personas dentro de una mina. Este sistema ofrecerá la transferencia de voz y datos pero no de video.

Esta tesis se desarrolla en cuatro capítulos. En el capítulo uno, trata sobre la problemática existente en las minas de tajo abierto y sus necesidades de comunicación. Luego, el capítulo dos, presenta el estado del arte, en el cual se plantea las posibles tecnologías que existen para dar solución a los problemas existentes. Seguidamente, el capítulo tres, desarrolla el diseño del sistema de comunicación, en el cual se trata la cobertura de la red, la elección de los equipos electrónicos, la configuración y la integración de todos ellos en conjunto. Finalmente, en el capítulo cuatro se presenta un cuadro de costos del proyecto, la evaluación de la performance del sistema, las conclusiones y recomendaciones.

 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

  
 M. Sc. Ing. MIGUEL ANGEL CATANO SÁNCHEZ  
 Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS



FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un sistema de comunicaciones de tecnología inalámbrica para el control de activos y personas para una mina de tajo abierto.

Índice

Introducción

1. Problemática de comunicaciones en las minas de tajo abierto.
2. Tecnologías de comunicación aplicables a las minas.
3. Dimensionamiento del sistema de comunicaciones.
4. Costos, evaluación, conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

M. Sc. Ing. MIGUEL ANGEL CATANO SÁNCHEZ  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS

## DEDICATORIA



A mis padres,  
A mis abuelos,  
A mi hermano,  
Y a mis amigos de esta etapa universitaria.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
<b>CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA DE COMUNICACIONES EN LAS MINAS DE</b>	
<b>TAJO ABIERTO..... 1</b>	
1.1    Antecedentes: Historia.....	1
1.2    Entorno General .....	4
1.2.1    Fases de un proyecto minero .....	4
1.3    Mina de tajo abierto .....	8
1.4    Maquinarias pesadas utilizadas en las minas de tajo abierto.....	8
1.5    Problemáticas en el proceso de las minas de tajo abierto .....	10
1.6    Objetivo principal y objetivos específicos.....	11
1.7    Alcance.....	11
1.8    Limitaciones .....	11
<b>CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN APLICABLES A LAS MINAS</b>	
<b>.....12</b>	
2.1    Estado del arte .....	12
2.1.1    Tecnologías de comunicación .....	14
2.1.2    Tipos de tecnología inalámbrica .....	15
2.2    Mina de tajo abierto - Cuajone.....	18
2.2.1    Localización.....	18
2.2.2    Operaciones realizadas por la mina.....	19
2.2.3    Equipos utilizados en la mina .....	22
<b>CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ...23</b>	
3.1    Descripción del sistema.....	23
3.2    Cobertura en la mina Cuajone .....	24
3.3    Planificación de la red.....	26
3.3.1    Preparación .....	26
3.3.2    Dimensionamiento.....	28

3.3.3	Planificación detallada .....	29
3.3.4	Verificación y aceptación .....	33
3.3.5	Optimización y monitoreo .....	34
3.4	Equipos GPS del mercado.....	34
3.4.1	Equipos GPS para vehículos .....	35
3.4.2	Equipos GPS para personas .....	37
3.5	Parámetros de equipos GPS para su elección.....	38
3.6	Plataforma de visualización .....	39
<b>CAPÍTULO 4: COSTOS Y EVALUACIÓN.....</b>		<b>45</b>
4.1	Propuesta económica .....	45
4.3.2	Implementación de la red de comunicación .....	46
4.1.2	Implementación de los equipos GPS y centro de control .....	47
4.2	Evaluación.....	49
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>50</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>52</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>55</b>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1.- Vía de Acceso a la mina Bellavista - Costa Rica.....	5
Figura 2.- Construcción de vías de la mina Oleniy Ruchey – Rusia .....	5
Figura 3.- Mina tajo abierto, remoción de capas de excedentes y mineral .....	7
Figura 4.- Extracción del mineral con las maquinarias pesadas.....	7
Figura 5.- Tipos de Perforadoras .....	9
Figura 6.- Excavadoras y Camiones .....	9
Figura 7.- Camiones Cisternas .....	10
Figura 8.- Tractores bulldozer y volquetes .....	10
Figura 9.- Tecnologías inalámbricas – Elaboración Propia [4].....	15
Figura 10.- Mina Cuajone – Tajo Abierto [5].....	18
Figura 11.- Ubicación Operaciones de Southern Perú Copper Corporation y Localización Minas Cuajone, Toquepala y Quellaveco [5] .....	19
Figura 12.- Entrada a la Mina de Southern Perú – Cuajone.....	19
Figura 13.- Voladura mina Cuajone y Planta Concentradora mina Cuajone [5].....	20
Figura 14.- Arquitectura de sistema de comunicación – Elaboración Propia.....	24
Figura 15.- Área de la mina Cuajone – Elaboración Propia.....	24
Figura 16.- Cobertura Celular Claro - OSIPTEL [6].....	25
Figura 17.- Cobertura Celular Movistar - OSIPTEL [6] .....	25
Figura 18.- Fases de planificación de la red – Elaboración propia [7] .....	26
Figura 19.- Zona de despliegue mina Cuajone – Elaboración Propia.....	27
Figura 20.- Radio enlace de la estación base hacia un punto de la mina – Radiomobile.....	28
Figura 21.- Aproximación de estaciones base – Elaboración Propia.....	29
Figura 22.- Distribución de hexágonos en la mina – Elaboración Propia.....	33
Figura 23.- Radio enlace de la estación base hacia primer punto de la mina.....	33
Figura 24.- Equipo GPS Marca CALAMP Modelo LMU 1200 [9].....	35
Figura 25.- Equipo GPS Marca DCT Modelo Syrus 2 [10] .....	36
Figura 26.- Equipos GPS Marca SKYWAVE Modelo IDP 680 e IDP 780 [11].....	37
Figura 27.- Equipo GPS marca SKYPATROL modelo TT8850 [12] .....	37
Figura 28.- Equipo GPS marca QUECLINK modelo gl300 [13].....	38
Figura 29.- Ingreso a la plataforma [14] .....	40
Figura 30.- Menú de estados [14] .....	40



Figura 31.- Menú de mapa [14].....	40
Figura 32.- Menú de informes [14].....	41
Figura 33.- Estado de las unidades de la mina [14] .....	42
Figura 34.- Mapa de ubicación de las unidades [14].....	43
Figura 35.- Reporte de trayecto [14] .....	44



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Clasificación Minerales .....	2
Tabla 2.- Principales usos de los Minerales .....	3
Tabla 3.- Principales Minas del Perú.....	8
Tabla 4.- Características de los medios .....	14
Tabla 5.- Tabla de producción en Cuajone en los años 2011, 2012 y 2013 .....	20
Tabla 6.- Datos de mercado mina Cuajone.....	27
Tabla 7.- Tráfico de voz .....	30
Tabla 8.- Presupuestos de niveles (link Budget) .....	31
Tabla 9.- Presupuestos de niveles (link Budget) .....	32
Tabla 10.- Especificaciones técnicas de equipos GPS de SKYWAVE .....	36
Tabla 11.- Parámetros de equipos GPS para vehículos.....	38
Tabla 12.- Parámetros de equipos GPS para personas.....	39
Tabla 13.- Tabla de costos de implementación de red.....	46
Tabla 14.- Tabla de costos equipos GPS y plataforma .....	47
Tabla 15.- Tabla de costos para el centro de control .....	48
Tabla 16.- Costo total del sistema de comunicación para mina la mina Cuajone ....	48

## CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA DE COMUNICACIONES EN LAS MINAS DE TAJO ABIERTO

### 1.1 Antecedentes: Historia

La mina más antigua conocida en los registros arqueológicos es Lion Cave (Cueva del León), en el Reino de Suazilandia, de África del Sur. En ese lugar, hace 43.000 años, los hombres del Paleolítico excavaban en busca de la hematita, mineral compuesto de hierro, que extraían para producir un pigmento ocre. Otros sitios de similar antigüedad se encuentran en Hungría, donde los neandertales extraían el sílex para fabricar armas y herramientas que fueron encontradas en Hungría.

Por otro lado, en Chile fue hallada una mina de óxido de hierro de 12000 años de antigüedad, que es la más antigua de todas las conocidas en el territorio de América del Norte y América del Sur. Esta mina se ubica cerca de la localidad de Taltal, a unos 1.100 kilómetros al norte de la capital chilena, Santiago. En la expedición realizada en enero de 2009, se determinó que el objetivo de las excavaciones había sido el óxido de hierro. Este mineral era utilizado por los nativos como un colorante para varios ritos religiosos, tanto para teñir su cuerpo como para pintar a los muertos. Los resultados del peritaje indican que esta mina fue excavada en el período que va entre los 10.000 y los 2.000 años antes de cristo. Asimismo, los arqueólogos encontraron tanto en la mina como en el territorio adyacente herramientas para la extracción del óxido de hierro: pequeños martillos hechos de piedra. Como explicó el arqueólogo Herman Salinas, se hallaron más de mil utensilios, pero la cantidad podría alcanzar varios miles. Otra operación minera antigua fue la de obtención de turquesa por los egipcios (3000 a.c.) en Uadi Maghara, península de Sinaí. La turquesa también fue extraída en la América Precolombina, en el distrito minero de Cerillos en Nuevo México, donde una masa de roca de 60 metros de profundidad y 90 metros de ancho fue removida con herramientas de piedra; el contenido de la mina cubre 81.000 m<sup>2</sup>. [1]

La pólvora negra fue usada por primera vez en minería en un pozo de Banská Štiavnica, Eslovaquia, en 1627. En este mismo pueblo se estableció la primera academia de minería del mundo en 1762. En Almadén España (Ciudad Real), la primera escuela de estudios de minas se creó en 1777, posteriormente los estudios

de ingenieros de minas se trasladaron y desarrollaron en Madrid en 1835 y se mantuvo la Escuela de Capataces de Minas en Almadén.

Por otro parte, la minería en el Perú constituye una de las principales actividades del país, no solamente por su aporte destacado a la economía sino también por la enorme variedad de minerales que son extraídos en muchas regiones del territorio y que colocan a la Minería Peruana como una de las más importantes en todo el mundo.

Los minerales se pueden clasificar según la tabla siguiente:

Tabla 1.- Clasificación Minerales

Grupo	Minerales
Metales	Incluyen los metales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preciosos (el oro, la plata y los metales del grupo del platino)</li> <li>• Siderúrgicos (hierro, níquel, cobalto, titanio, vanadio, cromo)</li> <li>• Básicos (cobre, plomo, estaño y zinc)</li> <li>• Ligeros (magnesio y aluminio)</li> <li>• Nucleares (uranio, radio y torio)</li> <li>• Especiales como el litio, el germanio, el galio o el arsénico.</li> </ul>
Minerales industriales	Incluyen los de potasio y azufre, el cuarzo, la trona, la sal común, el amianto, el talco, el feldespato y los fosfatos.
Materiales de construcción	Incluyen la arena, la grava, los áridos, las arcillas para ladrillos, la caliza y los esquistos <sup>1</sup> para la fabricación de cemento. En este grupo también se incluyen la pizarra para tejados y las piedras pulidas, como el granito, el travertino o el mármol.
Gemas	Incluyen los diamantes, los rubíes, los zafiros y las esmeraldas.
Combustibles	Incluyen el carbón, el lignito, la turba, el petróleo y el gas (aunque generalmente estos últimos no se consideran productos mineros). El uranio se incluye con frecuencia entre los combustibles.

1. Los esquistos son rocas que se forman al interior de la tierra y tienen variadas formas (son rocas metamórficas). Esta última característica se debe a la alta presión a la que fueron sometidas, así como a las altas temperaturas al interior de la corteza terrestre.

Fuente: Osinergmin [2]

Los usos de los principales metales en la minería van desde su utilización en productos industriales hasta en productos médicos como se visualiza en la tabla 2.

Tabla 2.- Principales usos de los Minerales

Producto	Propiedades	Usos	Sustitutos principales
Cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductividad eléctrica y del calor.</li> <li>• Ductibilidad</li> <li>• Resistencia a la corrosión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electricidad: 50%.</li> <li>• Maquinaria no eléctrica: 20%.</li> <li>• Construcción: 16%.</li> <li>• Vehículos: 10%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminio en cables eléctricos.</li> <li>• Fibras ópticas de vidrio en telecomunicaciones.</li> </ul>
Zinc	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protege de la corrosión (acero y fierro galvanizado).</li> <li>• Fácil de moldear produciendo piezas resistentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción (galvanizado): 32%.</li> <li>• Transporte (galvanizado, bronce, piezas moldeables): 22%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminio y plásticos para piezas moldeables.</li> </ul>
Plata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma compuestos químicos foto sensitivos.</li> <li>• Resistencia a la corrosión y a diversos químicos.</li> <li>• Mejor conductor que el cobre.</li> <li>• Usos monetarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotografía: 26%.</li> <li>• Electrónica: 23%.</li> <li>• Monedas: 10%.</li> <li>• Cubiertos y valijas: 21%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En fotografía por sus características físicas y químicas.</li> <li>• En monedas, lo pueden sustituir el cobre y el oro.</li> <li>• En joyería como complemento en otros metales.</li> </ul>
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a ácidos (baterías).</li> <li>• Resistencia a humedad y otros factores climáticos (forro de cables).</li> <li>• Propiedades químicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bacterias: 50%.</li> <li>• Aditivos: 15%.</li> <li>• Forro de cables: 14%.</li> <li>• Óxidos: 10%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En baterías: Cadmio, níquel y otros, pero no para automóviles.</li> <li>• Níquel en gasolina, pero a mayor costo.</li> <li>• Polietileno y otros como forro de cables en ambientes no muy corrosivos.</li> </ul>
Estaño	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protege el acero de la corrosión.</li> <li>• Bajo punto de fusión.</li> <li>• Forma aleaciones (bronce, más resistencia física que el cobre)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envases: 32%</li> <li>• Transporte: 14%</li> <li>• Maquinaria: 11%</li> <li>• Soldaduras: 17%.</li> <li>• Aleaciones: 14%</li> <li>• Químicos: 7%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminio (latas).</li> <li>• Diversos materiales en estañado.</li> <li>• No hay sustitutos aceptables en soldadura.</li> </ul>
Oro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buen conductor eléctrico y térmico.</li> <li>• Resiste a la corrosión.</li> <li>• Tiene bajo costo de extracción.</li> <li>• Usos monetarios.</li> <li>• Es maleable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Joyería.</li> <li>• Monedas.</li> <li>• Reserva de valor.</li> <li>• Empastes dentales.</li> <li>• Tratamiento de cáncer.</li> <li>• Ordenadores.</li> <li>• Satélites.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por su maleabilidad e importancia como reserva de valor tiene pocos sustitutos.</li> <li>• La plata y el cobre pueden sustituirlo en la estructuración de carteras con fines de cobertura.</li> </ul>
Acero y Hierro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Según su composición tiene diferentes grados de dureza y resistencia física.</li> <li>• Es fácil de alear con diversos metales.</li> <li>• Tiene mayor elasticidad que otros metales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hierro y acero.</li> <li>• Transporte.</li> <li>• Construcción.</li> <li>• Maquinaria.</li> <li>• Envases.</li> <li>• Industria del petróleo.</li> <li>• Equipos.</li> <li>• Otros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A pesar de la existencia de una serie de sustitutos, su impacto en el mercado de hierro y acero ha sido poco significativo.</li> </ul>

Fuente: Osinergmin [2]

## 1.2 Entorno General

A nivel mundial y latinoamericano el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), lo cual es reflejo no sólo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino de la estabilidad de las políticas económicas en nuestro país.

En este contexto, en las minas, existen cuatro tipos de extracción de minerales:

1. Superficie o tajo abierto
2. Subterráneo o socavón
3. Pozos de perforación o pozos petroleros
4. Submarina o dragado

En el Perú son dos los más usados, uno de ellos es la extracción subterránea de minerales, las cuáles se realizan debajo de la superficie del terreno mediante túneles y socavones. Este tipo de minería no conlleva un riesgo en el medio ambiente, pero si en la seguridad, además de tener un elevado costo. El otro tipo, es la extracción en tajo abierto o también conocido como cielo abierto. Este último tipo de extracción de minerales, por ser un trabajo en la superficie conlleva principalmente consecuencias con el medio ambiente, es por esto que se realiza todo un estudio antes de su realización, el cual cuenta con diferentes fases.

### 1.2.1 Fases de un proyecto minero

1. Exploración

Es el primer paso que una empresa minera da para saber si en un área determinada se encuentra rastros de un algún mineral. Para esto se hace uso de fotografías realizadas por satélites, de la topografía y de mapas estructurales. Una vez encontrado el área donde se encuentra el mineral, se realiza un estudio más minucioso, el cual comprende: Inspecciones, estudios de campo, perforaciones de prueba y otros análisis exploratorios. Posteriormente se realiza el estudio de factibilidad en base a los resultados para saber si se realizará el paso siguiente.

2. Desarrollo

Si luego de la fase de exploración se registra que la extracción de minerales en esa área es factible, se estaría empezando con el desarrollo de la mina, la cual cuenta con 2 etapas, las cuales se detallan a continuación:

a) Construcción de vías de acceso

La construcción de vías de acceso es importante para la movilización de maquinaria pesada a la mina, para los equipos que trasladan insumos; así como también para el transporte de los minerales procesados extraídos para su comercialización. Estas vías conllevan un estudio previo ya que pueden afectar a comunidades indígenas contiguas o generar un impacto negativo al ecosistema. A continuación, en las figuras 1 y 2 se muestran ejemplos de vías de acceso a unidades mineras.



Figura 1.- Vía de Acceso a la mina Bellavista - Costa Rica

Tomado: [http://minabellavistadevuelta.blogspot.com/2011\\_04\\_01\\_archive.html](http://minabellavistadevuelta.blogspot.com/2011_04_01_archive.html)



Figura 2.- Construcción de vías de la mina Oleniy Ruchey – Rusia

Tomado: <http://www.szfk.ru/en/project/gallery/45/>

En el anexo 1 podremos observar los caminos que conectan las instalaciones en una unidad minera.

b) Preparación del lugar y limpieza

Si el área de donde se extraerá los minerales, se encuentra en una zona donde el terreno no está preparado para la construcción de infraestructuras o para dar inicio al minado, esta es trabajada para que el personal y los equipos puedan utilizarla. Algunos de estos trabajos son:

1. Preparación del terreno, quitando la vegetación existente y excavando con maquinaria o explosivos para generar las primeras plataformas.
2. Construcción de ambientes administrativos, hospedajes, talleres mecánicos y almacenes.
3. Creación de la infraestructura de las líneas de tensión, subestaciones, líneas de agua y desagüe.
4. Construcción de plantas concentradoras, chancadora principal, faja transportadora, depósito de desmontes y un área de almacenamiento de concentrados.

En el anexo 2 podremos observar algunas instalaciones presentes en una operación minera y en el anexo 3 el proceso que siguen los minerales en el área de lixiviación.

### 3. Explotación de la mina

Luego de la construcción de las rutas de acceso y de los ambientes necesarios para las maquinarias y personas que trabajarán dentro de la operación minera se prosigue con la explotación de los minerales. Para esto hay diferentes tipos de métodos de extracción para el minado. Esta tesis se basará en una explotación a tajo abierto.

Este método de extracción de mineral es económicamente explotable cuando se trata de un yacimiento masivo (Generalmente consiste en un gran volumen de roca con baja ley de mineral) y este aflora en la superficie o cerca de ella. El material que recubre la formación geológica del yacimiento se denomina estéril (Roca sin presencia de mineral) y será extraído para ser transportado a los botaderos de desmonte, mientras que el mineral será enviado a los stocks de mineral o a las pilas de lixiviación. Todo el material es extraído desde la mina es extraído generalmente con maquinaria pesada, como excavadoras y camiones de carga; sin embargo, existen otros métodos como el uso de fajas transportadoras. Es importante resaltar que la minería que se desarrolla de manera superficial conlleva un mayor impacto ambiental por lo que llevar a cabo este tipo de explotación requiere de muchos estudios previos para mitigar este impacto.

En la figura 3 se puede apreciar el minado de un frente de mineral.



Las excavadoras van cargando el material hacia los camiones y estos los van transportando fuera de la mina.



Figura 3.- Mina tajo abierto, remoción de capas de excedentes y mineral

Tomado: [http://img.lagaceta.com.ar/fotos/notas/2015/05/27/639136\\_20150527140803.jpg](http://img.lagaceta.com.ar/fotos/notas/2015/05/27/639136_20150527140803.jpg)

Debido a que el estudio de la tesis se basa en la minería de tajo abierto, los detalles de los demás tipos de extracción de minerales se adjuntan en el anexo 4.

A continuación, en la figura 4 se puede apreciar el trabajo que realizan las unidades que se encuentran dentro de la mina de tajo abierto.

A: Las cisternas riegan el camino con agua para que, al pasar las unidades, estas no levanten demasiado polvo.

B: Los equipos que extraen y cargan los minerales.

C: Los camiones que transportan el mineral o estéril fuera de la mina.

D: Las unidades que se utilizan para la perforación de roca



Figura 4.- Extracción del mineral con las maquinarias pesadas

Tomado: [www.minerasancristobal.com/en/wp-content/uploads/2011/05/Mining-Method.jpg](http://www.minerasancristobal.com/en/wp-content/uploads/2011/05/Mining-Method.jpg)

### 1.3 Mina de tajo abierto

Para la explotación de una mina a cielo abierto, a veces, es necesario excavar, con medios mecánicos o con explosivos, los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma el yacimiento. Estos materiales se denominan genéricamente estéril, mientras que a la formación a explotar se le llama mineral. El estéril excavado es necesario apilarlo en escombreras fuera del área final que ocupará la explotación, con vistas a su utilización en la restauración de la mina una vez terminada su explotación.

Las minas a cielo abierto son económicamente rentables cuando los yacimientos afloran en la superficie, o el recubrimiento es pequeño o el terreno no es estructuralmente adecuada para trabajos subterráneos (como ocurre con la arena o la grava). Cuando la profundidad del yacimiento aumenta, la ventaja económica del cielo abierto disminuye en favor de la explotación mediante minería subterránea. Tal es el caso de Chuquicamata (Chile).

Entre las principales mineras del Perú tenemos:

Tabla 3.- Principales Minas del Perú

Mina	Empresa	Ubicación
Toquepala	Southern Perú Copper	Tacna
Cuajone	Southern Perú Copper	Moquegua
Cerro de Pasco	Volcan Compañía Minera S.A.A.	Cerro de Pasco
Antamina	Antamina S.A.	Ancash
Yanacocha	Yanacocha	Cajamarca
Las Bambas	Glencore	Apurímac
Toromocho	Mínera Chinalco Perú	Lima
Cerro verde	Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A	Arequipa
Rio Blanco	Rio Blanco Copper S.A.	Piura

Fuente: Elaboración propia

### 1.4 Maquinarias pesadas utilizadas en las minas de tajo abierto

En la etapa de extracción del mineral se utilizan múltiples maquinarias, las cuales cumplen funciones diferentes.

- 1) Perforadoras: Estas unidades utilizan taladros para la perforación en el macizo rocoso. Luego, cargados con explosivos para generar la voladura. Ver figura 5.
- 2) Excavadoras: Estas unidades remueven el mineral y el estéril de los frentes de minado para cargarlos en los camiones. Para el caso de excavadoras pequeñas, estas son utilizadas para algún tipo de actividad auxiliar dentro la mina como el perfilado de taludes. Ver figura 6.
- 3) Camiones de carga: Vehículos que cargan el mineral o el material estéril fuera de la mina ya sea a stocks de mineral o botaderos de desmonte. Ver figura 6.
- 4) Camiones cisternas: Estos móviles generalmente riegan las vías de acarreo para no levantar el polvo. En temporada de lluvia apoyan en el lavado de faros de los equipos. Ver figura 7.
- 5) Tractores bulldozer: Estos equipos generalmente son utilizados en el empuje de material en las descargas. También son utilizados en actividades auxiliares como la generación de rampas o plataformas. Ver figura 8.
- 6) Volquetes: Estas unidades más pequeñas que los camiones se utilizan como equipos auxiliares para cargar pequeños volúmenes de material en zonas reducidas. Ver figura 8.
- 7) Cargadores frontales: Estas unidades al igual que las excavadoras grandes, también son utilizados como equipos de carguío de los camiones mineros.



Figura 5.- Tipos de Perforadoras

Tomado: <http://www.corporacionfont.com/unidades-de-negocio/construccion-y-mineria/equipos-para-perforacion-de-superficie/>



Figura 6.- Excavadoras y Camiones

Tomado: <http://lib.hpublication.com/publication/8e5fe791/>



Figura 7.- Camiones Cisternas

Tomado: <http://www.transportesolimpus.com.pe/camiones/camiones-full-equipo/>



Figura 8.- Tractores bulldozer y volquetes

Tomado: <http://www.transportesolimpus.com.pe/camiones/camiones-full-equipo/>

Tomado: <http://e.rpp-noticias.io/normal/2010/06/22/496623.jpg>

### 1.5 Problemáticas en el proceso de las minas de tajo abierto

Para este punto, se conversó con el Doctor Adolfo Pillihuamán, Coordinador Área de Metalurgia, Sección de Ingeniería de Minas, quién explicó las problemáticas que normalmente las minas de tajo abierto enfrentan debido a la necesidad de un sistema de comunicación. En el proceso de la extracción de minerales se necesita un total control y comunicación, en tiempo real, entre los vehículos, operarios de las maquinarias, obreros, ingenieros y el personal que labora en las oficinas. Esto para tener un mejor manejo de la mina y pueda ser más eficiente el carguío y acarreo de los minerales, al igual que para salvaguardar la seguridad de todas las personas en la mina.

Como el área donde se trabaja normalmente son alejadas, la comunicación dentro de la mina de cielo abierto se dificulta. Es por esto que surgen distintos problemas:

- 1) Comunicación entre los operadores y vehículos hacia un centro de monitoreo.
- 2) Control de la posición y función de las unidades dentro de la mina.
- 3) Control entre las unidades para las áreas de carga y descarga de minerales.
- 4) Mantenimiento de las unidades que se utilizan en la mina.
- 5) Control de seguridad en las vías por donde las unidades realizan su recorrido.
- 6) Limpieza de materiales caídos para el mantenimiento de los caminos.

- 7) Control de los operarios por horas trabajadas o horas de descanso.

Lo común entre estas problemáticas mencionadas es la falta de comunicación entre todas las personas y vehículos.

## 1.6 Objetivo principal y objetivos específicos

En base al contexto expuesto, en esta tesis se tiene este objetivo principal:

Diseñar un sistema de comunicaciones inalámbrico para la supervisión y control automatizado a distancia, en tiempo real, para los vehículos y personas dentro de una mina. El sistema ofrecerá la transferencia de voz y datos, pero no de video.

Entre los objetivos específicos tenemos:

- a) Establecer la tecnología inalámbrica que se usará para la mina de tajo abierto.
- b) Dimensionar el sistema de comunicación de la mina.
- c) De acuerdo a la elección de la tecnología inalámbrica, hacer el estudio y elección de los equipos en el mercado.
- d) Tener una plataforma en la cual se pueda supervisar y controlar las unidades en tiempo real.

## 1.7 Alcance

El estudio de esta tesis dará una propuesta factible para las minas de tajo abierto para contar con un sistema de comunicación que los ayude a gestionar a sus unidades y personal dentro de ella. Se dará, también, la elección de equipos necesarios para esta función.

## 1.8 Limitaciones

Este sistema de comunicación se realizará con cálculos teóricos por no contar con acceso a la mina de tajo abierto. Además, se limita a una propuesta de voz y datos mas no de video.

## **CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN APLICABLES A LAS MINAS**

En una tesis realizada hace unos años [3] se diseñó el acceso a Internet para los vehículos en movimiento de una mina de tajo abierto. Se planteó usar una red de acceso de alta movilidad (Mesh Enabled Architecture – MEA) y en combinación con algunos equipos de comunicación puedan controlar las unidades de la mina. Con esta tecnología basada principalmente en la red de malla (Mesh) se cubrió los problemas de poder tener un sistema de control que pueda transmitir datos digitales para poder ser luego procesados por el personal y obtener lo que necesitan. También este sistema ayuda a tener una comunicación para el control y desarrollo de las actividades en el campo, de esta manera ayuda a los ingenieros en las zonas pocas accesibles para la recolección de datos. Este sistema permite obtener datos adicionales de las unidades agregándoles sensores eléctricos – electrónicos que de alguna manera vuelven más compleja la solución. Además, se tendría que adicionar un GPS a las unidades para poder verificar la posición de la cual están enviando los datos y así poder manejar y coordinar las actividades de cada uno. En este estudio académico presentaremos otras opciones que de alguna manera simplifican la transmisión de datos y la comunicación con una sola solución más compacta.

### **2.1 Estado del arte**

La minería en el Perú constituye una de las principales actividades del país, no solamente por su aporte destacado a la economía sino también por la enorme variedad de minerales que son extraídos en muchas regiones del territorio y que la coloca como una de las más importantes en todo el mundo.

Las minas de tajo abierto poseen entornos operativos dinámicos y duros que pueden diferir de una mina a otra. Aún hoy en día en algunas minas en el mundo se llevan a cabo las operaciones de supervisión y diagnóstico de forma manual. Las operaciones manuales implican a menudo salirse de la planificación para el mantenimiento y la programación de la operación, lo que puede afectar los cumplimientos y el plan de minado inicial. Asimismo, en estas operaciones, se envían operarios normalmente a la mina para recoger los datos de las maquinarias y de otros activos. Luego, estos datos recopilados se procesan en un sitio de control con el fin de obtener más

información sobre el estado operativo de las maquinarias y la ubicación, así como la actividad que vienen realizando.

La supervisión y el mantenimiento manual tiene grandes inconvenientes, ya que requiere la intervención continua de la operación en funcionamiento, asimismo es propenso a errores y al consumo de tiempo. La supervisión manual también puede no ser eficaz cuando la geografía de la mina es enorme. En consecuencia, el manejo no efectivo de la inmensa cantidad de datos puede causar un retraso drástico en la supervisión, planificación y mantenimiento de los vehículos y de los activos en la mina. Así mismo, se expone la seguridad de los trabajadores que se encuentran en la mina recopilando la información que necesitan.

Debido a lo expuesto, hay una necesidad de un sistema automatizado de supervisión y de diagnóstico a distancia, en tiempo real, que puede ayudar en el seguimiento de la operación y predecir los servicios requeridos por los vehículos y verificar la seguridad de los ingenieros que se encuentran en campo realizando sus labores.

Si se diseña un sistema de supervisión y diagnóstico remoto en tiempo real, en minas de tajo abierto, algunos de los beneficios serían:

- Eficiencia operativa superior: La supervisión remota y de diagnóstico puede facilitar rápidamente la información de los activos (excavadoras, camiones de carga, camiones de servicio, cisternas, etc.) sobre su estado y su comportamiento. Además, se tendrá una mejor organización de los datos, la cual permitirá mejorar el flujo de trabajo. Estos resultados permiten lograr una alta eficiencia operativa.
- La reducción de visitas a las instalaciones: Con la automatización en su lugar, el estado de las unidades de la mina a cielo abierto se puede comprobar en cualquier momento de forma remota. Esto reduce la necesidad de enviar los técnicos a comprobar el estado de los vehículos de la mina.
- Mejora de la seguridad: Las soluciones de supervisión remota proporciona información detallada sobre la forma en que los equipos están siendo utilizados durante su operación. Esto podría ser información vital con el fin de prevenir accidentes, vigilar la seguridad de los operadores y habilitar la programación y el mantenimiento oportuno.

### 2.1.1 Tecnologías de comunicación

Antes de hablar de las tecnologías de comunicación, es importante conocer los medios por el cual estarán interconectados los equipos de comunicación.

Existen dos tipos de medios:

- Medios Guiados: En este grupo se encuentran el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica.
- Medios no Guiados: En este grupo se encuentra el radio AM/HF, microondas y satélite.

En la tabla 4 se dan algunas características de estos medios:

Tabla 4.- Características de los medios

		Red		Costo	Caudal
		Acceso	Transporte		
Medios Guiados	Par trenzado	Si		Bajo	Bajo
	Cable Coaxial	Si	Si	Medio	Medio/Alto
	Fibra Óptica		Si	Alto	Muy Alto
Medios no Guiados	Radio AM/HF	Si		Bajo	Muy Bajo
	Microondas	Si	Si	Medio	Medio/Alto
	Satélite	Si	Si	Alto	Medio

Fuente: Elaboración Propia

Usar una tecnología inalámbrica permitiría que la empresa incremente su productividad y eficacia, de este modo el empleado se dedicaría exclusivamente al trabajo de análisis, evitando los inconvenientes de recojo de información en campo.

En la actualidad, como se mencionó anteriormente, algunas minas siguen recolectando datos manualmente. Esto muchas veces conlleva a un problema de sobrecarga de trabajo, si no es de forma ordenada, ya que es mucha la información que se acumula, lo que trae consigo un retraso y pérdidas a las minas de tajo abierto. Por este motivo, en el mundo de hoy donde la tecnología avanza y las comunicaciones van creciendo enormemente, se está optando por usar un sistema de comunicación el cual sea automatizado. Este sistema permitirá supervisar y diagnosticar remotamente, en tiempo real, lo que esté sucediendo



en la mina. Para lograr esto existen soluciones inalámbricas que van de acuerdo a la operatividad y al lugar en donde se encuentra la mina. En la figura 9 se muestra las posibles tecnologías que se podrían usar.

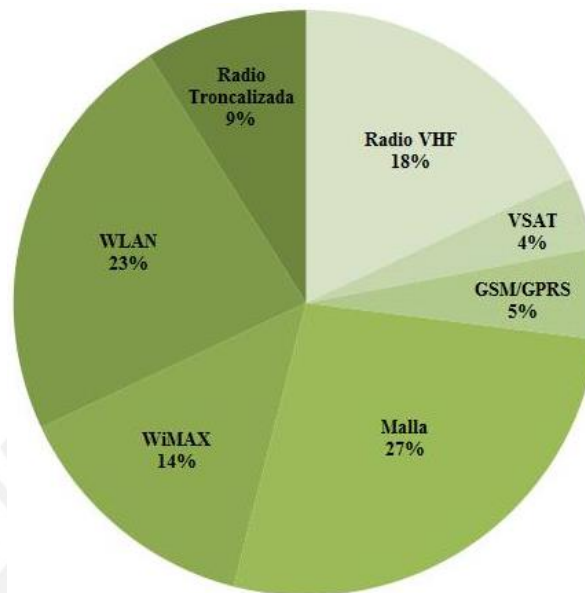


Figura 9.- Tecnologías inalámbricas – Elaboración Propia [4]

Una solución de infraestructura de comunicación tiene que tener en cuenta el uso de la energía, ya que esto es considerado muy importante en la operación general de toda la mina. Por ejemplo, en una arquitectura centralizada, la mayoría de los equipos inalámbricos se mantienen encendidos en todo momento, a pesar de que algunos de ellos pueden estar ubicados en regiones que no son muy activas. Esto consume energía innecesaria y crea datos de monitoreo adicionales en toda la red.

Como las minas de tajo abierto y su centro de control pueden estar ubicados lejos, unos de otros, es importante que los diferentes equipos inalámbricos en la mina sean eficientes, y puedan trabajar por un largo período de tiempo. Las soluciones basadas en la tecnología de larga distancia como 900 MHz, GSM / GPRS y WIMAX ofrecen buenas soluciones centralizadas.

### 2.1.2 Tipos de tecnología inalámbrica

Podemos dividirlos en 2 categorías de tecnologías inalámbricas principales:

- Redes de área extensa: Se utilizan para el servicio de tecnología móvil.
- Redes de área local: Se utilizan para conectar varios computadores entre sí en un ambiente de oficina, por ejemplo.

Estos tipos de tecnologías inalámbricas serían las mencionadas anteriormente:

- Radio VHF
- VSAT
- Radio troncalizado
- GSM/GPRS
- GPS Satelital
- WLAN
- WiMAX

A continuación, describiremos cada tecnología indicando su aplicabilidad o pertinencia:

1. Radio VHF

Esta tecnología ha sido usada anteriormente. Estas fueron utilizadas con éxito, pero ahora es muy limitado, cuentan con un ancho de banda entre 5 a 25 KHz. Debido a que tienen una transmisión analógica y no digital para este caso no es pertinente su uso ya que no podría transmitir datos sino solo voz, por esto ya no será considerado.

2. VSAT

Existen terminales con antenas parabólicas de tamaño reducido (VSAT) para el intercambio de información vía satélite punto a punto o punto a multipunto (broadcasting). La ventaja de una estación terrestre de VSAT es que no están limitadas por el alcance del cableado subterráneo, solo requiere ser vista por el satélite. Esta tecnología satelital es muy eficiente y rentable a partir de 1000 unidades, este es un valor comercial y financiero que usaban las empresas como AVANTEC. En nuestro caso es menos de 400 unidades, por lo cual no es muy rentable. Por esta razón no será usada en el diseño.

3. Radio Troncalizado

En el sistema troncalizado, hay grupos de usuarios independientes de los canales o frecuencias con que se cuenta. Cuando un usuario desea realizar una llamada, bien sea de voz o datos, el sistema automáticamente le asigna un canal libre. Si este no encuentra ningún canal libre, queda en una cola de espera por un determinado tiempo. Debido a que se necesita una tecnología en la cual la información se trasmite de forma constante, esta tecnología no será tomada en cuenta.

#### 4. GSM/GPRS

GPRS significa General Packet Radio Services (servicios generales de paquetes por radio). Es una tecnología entre la segunda (2G) y la tercera (3G) generación de tecnología móvil digital. Se transmite a través de redes de telefonía móvil y envía datos a una velocidad de hasta 114 Kbps. Esta tecnología dependerá de la cobertura celular. En la mina se analizará la posibilidad de utilizar esta tecnología.

#### 5. GPS Satelital

Esta tecnología es parecida a la de GSM/GPRS, esta envía datos, pero de manera satelital. En la mina, se podría transmitir posición y adicionalmente otros datos que se puedan obtener de las unidades. Esta solución podría complementarse de forma dual, enviando datos por GPRS y de manera satelital cuando se pierda la cobertura celular. De esta manera se abarataría costos.

#### 6. WLAN

Ofrece acceso sin cables a todos los recursos y servicios de una red corporativa (LAN) en un edificio o todo un campus. Esta tecnología tendría que complementarse con otros recursos para poder brindar los servicios que necesita la mina, por esta razón no se tomara en cuenta.

#### 7. WiMAX

La tecnología 802.16, a menudo denominada WiMAX, complementa la WLAN conectando hotspots con tecnología 802.11 a Internet y ofrece una alternativa inalámbrica para la conectividad de banda ancha de última generación a empresas y hogares. Esta red es costosa y ya no es comercialmente vendida.

De acuerdo a las opciones que se presentan y planteando una solución efectiva para las minas de tajo abierto, se elige poder utilizar la tecnología inalámbrica GSM/GPRS en conjunto, como un medio para reforzar la tecnología mencionada, con el GPS satelital. Esto es debido a que esta tecnología brinda una mayor precisión en la localización de las unidades móviles, que es algo importante para los que supervisan ya que mediante esto pueden organizar el trabajo que necesitan hacer, así mismo la transmisión de los datos es en tiempo real. La solución que se presenta traería muchos beneficios para la mina, económicos, productivos y de seguridad para todo el personal que labora ahí porque podrá brindar un servicio de comunicación de voz y datos en tiempo real.

En la tesis revisada [3], se utilizó la tecnología inalámbrica de malla llamada MOTOMESH, este servicio solo brindaba acceso a Internet a los vehículos que se encontraban dentro de la zona de cobertura mediante la instalación de una computadora con una antena y otros dispositivos más. En nuestro caso aparte de brindar acceso a Internet a la mina de tajo abierto, se enviará información requerida por la mina sobre las funciones que realizan los vehículos y personas además de dar servicio de voz.

El desarrollo de la tesis se basará en la mina Cuajone para el estudio y el dimensionamiento de la red que se plantea realizar. A continuación, se desarrollará una introducción de esta mina.

## 2.2 Mina de tajo abierto - Cuajone

Cuajone es un proyecto minero de gran magnitud en el Perú, explotado por la Empresa Southern Perú. Este yacimiento cuprífero está ubicado en una zona de fuerte relieve topográfico. La mina es operada atajo abierto (ver figura 10). Las operaciones de Cuajone consisten en la extracción, molienda y flotación de mineral de cobre para producir concentrados de cobre y de molibdeno. La fundición de concentrados de cobre sirve para producir ánodos de cobre y así mismo, la refinación de ánodos de cobre para producir los cátodos de cobre. Como parte de estos procesos de producción se genera cantidades significativas de concentrados de molibdeno y plata refinada. También se produce cobre refinado usando tecnología de extracción por solventes y electrodeposición (ESDE). La remoción del material de recubrimiento comenzó en 1970 y la producción comenzó en 1976.

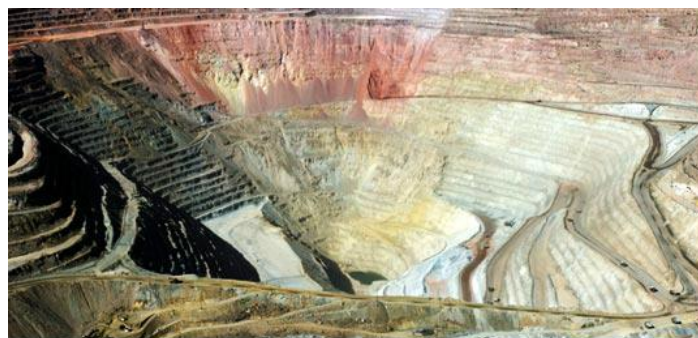


Figura 10.- Mina Cuajone – Tajo Abierto [5]

### 2.2.1 Localización

La mina Cuajone se encuentra ubicado en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, Perú (ver figura 11).



Figura 11.- Ubicación Operaciones de Southern Perú Copper Corporation y Localización Minas Cuajone, Toquepala y Quellaveco [5]

Tomado: [http://aqmcopper.com/i/maps/southern\\_peru\\_sm.jpg](http://aqmcopper.com/i/maps/southern_peru_sm.jpg)

El yacimiento está localizado en la franja oeste de la Cordillera Occidental en la parte sur de los Andes peruanos, y es parte de un distrito minero que contiene otros dos yacimientos adicionales conocidos: Toquepala y Quellaveco. Cuajone se encuentra a una altura aproximada de 3,500 msnm y es una de las principales minas productoras de cobre del país junto con Cerro Verde, Toquepala y Antamina.

El acceso a la propiedad de Cuajone es por avión de Lima a Tacna, el tiempo es aproximadamente de 1:20 horas, y luego por la carretera hasta Moquegua y finalmente llegar a Villa Cuajone por la carretera Cuajone, esto toma aproximadamente 3:30 horas. (Ver figura 12).



Figura 12.- Entrada a la Mina de Southern Perú – Cuajone

Tomado: Google Earth

### 2.2.2 Operaciones realizadas por la mina

El complejo minero Cuajone tiene un tajo aproximadamente de las siguientes dimensiones: 2,100 m de largo por 2,500 de ancho y 800 m de profundidad.

Cuajone usa un método convencional de minado a tajo abierto para extraer el mineral de cobre, cuando se encuentra fracturada la roca se procede a la

selección del material para su posterior procesamiento en la concentradora, en el proceso de lixiviación o en procesos de vegetación (ver figura 13).



Figura 13.- Voladura mina Cuajone y Planta Concentradora mina Cuajone [5]

El mineral extraído es cargado por palas y depositado en enormes camiones para ser trasladados y depositados en los vagones del ferrocarril para que lleguen a la planta concentradora.

La concentradora tiene una capacidad de molienda de 87 mil toneladas por día. Al 2014 su producción fue de 178 kt de cobre. En la tabla 5 se muestra la información de la producción de las operaciones en Cuajone en los años 2011, 2012 y 2013.

Tabla 5.- Tabla de producción en Cuajone en los años 2011, 2012 y 2013

	2013	2012	2011
<b>Días de operación al año en la mina</b>	365	366	365
<b>Mina</b>			
Total mineral minado (kt)	29,269	28,708	29,073
Ley del cobre (%)	1	1	1
Material lixiviable minado (kt)	3,071	554	3,096
Ley del material lixiviable (%)	0.467	0.538	0.551
Ratio de desbroce (x)	4.92	4.37	3.82
Total material minado (kt)	173,277	154,091	140,108
<b>Concentradora</b>			
Total material molido (kt)	29,353	28,732	28,946
Recuperación de cobre (%)	86	85	84
Concentrado de cobre (kt)	659.8	620.7	542.3
Cobre contenido en el concentrado (kt)	168.6	158.8	140.1
Ley promedio del concentrado de cobre (%)	26	26	26
<b>Molibdeno</b>			
Ley del molibdeno (%)	0	0	0
Recuperación de molibdeno (%)	72	71	74
Concentrado de molibdeno (kt)	6	5	5
Ley promedio del concentrado de molibdeno (%)	53.66	53.42	53.71
Molibdeno contenido en el concentrado (kt)	3	3	3

Kt: Miles de toneladas. X: Ratio de desbroce obtenido al dividir la suma del material de desbroce más el material lixiviable entre el material minado

Fuente: Southern Copper [5]

Las operaciones, en la mina Cuajone, utilizan sistemas computarizados de control de última generación en la concentradora, la planta de chancado y el circuito de flotación con la finalidad de coordinar los flujos de ingreso y optimizar las operaciones. El material con una ley de cobre de más de 0.35% se carga en vagones y se envía al circuito de molienda, donde gigantescas chancadoras rotatorias reducen el tamaño de las rocas a aproximadamente media pulgada. Después de esto se inicia el proceso de concentración el cual consiste en la separación de los minerales de aquello que no sirve.

El mineral es luego enviado a los molinos, aquí las rocas son pulverizadas hasta la consistencia de un polvo fino. El polvo finalmente molido se agita en una solución de agua y reactivos, esto con el fin de separar el cobre del molibdeno. El material se transporta a las celdas de flotación, aquí se bombea aire hacia las celdas para producir espuma que hace flotar los minerales de cobre y molibdeno, pero separando el material residual, llamado relave. Este concentrado de cobre y molibdeno es tratado mediante flotación inversa, que hace que el molibdeno flote y que el cobre se hunda.

El concentrado obtenido del cobre es enviado por camiones o por el ferrocarril a la fundición de Ilo y el concentrado de molibdeno es empacado para ser enviado a sus clientes. Los sulfuros que tienen un contenido de cobre menor que 0.35% se consideran desmonte. Los relaves se envían a los espesadores donde se recupera el agua y son vueltos a usar en sus procesos. Los relaves restantes se envían a la represa Quebrada Honda, en esta instalación principal se almacena los relaves.

La concentradora de Cuajone cuenta con los siguientes equipos principales:

- Una chancadora primaria, tres chancadoras secundarias, siete chancadoras terciarias.
- Un rodillo triturador de alta presión.
- Once molinos de bola primarios, cuatro molinos de bola para el retriturado del concentrado grueso, un molino vertical para retriturado de concentrado grueso.
- Treinta celdas de 100 pies cúbicos para flotación gruesa, cuatro celdas de 160 pies cúbicos para flotación gruesa, cinco celdas de 60 pies cúbicos para el circuito de barrido y limpieza, seis celdas de 1350 pies cúbicos para el

circuito de barrido y limpieza, catorce celdas de 300 pies cúbicos para el circuito de barrido y limpieza, ochos celdas columna.

- Un filtro de prensa Larox, un filtro de prensa FLS Smith.
- Dos espesadores de concentrados de cobre-molibdeno y de cobre, tres espesadores de relaves, un espesador de relaves de alta capacidad.
- Seis bombas para reciclar el agua recuperada.

### 2.2.3 Equipos utilizados en la mina

La mina de Cuajone cuenta con los siguientes equipos principales:

- Quince camiones de 290 toneladas de capacidad.
- Trece camiones de 218 toneladas de capacidad.
- Nueve camiones de 231 toneladas de capacidad.
- Trece camiones de 360 toneladas de capacidad.
- Tres palas de 56 yardas cúbicas de capacidad.
- Una pala de 73 yardas cúbicas de capacidad.
- Una pala de 60 yardas cúbicas de capacidad.
- Una pala de 42 yardas cúbicas de capacidad.
- Un cargador frontal de 33 yardas cúbicas de capacidad.
- Un cargador frontal de 50 yardas cúbicas de capacidad.
- Seis perforadoras eléctricas.
- Tres perforadoras diésel de pre-corte.

Los equipos auxiliares incluyen:

- Ocho tractores de ruedas.
- Once tractores Caterpillar de oruga.
- Un cargador frontal CAT 988.
- Tres cargadores frontales CAT 966.
- Un cargador frontal CAT 992.
- Cinco motoniveladoras.
- Cuatro tanques CAT 785.



## CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES

El presente capítulo trata sobre el sistema de comunicaciones para una mina de tajo abierto. Este sistema se dividirá en dos etapas que son completamente independientes.

- a) Etapa 1: Cubrirá el estudio de cobertura del área de la mina, el dimensionamiento y su planificación de la red para poder abarcar la mayor parte de la zona de trabajo dentro de la mina.
- b) Etapa 2: Se hará el estudio del mercado de los equipos GPS, su configuración e integración con una plataforma para la supervisión y control en tiempo real de los vehículos y el personal que trabaja dentro de la mina de tajo abierto.

En la etapa 1, se dimensiona la red de comunicaciones, la cual consiste en una red celular como la red principal y una red satelital como respaldo para ocasiones donde haya una zona sin cobertura celular. De esta manera se estaría cubriendo toda el área de la mina para que se tenga una comunicación continua en tiempo real.

En la etapa 2 se lleva a cabo la elección del equipo GPS que usarán los vehículos y se determinará los equipos que puedan soportar la red celular y la satelital, estos deben tener la capacidad de poder transmitir como parámetros principales la posición, la velocidad y el odómetro. Por otro lado, para el personal que se encuentra en las zonas de trabajo se asignará un equipo GPS más pequeño para transmitir su posición. Estos dos equipos GPS deberán estar configurados para reportar a una misma plataforma para que el personal del centro de control pueda supervisar y controlar lo que sucede en la mina. Adicionalmente el personal podrá hacer uso del Internet en las zonas de cobertura para casos que se requieran.

### 3.1 Descripción del sistema

En la figura 14 se muestra la arquitectura del sistema de comunicación que se busca implementar en la cual se tiene un equipo GPS, previamente configurado, que se instala en un vehículo y de acuerdo a su configuración este equipo transmitirá cada cierto periodo de tiempo su posición, tomado del sistema de satélites de GPS, y otros parámetros. Este equipo enviará la trama de datos generada vía red celular o vía red

satelital, hacia el servidor de la plataforma en donde se almacenará la información. Este servidor almacena todas las tramas generadas por los equipos GPS y servirá como base de datos para los del centro de control. Los del centro de control podrán visualizar la información recibida desde una computadora con acceso a Internet para poder gestionar y supervisar las funciones que cumplen las unidades y el personal que se encuentra dentro de la mina de tajo abierto en tiempo real.

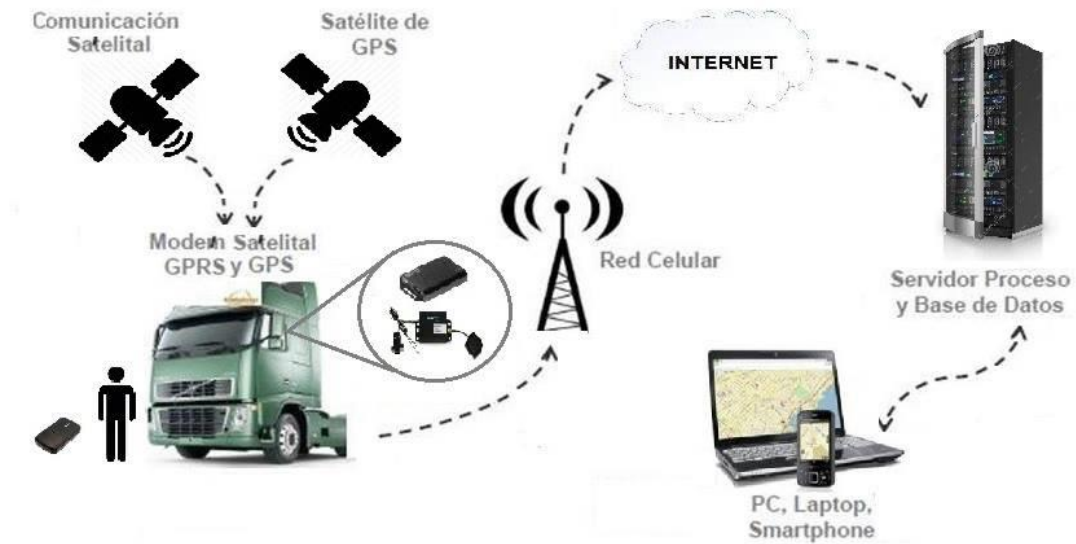


Figura 14.- Arquitectura de sistema de comunicación – Elaboración Propia

### 3.2 Cobertura en la mina Cuajone

En la figura 15 se muestra el área de la mina de tajo abierto en donde se desea implementar el sistema de comunicación. Esta área es de aproximadamente 38 km<sup>2</sup>. El primer paso para empezar con el dimensionamiento de la red celular será verificar cuales son las operadoras de telefonía celular que llegan a esta zona de la mina Cuajone y ver qué área cubren del total.



Figura 15.- Área de la mina Cuajone – Elaboración Propia

Para tal fin recurrimos a OSIPTEL. En el Perú contamos actualmente con 4 operadoras principales Claro, Movistar, Entel y Bitel.

Observamos en la figura 16 la cobertura celular con la que cuenta la empresa de América móvil Perú (CLARO). En esta podemos ver que hay un punto en la mitad del área de la mina en el cual se tiene una estación base el cual brinda cobertura celular para un área determinada. Y en general cuenta con varias estaciones bases cercanas a la población Villabotiflaca.



Figura 16.- Cobertura Celular Claro - OSIPTEL [6]

La siguiente operadora que se muestra en la figura 17 es la de Telefónica (Movistar). Esta operadora también cuenta con una estación base en la mitad del área de la mina donde se desea trabajar, pero vemos que cerca de la población Villabotiflaca solo cuenta con dos estaciones base.



Figura 17.- Cobertura Celular Movistar - OSIPTEL [6]

Las operadoras móviles Entel y Bitel no tienen cobertura celular en el distrito de Torata.

La compañía de telefonía móvil Claro, cómo se puede ver, es la que cuenta con mayores zonas de cobertura dentro de la mina Cuajone, pero aún quedan partes del área de la mina que no se encuentra en cobertura. Por esta razón se hará el análisis para colocar unas antenas repetidoras más para poder abarcar la mayor parte de la mina Cuajone y el sistema de comunicación a diseñar sea mejor. Esto se hará en el marco en que la mina quede como operador móvil virtual rural (OMVR), amparado por las regulaciones de OSIPTEL, el cual se adjunta en el Anexo 5.

### 3.3 Planificación de la red

Para realizar el proceso de planificación de radio, este se dividirá en 5 etapas: Fase de preparación, Dimensionamiento, Planificación detallada, Verificación y Aceptación y por último la Optimización. (Fases extraídas del curso del profesor Marcano).

Como se puede ver en la figura 18, la división que se tiene en el proceso de planificación de radio y que es lo que abarca cada una de las cinco etapas.

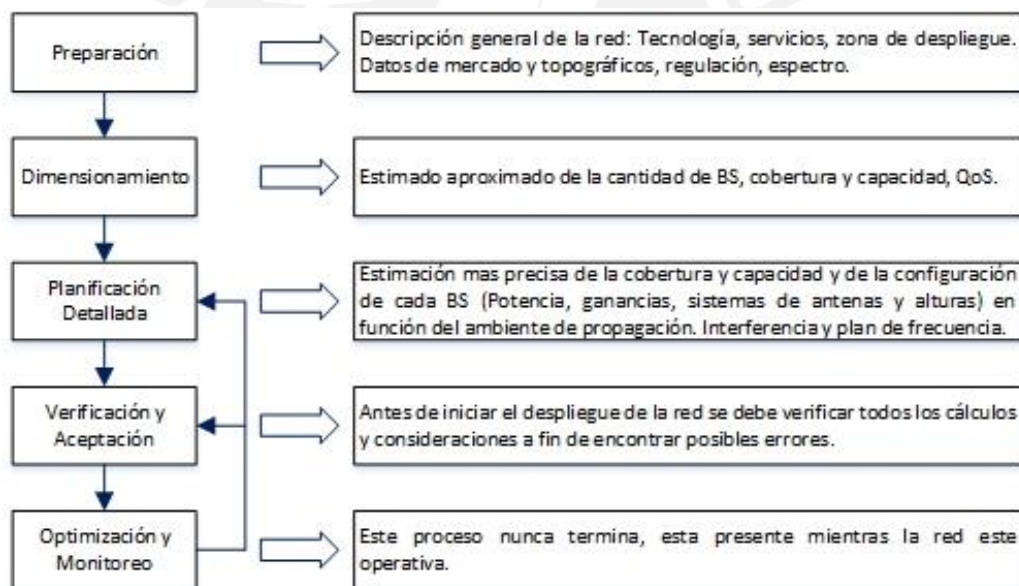


Figura 18.- Fases de planificación de la red – Elaboración propia [7]

#### 3.3.1 Preparación

- En este diseño de comunicación se utilizará la tecnología GPRS/GSM y la tecnología satelital en casos de emergencia. Esta tecnología será usada en base a la red celular que tiene empresa de CLARO por tener mayor cobertura sobre el área de la mina Cuajone donde se quiere implementar el sistema de comunicación.
- Los servicios que este sistema brindará será la de voz y datos.

- c) La zona de despliegue de la mina Cuajone, en la cual se trabajará será la mostrada en la figura 19. En esta figura se muestra en líneas generales las zonas que tendrá el área en donde se planificará la red.



Figura 19.- Zona de despliegue mina Cuajone – Elaboración Propia

- d) Para los datos del mercado, en este caso datos de la mina, se analiza dos casos que se presenta en la tabla 6. El primero se toma a las personas en total que se encuentran en la mina entre obreros, ejecutivos y personal administrativo con el fin de poder hallar el tráfico de voz que se necesita para poder hacer los cálculos más adelante. En el segundo caso se toma en cuenta las unidades con las que cuenta la mina Cuajone y el número de personas que usaran el equipo GPS cuando estén laborando en campo.

Tabla 6.- Datos de mercado mina Cuajone

Cálculo	Datos Cuajone	Cantidad
Tráfico de voz	Obreros	200
	Personal Ejecutivo	50
	Personal Administrativo	50
	Total	300

Cálculo	Datos Cuajone	Cantidad
Tráfico de datos	Vehículos	100
	Personal de campo	50
	Total	150

Fuente: Elaboración Propia

- e) Para el enlace que habrá de la estación base de CLARO hacia un punto de la mina se tomará en cuenta la topografía del área.

Como se muestra en la figura 20 se realiza el radio enlace desde un punto a otro.

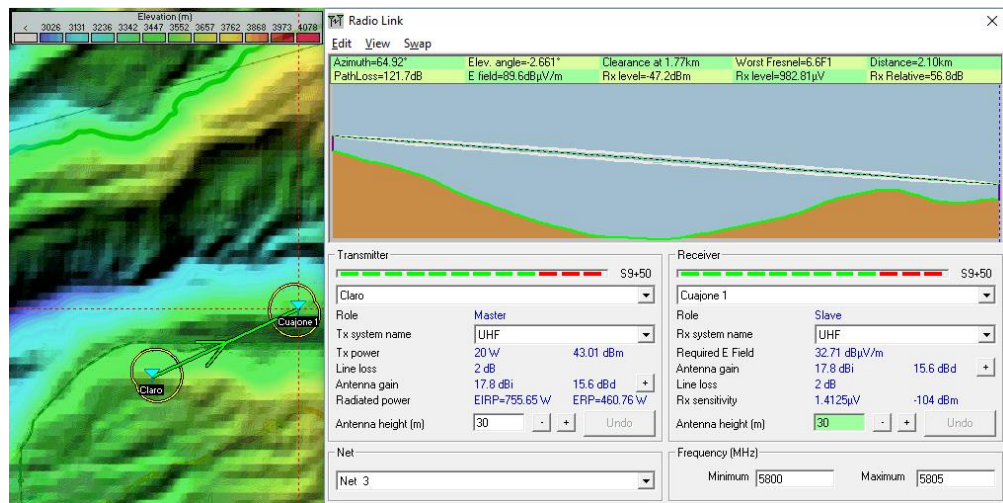


Figura 20.- Radio enlace de la estación base hacia un punto de la mina – Radiomobile

- f) Para la realización del sistema de comunicación se usará la frecuencia propia de la empresa de América Móvil (Claro) que es la banda de 1900 MHz y para la ejecución de la misma se le dará los lugares donde se requiera que se realice la instalación de la antena ya que la mina es de propiedad privada.
- g) En el anexo 6 se muestra la asignación de los espectros radioeléctricos hacia las empresas en el Perú.

### 3.3.2 Dimensionamiento

En esta etapa se realiza primero una aproximación de cuántas estaciones base se necesitaría para poder abarcar el área de la mina en cobertura. En la figura 21 se puede apreciar un hexágono color rojo, el cual refleja aproximadamente donde se encuentra la estación base de Claro. Los hexágonos de color azul serían las estaciones base que se necesitarían para poder cubrir el área de la mina que se quiere. Para esta aproximación se necesitaría usar 10 torres con 6 antenas cada una para poder abarcar toda el área deseada.

Debido a que la zona del 'pit' es un hoyo, las antenas tendrían que distribuirse de una manera diferente para que puedan cubrir esta área perfectamente. Esto se dimensionará mejor en la etapa de planificación detallada.

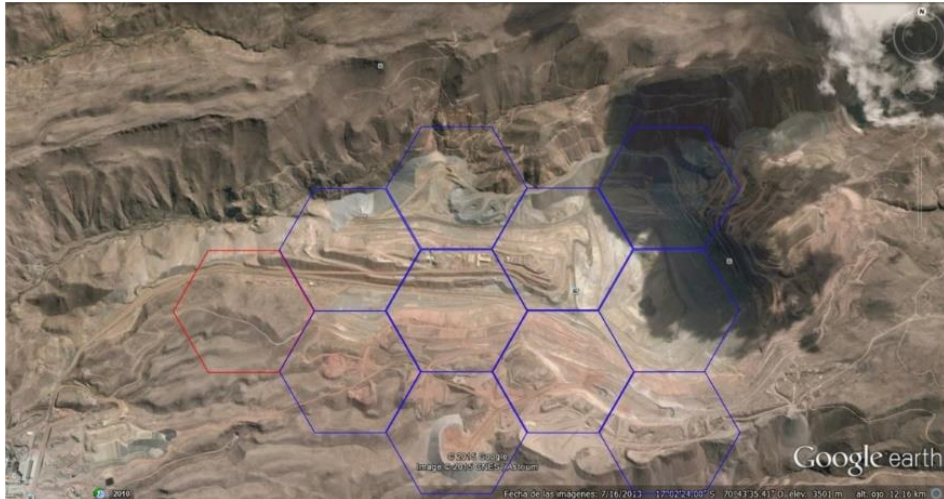


Figura 21.- Aproximación de estaciones base – Elaboración Propia

### 3.3.3 Planificación detallada

En esta etapa se hará una estimación más precisa de la cobertura, capacidad y la configuración que tendría cada estación base. Con esto último nos referimos a la potencia, ganancia, el sistema de antenas y alturas donde serán instaladas. Todo esto en función del ambiente en donde se ejecutará las transmisiones de voz y datos.

Se empezará primero a realizar dos tipos de cálculos, tráfico y cobertura.

#### a) Tráfico:

Una base celular (BTS) realiza 54 llamadas en promedio, valor tomado del curso de redes inalámbricas y sistemas móviles del profesor Carlos García Godos [8]. Para nuestro caso que es una mina en tajo abierto cada BTS estará implícitamente con capacidad más que suficiente por tener una menor cantidad de personas queriendo realizar una llamada.

Calcularemos la cantidad máxima de llamadas que tendría que atender un BTS en la mina de tajo abierto en una hora con mayor tráfico. En la tabla 6 se tiene en la mina una cantidad máxima de 450 personas, estas originan 0.05 Erlang en la hora de mayor utilización (este valor es usado típicamente en una zona rural) y se tiene un grado de servicio del 2% (GOS). En total se necesitaría 22.5 Erlang para el grupo de personas. Usando una calculadora de Erlang – B se obtiene que una BTS tuviera que tener capacidad para recibir al menos 31 líneas.

Tabla 7.- Tráfico de voz

Datos	Cantidad
GOS	2%
Zona rural Erlang	0,05
Total personas	450
Total Erlang	22,5
Número de líneas	31

Fuente: Elaboración Propia

El centro de control (CC) requiere recibir los datos de las unidades de la mina a un caudal de 2 Mbps como mínimo, para poder trabajar con la plataforma eficientemente. Este valor esta entre los requerimientos, por parte del proveedor, que se necesita para su uso correcto y sin problemas (Anexo 7). Con este tráfico de datos será suficiente para el uso de los GPS y la transmisión de las tramas de datos con la información de las unidades para el personal de supervisión.

b) Cobertura:

La cobertura es importante para poder cubrir el área en la cual aún no se encuentra con servicio. La zona de la mina se puede considerar de tipo rural, por lo cual las BTS tienen una más amplia cobertura.

Para hacer este cálculo usaremos la herramienta llamada el link Budget. Aquí colocaremos los datos de potencia, ganancia de la antena entre otros datos que nos ayudaran a determinar el valor de radio de cobertura que tendría cada base celular en la mina. Luego de haber hallado este valor, lo utilizaremos para poder redistribuir los hexágonos, planteados en la etapa anterior, a lo largo del área que se desea cubrir. De este modo se tendrá de manera exacta la cantidad de BTS que se necesitan.

En la tabla 8 y 9, se usaron valores típicos para poder hallar un radio mínimo con el cual trabajar, así como valores de las especificaciones técnicas de los equipos a usar, como es el caso de la potencia de transmisión o la sensibilidad típica de un teléfono celular.



Tabla 8.- Presupuestos de niveles (link Budget)

<b>Simplified link budget for GSM system</b>					
		<b>Downlink</b>	<b>unit</b>	<b>Uplink</b>	<b>unit</b>
<b>Características del Tx</b>	Potencia de Tx	20	W (1)	0.30	W (2)
		43.0103	dBm	24.7712	dBm
	Ganancia Antena de Tx	17.7729	dBi (3)	0	dBi
	Pérdida de cable de Tx	-2	dB (4)	0	dB
	Tx Body loss	0	dB	-2	dB
	Pérdida del combinador	-4	dB (5)	0	dB
	<b>EIRP en Tx</b>	<b>54.7832</b>	<b>dBm</b>	<b>22.7712</b>	<b>dBm</b>
<b>Características en la Rx</b>	Ganancia antena de Rx	0	dBi	17.7729	dBi
	Sensitividad en la Rx	-165	dBm (6)	-104	dBm
	Pérdida en cable de Rx	0	dB	1	dB
	Rx Body loss	2	dB	0	dB
	ganancia de diversidad	0	dB	3	dB
		<b>Ganancia Total en Rx</b>	<b>163</b>	<b>dB</b>	<b>123.7729</b>
	<b>Ganancia del sistema</b>	<b>217.7832</b>	<b>dB</b>	<b>146.5441</b>	<b>dB</b>
<b>Margins</b>	Coverage probability in cell border	90%		80%	
	Shadow fading std deviation	6	dB	6	dB
	Shadow Fading Margin	5.0497	dB	5.0497	dB
	Indoor penetration loss	0	dB	0	dB
		<b>Margen Total</b>	<b>5.0497</b>	<b>dB</b>	<b>5.0497</b>
		<b>Allowed propagation loss</b>	<b>212.7335 dB</b>	<b>141.4944 dB</b>	
<b>Notas</b>					
(1) Potencia PIRE de un sector					
(2) Potencia de transmisor móvil					
(3) Ganancia total de la antena					
(4) Pérdida del cable RG 11					
(5) Valor estándar					

Fuente: Herramienta de Link Budget

Para la ganancia de la antena, segundo recuadro en la tabla 9, se utilizará antenas por sectores de 60 grados por lo tanto se necesitarán 6 antenas para poder cubrir los 360 grados de los hexágonos, usando estos datos nos resulta una ganancia de 17.77 dBi.

Con el valor de la ganancia de la antena y en conjunto con la pérdida del cable, por especificación técnica es aproximadamente -2 dB, y del combinador, que tiene un valor típico de -4 dB, se halla la ganancia total del sistema, tabla 8.

Tabla 9.- Presupuestos de niveles (link Budget)

<b>Shadow Fading Margin (cell edge approach)</b>	Given coverage probability on cell edge (P)	0.9
	Shadow fading standard deviation	6 dB
	1-P	0.1
	Closest 1-P in table	0.1
	Argument (inverse of Q)	1.25
	<b>Shadow fading margin</b>	<b>5.0497 dB</b>

<b>Antenna Gain</b>	Horizontal 3dB beam width	60 degrees (7)
	Horizontal gain	7.8414 dBi
	Number of dipoles	6
	Vertical gain (dBd)	7.7815 dBd
	Vertical gain (dBi)	9.9315 dBi
	<b>Total antenna gain</b>	<b>17.7729 dBi</b>

<b>Range</b>		<b>Unit</b>
<b>(Okumura-Hata path loss model)</b>	Carrier frequency	1900 MHz
	BS antenna height	30 m
	MS antenna height	2 m
	Parameter A	46.3
	Parameter B	33.9
	Parameter C	44.9
	MS antenna gain function (large city)	1.0454
	Path loss exponent	3.5225
	Path loss constant	135.1945 dB
	Downlink range	158.9494 km (10)
	Uplink range	1.5096 km (11)
	<b>Cell range</b>	<b>1.5096 km</b>

**Notas**

- (6) Valores tomados de las especificaciones técnicas
- (7) Angulo del sector de la antena
- (8) Altura de la torre donde irán las antenas
- (9) Altura aprox. de los equipos GPS
- (10) Debido a la supersensibilidad del GPS
- (11) Esta es el valor valido pues es lo que logra alcanzar el teléfono

Fuente: Herramienta de Link Budget

Con estos datos mostrados en las tablas anteriores, nos ayudaremos para poder hallar el rango de cada hexágono. En el tercer recuadro de la tabla 9, colocamos la frecuencia que se utilizara, 1900 MHz, la altura de la antena, 30 metros por que la topografía de la mina tiene diferentes elevaciones y se necesita que este a una altura considerable para que pueda transmitir correctamente. Por último, colocamos la altura a la cual estarán los equipos GPS, en este caso es de 2 metros por la altura que cuentan los vehículos de la mina. Estos datos nos muestran un radio de 1.500 Km. Con este valor redistribuiremos los hexágonos en el área deseada.

Como se observa en la figura 22, se distribuye los hexágonos con un radio mayor al planteado inicialmente. Contando finalmente con 6 torres a construir, siendo 4 torres con 6 antenas y las otras 2 torres con 3 antenas cada una.

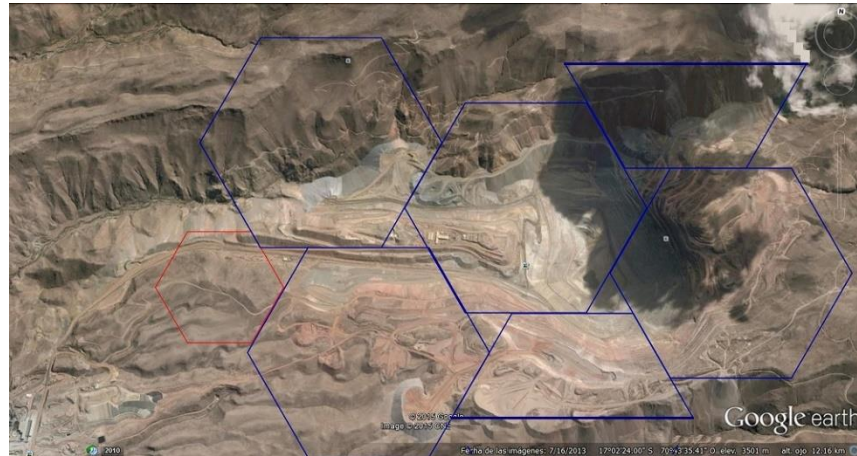


Figura 22.- Distribución de hexágonos en la mina – Elaboración Propia

### 3.3.4 Verificación y aceptación

En esta etapa se verifica los datos obtenidos en la etapa anterior para poder corroborar los resultados. Si en caso hubiera una falla o error en los cálculos, en esta etapa se realizaría la corrección.

De esta forma mediante el software Radiomobile se colocará los puntos en donde irían las antenas y se realizará la prueba del enlace para ver si no hay algún problema por los posibles desniveles que presenta el área.

Como se muestra en la figura 23 se ve el primer enlace entre la antena de claro y la de la mina. Todas las antenas restantes distribuidas en el área tendrán una configuración igual a la mostrada.

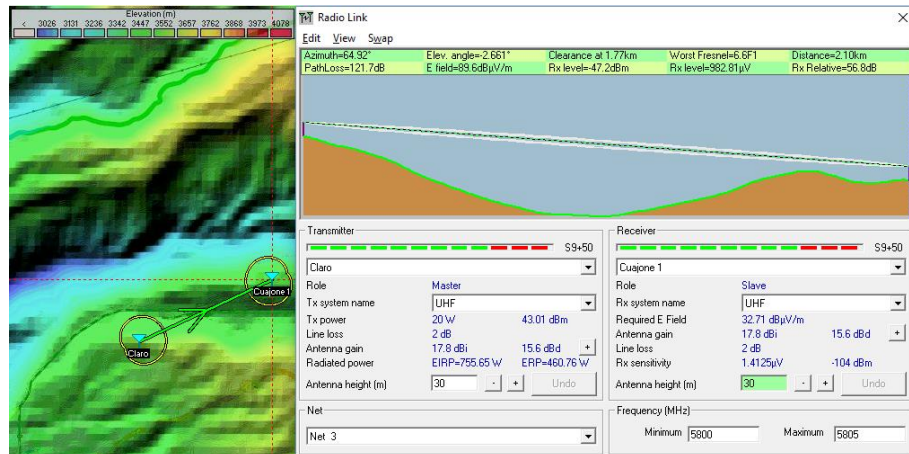


Figura 23.- Radio enlace de la estación base hacia primer punto de la mina

### 3.3.5 Optimización y monitoreo

En esta última etapa lo que se realiza es la supervisión del que el sistema esté funcionando correctamente. En caso hubiese algún problema o avería, se analiza a que etapa correspondería observar dicha falla, si a la de planificación o a la de verificación. Esto con el fin de ir mejorando paulatinamente la red hasta que los usuarios no cuenten con más problemas con los servicios brindados.

### 3.4 Equipos GPS del mercado

Existe una gran variedad de equipos GPS los cuales pueden diferenciarse por los diferentes tamaños y diferentes formas que tienen. Así también estos equipos se diferencian por su tecnología que usan. Los cuales son baja, mediana y alta gama. Estos equipos GPS llevan la tecnología de GSM/GPRS y otros de ellos llevan esta misma tecnología y la tecnología satelital. Estos últimos trabajan en forma dual, es decir, cuentan con un módulo de GSM/GPRS y otro modulo satelital. El fin de llevar dos módulos consiste en poder abaratar costos en los mensajes satelitales que se puedan enviar. Básicamente el funcionamiento en conjunto de estas dos tecnologías es como la de un switch. Cuando se pierde la conexión GSM/GPRS por falta de cobertura celular, el equipo GPS cambia internamente el modo de transmisión a satelital, evitando de esta forma que se pierda la comunicación en tiempo real con el centro de control.

Estos equipos GPS se utilizan para el rastreo de vehículos, activos y personas. A continuación, se presentarán los mejores GPS que se pueden encontrar en el mercado que cuenten con las siguientes características las cuales serían necesarias para la empresa de una mina de tajo abierto.

- Intervalo de transmisión como máximo de 60 segundos por trama de dato.

#### Para vehículos

Datos obligatorios a obtener:

- Posición, velocidad, odómetro y botón de emergencia.

Posibles datos que se pueden obtener:

- Horómetro, combustible consumido, indicadores de freno, embrague y aceleración.

#### Personas

Posición y botón de emergencia.

### 3.4.1 Equipos GPS para vehículos

#### 1) Equipo Calamp LMU 1200

Este equipo GPS tiene una tecnología de gama media. Normalmente es usada en autos y motos. Este tiene un módulo GSM/GPRS y adicionalmente cuenta con pines de entradas y salidas para poder agregarle funcionalidades para la obtención de datos. Estas son sus características técnicas:

- Alimentación: 12 -24V
- Modo de comunicación: GPRS/EDGE/HSPA and CDMA 1xRTT packet data, UDP and SMS
- Canales: 50 canales
- Cuatro bandas: 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
- I/O: 4 entradas digitales, una entrada analógica y 4 salidas digitales
- Detector Antijaming



Figura 24.- Equipo GPS Marca CALAMP - Modelo LMU 1200 [9]

#### 2) Equipo DCT Syrus 2

Este equipo GPS tiene una tecnología de gama alta. Normalmente es usada en vehículos de carga pesada. Este tiene un módulo GSM/GPRS y cuenta con un dispositivo adicional el cual le brinda un módulo satelital para poder transmitir la información cuando el equipo pierda la cobertura celular. Adicionalmente cuenta con un equipo el cual le permite conectarse a la computadora de los vehículos para poder extraer información adicional. Esta información varía de acuerdo a la marca y modelo de las unidades ya que los fabricantes no dan acceso a ciertos sensores con las que cuenta las unidades. Por último, cuenta con pines de entradas y salidas para poder agregarle funcionalidades para la obtención de datos. Estas son sus características técnicas:

- Alimentación: 8 - 32V
- Modos de comunicación: GPRS/EDGE/HSPA, TCP, UDP and SMS
- Canales: 66 canales
- Cuatro bandas: 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
- I/O: 3 entradas digitales, un ADC, una ignición y 2 salidas digitales

- Un puerto serial
- Detector de Antijaming
- Conexión con red satelital



Figura 25.- Equipo GPS Marca DCT - Modelo Syrus 2 [10]

3) Equipo Skywave IDP 680 y 780

Estos equipos GPS de la marca de Skywave tienen una tecnología de gama alta. Normalmente es usada en vehículos de carga pesada. El GPS IDP 680 cuenta solo con un módulo satelital y el IDP 780 tiene un módulo GSM/GPRS y un módulo satelital. La transmisión de información del IDP 780 es igual a la del equipo anterior, cuando se pierda la cobertura celular cambiará a modo satelital para poder enviar la información. Adicionalmente, este equipo cuenta internamente con un circuito que le permite una comunicación con la computadora de los vehículos para poder extraer información adicional. Al igual que el equipo GPS anterior, esta información variará de acuerdo a la marca y modelo de las unidades. Por último, estos dos equipos GPS cuentan con pines de entradas y salidas para poder agregarle funcionalidades para la obtención de datos. Estas son sus características técnicas:

Tabla 10.- Especificaciones técnicas de equipos GPS de SKYWAVE

IDP 680	IDP 780
Comunicación Satelital	Comunicación Satelital y celular
No tiene batería externa	Cuenta con una batería de respaldo
4 entradas/salidas análogas o digital	4 entradas configurables análogas/digital 7 entradas digitales 1 entrada de detección de encendido 5 salidas digitales
1 Puerto serial Rs-232 1 Puerto serial Rs-485	2 Puerto serial Rs-232 1 Puerto serial Rs-485 1 Can Bus
Tensión de entrada de 9V a 32V	Tensión de entrada de 9V a 48V
No cuenta con antijaming	Cuenta con detector de antijaming

Fuente: Elaboración Propia



Figura 26.- Equipos GPS Marca SKYWAVE - Modelo IDP 680 y 780 [11]

### 3.4.2 Equipos GPS para personas

#### 1) Equipo Skypatrol modelo TT8850

Este equipo GPS es portátil y tiene una tecnología de gama media. Este equipo es usado en personas y mercadería. Cuenta con un módulo GSM/GPRS y adicionalmente tiene un botón de pánico para casos de emergencia. Estas son sus características técnicas:

- Alimentación: 3.5V a 4.5V
- Modo de comunicación: GSM/ SMS/ GPRS/ TCP/ UDP
- Cuatro bandas: 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
- Cuenta con un botón de pánico
- Resistente al agua, sigue IPX5 Estándar
- Tiempo de duración:
  - Sin reportar: 400 horas
  - Reportando cada 5 minutos: 140 horas



Figura 27.- Equipo GPS marca SKYPATROL - Modelo TT8850 [12]

#### 2) Equipo Queclink modelo GL300

Este equipo GPS también es portátil y tiene una tecnología de gama media. Este equipo es usado en personas y mercadería. Cuenta con un módulo GSM/GPRS y adicionalmente tiene un botón de pánico para casos de emergencia. Estas son sus características técnicas:

- Alimentación: 3.5V a 4.5V
- Modo de comunicación: GSM/ SMS/ GPRS/ TCP/ UDP
- Cuatro bandas: 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
- Cuenta con un botón de pánico

- Resistente al agua, sigue IPX5 Estándar
- Tiempo de duración:
  - Sin reportar: 300 a 400 horas
  - Reportando cada 5 minutos: 100 a 120 horas



Figura 28.- Equipo GPS marca QUECLINK - Modelo g1300 [13]

### 3.5 Parámetros de equipos GPS para su elección

Los parámetros de los equipos GPS definen lo que son capaces de proporcionar al sistema y al usuario que lo maneja. Así mismo con ellos se puede definir cuál de ellas es más conveniente usar en un proyecto.

De acuerdo a algunos parámetros tomados de los equipos expuestos anteriormente, se muestra la siguiente tabla:

Tabla 11.- Parámetros de equipos GPS para vehículos

Equipos GPS / Parámetros	CALAMP - LMU 1200	SKYWAVE - IDP 780	DCT – SYRUS 2
Fuente de energía	8 - 32 v DC	9 - 32 v DC	8 - 32 v DC
Rango de Frecuencia	850/1900, 900/1800 MHz	Rx: 1525 a 1559 MHz Tx: 1626.5 a 1660.5 MHz	850/900/1800/1900 MHz 1616MHz - 1626.5MHz
Cobertura	Cobertura celular	Cobertura celular / red satelital	Cobertura celular / red satelital
Temperatura de operación y almacenamiento	menos 20 C° a 60 C°	menos 40 C° a 85 C°	menos 40 C° a 85 C°
Consumo de corriente	40mA long term average y 380mA Idle	750mA Tx, 8.3mA Rx, 100uA Idle	80mA Tx, 80mA Rx, 25mA Idle
Conexión con computadora del vehículo	No	No	Si
Complejidad de configuración	Baja	Alta	Media
Complejidad de instalación	Baja	Baja	Baja - Media
Conexión con dispositivos externos	Si	Si	Si
Costo	\$135	\$850	\$200

Fuente: Elaboración Propia



De los parámetros presentados para los equipos GPS de los vehículos se puede observar que las diferencias que más resaltan son por la conectividad celular y satelital, el consumo de corriente que utilizan, la conexión a la computadora de las unidades, la complejidad de instalación del equipo, la configuración, la conexión con dispositivos externos y por último el costo de los equipos.

Por estas características presentadas y viendo los requerimientos del proyecto elegiremos el equipo de la marca DCT modelo Syrus 2 junto con el dispositivo externo de la misma marca que proporciona la conectividad con la red satelital.

Para los equipos GPS que usarán las personas se tiene las diferencias de estos parámetros en la siguiente tabla:

Tabla 12.- Parámetros de equipos GPS para personas

Equipos GPS / Parámetros	SKYPATROL - TT8850	QUECLINK - GL300
Fuente de energía	3,5V a 4,5V	3,5V a 4,5V
Rango de Frecuencia	850/900/1800/1900 MHz	850/900/1800/1900 MHz
Cobertura	Cobertura celular	cobertura celular
Temperatura de operación y almacenamiento	menos 20 C° a 55 C°	menos 20 C° a 55 C°
Consumo de corriente	Bajo consumo	Bajo consumo
Tiempo de duración de la batería	Reportando cada 5 min 140 horas	Reportando cada 5 min 100 a 120 horas
Conexión con computadora del vehículo	No	No
Complejidad de configuración	Baja	Baja
Complejidad de instalación	Baja	Baja
Conexión con dispositivos externos	No	Si
Costo	\$60	\$75

Fuente: Elaboración Propia

Debido al tiempo de duración de la batería de estos equipos se optará por elegir al equipo SKYPATROL modelo TT8850 ya que la utilización de este GPS debe ser continuo y solo se tendría que cargar la batería al finalizar el día.

### 3.6 Plataforma de visualización

Para la visualización de los equipos GPS se optará por un servicio que brinda una plataforma llamada Global AVL. Esta plataforma es robusta y de fácil interacción.

Entre las funcionalidades con la que cuenta esta plataforma, le permite al operario del centro de control poder observar el estado de las unidades, el lugar donde se encuentran, las distintas alarmas que se puedan generar de los equipos GPS y por último poder extraer diferentes reportes de las unidades, tanto en grupo como individualmente.

Para esto, el usuario debería ingresar a este link:

<https://ubiq-gps.securitas.com.pe/Login.aspx>

En la figura 29 se muestra como la persona encargada tendría que ingresar con un usuario y una contraseña, al igual que elegir un idioma.



Figura 29.- Ingreso a la plataforma [14]

Luego de registrarse con su usuario, la plataforma te muestra todas las ventanas que el operario puede visualizar. Entre las más importantes, se encuentran la de estados (figura 30), mapas (figura 31) e informes (figura 32).

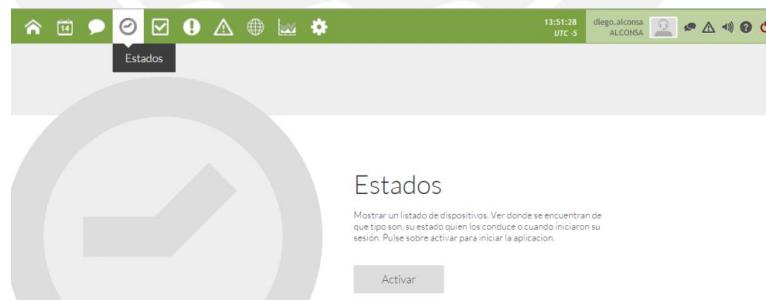


Figura 30.- Menú de estados [14]



Figura 31.- Menú de mapa [14]

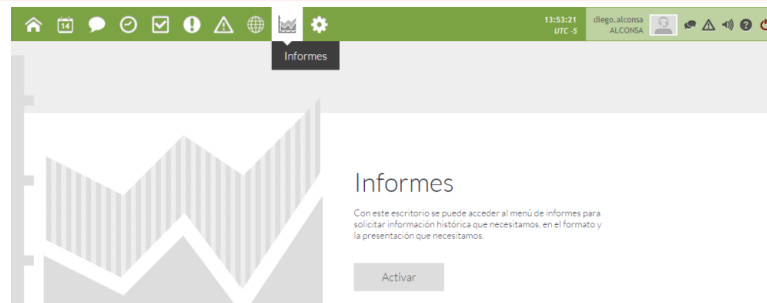


Figura 32.- Menú de informes [14]

En el menú de estados, uno puede observar el listado de dispositivos que se encuentran activados y asociados a los vehículos y personas que laboran en la mina. Aquí también se puede ver donde se encuentran las unidades, es decir, las coordenadas o dirección en la que se encuentra el equipo GPS. En nuestro caso, estas siempre estarán indicando que están dentro de la mina Cuajone, lo que variará será la latitud y longitud. Adicionalmente a la posición, este menú muestra el estado de la unidad, si es que se encuentra detenido, apagado o en movimiento como también la persona quien lo conduce y la hora de la última trama de datos que envió el equipo GPS. Ver figura 33.

En el menú de mapa, se puede ver las unidades en su posición actual o posiciones anteriores distribuidos en un mapa. Se podría apreciar el trayecto que han ejecutado o están ejecutando como un historial. Ver figura 34.

Por último, en el menú de informes, se puede obtener los reportes de las unidades durante un periodo de 2 semanas atrás como máximo. Es decir, si necesito el trayecto que ha realizado una de las unidades hace 10 días, entraría en este menú seleccionaría el tipo de reporte que deseo, pongo los parámetros de búsqueda y obtendré el informe.

En la figura 35 se muestra un tipo de reporte que es el de trayecto. En este reporte se observa los parámetros de búsqueda que se colocó en el cuadro que dice "filtrado por". Adicionalmente, se muestra el mapa del trayecto completo que hizo la unidad desde que se prendió para iniciar el viaje hasta que se apagó la unidad. Por último, muestra las tramas de datos indicando la posición con latitud y longitud, los indicadores de estado, velocidad y odómetro.

Estados - Tiempo Real									
Opciones de búsqueda									
02/12/2015 21:08:41									
Arrastre un encabezado de columna y déjelo aquí para agrupar por esa columna									
Tipo	Dispositivo	Persona	Última posición conocida	Fecha	Recibido	Estado	Info	Info	Tiempo Real
	+ C1A837	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:35 + Calle C, Paita, Piura, 20701, Perú, 3.44Km W APM PAITA Lat:-5.08344 Lng:-81.10099	02/12/2015 21:08:35	00:00h				
	+ AAT863	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:25 + Panamericana Norte, Huarmey, Ancash, Perú, 0.42Km SW Cpt Lat:-10.42877 Lng:-77.92629	02/12/2015 21:08:25	00:00h				
	+ AFT827	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:21 + Panamericana Norte, Huacho, Huaura, Lima, Perú, 0.37Km + N Km. 145 (HUAJURA - LIMA) Lat:-11.1423 Lng:-77.59732	02/12/2015 21:08:21	00:00h				
	+ AAT807	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:18 + Panamericana Norte, Huarmey, Ancash, Perú, 0.39Km N + Km.212 (BARRANCA - LIMA) Lat:-10.64119 Lng:-77.85476	02/12/2015 21:08:18	00:00h				
	+ B8U862	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:17 + NI, Callao, Perú, 0.05Km E Base ApmT15 Lat:-11.95478 Lng:-77.1286	02/12/2015 21:08:17	00:00h				
	+ AER819	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:16 + Avenida Oquendo, Callao, Perú, 0.26Km SW CONTRANS Lat:-11.98153 Lng:-77.13184 Alt:7.405m	02/12/2015 21:08:16	00:00h				
	+ AJ0860	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:15 + PE-34C, Sachaca, Arequipa, 054, Perú, 0.18Km W Grifo Mobil (AREQUIPA - AREQUIPA) Lat:-16.404979 Lng:-71.57881	02/12/2015 21:08:15	00:00h				
	+ AJF729	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:15 + Avenida Nesor Gambaeta, Ventanilla, Callao, Perú, 0.37Km + NW SOL DEL PERU ALLOY5 Lat:-11.85993 Lng:-77.13033	02/12/2015 21:08:15	00:00h				
	+ B6I903	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:09 + Panamericana Norte, El Tallán, Piura, Perú, 0.52Km N Km. 970 (AYABACA - PIURA) Lat:-5.27617 Lng:-80.61362	02/12/2015 21:08:09	00:00h				
	+ AAU931	+ ALCONSA	02/12/2015 21:08:09 + Avenida C, Paita, Piura, 20701, Perú, 0.05Km N APM PAITA Lat:-5.07437 Lng:-81.07135	02/12/2015 21:08:09	00:00h				

Figura 33.- Estado de las unidades de la mina [14]



Figura 34.- Mapa de ubicación de las unidades [14]

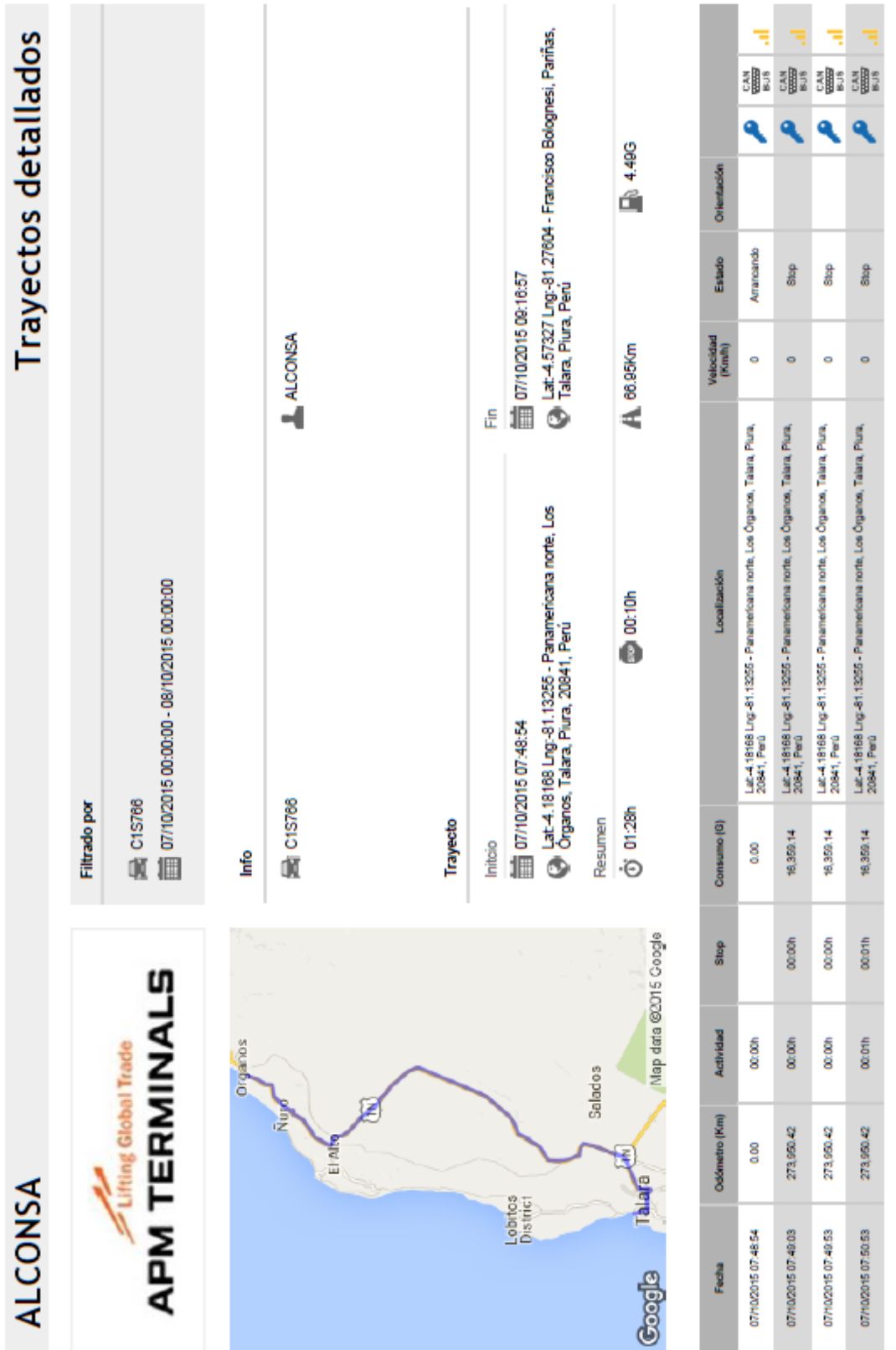


Figura 35.- Reporte de trayecto [14]

## CAPÍTULO 4: COSTOS Y EVALUACIÓN

En este capítulo se presentará el cuadro de costos del proyecto, el cual tiene tres grupos: Primero, implementación de la red y los equipos necesarios. Segundo los equipos GPS y la plataforma. Tercero, el costo del centro de control. También se verá la evaluación de la performance del sistema, las conclusiones y recomendaciones.

### 4.1 Propuesta económica

El proyecto propuesto busca obtener una reducción de costos de operación y de mantenimientos de los vehículos, dado que el servicio que se brindará es netamente privado para la empresa minera. Cabe resaltar, que los servicios solicitados y elaborados a partir de la tecnología GPRS/GSM en conjunto con la red satelital permitirán incrementar la productividad del personal y de la minera, asimismo, el ahorro en el mantenimiento de vehículos.

Este sistema de comunicación se ofrecerá como un servicio, debido a que se hará uso de la red de claro y se tendrá que contratar paquetes de voz y de datos para el uso de los vehículos y personal que labora. Además, este servicio contará con una plataforma que da acceso a los supervisores para poder visualizar las unidades dentro de la mina. Debido a que es un servicio, los equipos utilizados presentarán una garantía mientras que dure el contrato pactado, esta debe ser entre 3 a 5 años, con posibilidades de renovación. Los equipos GPS ofrecerán una fuerte resistencia al ambiente de la mina. La zona en la cual se ubica la minera, posee variación climática, y éstos son propicios para poder resistir dichos ambientes. Por otro lado, el contrato será de acuerdo a una determinada cantidad de unidades, es decir que no se puede reducir las unidades activas que se tienen en la plataforma por menos de 80 unidades y tampoco se puede incrementar por más de 350 unidades. Si esto sucediera se tendría que volver a rehacer un contrato nuevo con nuevas reglas.

Al igual como se dividió el sistema de comunicación en dos etapas, ahora realizaremos esta división para la propuesta económica. Entonces tendremos:

- a) La implementación de la red de comunicación
- b) La implementación de los equipos GPS y centro de control

### 4.3.2 Implementación de la red de comunicación

Esta instalación constará de tres etapas con tres equipos de instalación. Estas etapas son:

- I. Infraestructura
- II. Instalación de equipos
- III. Pruebas y puesta en funcionamiento

En la primera etapa se realizará la instalación del gabinete, el sistema de tierra, la torre, los pararrayos, la estación de energía y el acondicionamiento de la data center. En la segunda etapa se procederá a realizar la instalación de los equipos, siendo estos las antenas, ups + baterías y la red de enlaces. En esta etapa es indispensable que las instalaciones de las estaciones de energía con el nivel requerido estén ya finalizadas. Por último, en la última etapa se realizará la calibración, pruebas y puesta en marcha de todos los equipos instalados en cada estación.

A continuación, se muestra la tabla 13 con los costos de los equipos y servicios necesarios por etapa.

Tabla 13.- Tabla de costos de implementación de red

Ítem	Equipo	Descripción Unidad	Cant.	Unid. (\$)	Total (\$)
Etapa 1: Infraestructura					
1	Gabinete		6	200	1,200
2	Sistema puesta tierra		6	3,000	18,000
3	Torre	Torre de 30 metros	6	2,300	13,800
4	Pararrayos		6	150	900
5	Estación de Energía	De 1000 Watts por torre	6	1,000	6,000
6	Data Center				10,000
Etapa 2: Instalación equipos					
7	Antenas		30	2,000	60,000
8	UPS + baterías		6	500	3,000
9	Antena parabólica	Enlace microonda a 5.8 GHz	6	600	3,600
10	Red de enlaces		6	200	1,200
Etapa 3: Pruebas y puesta en funcionamiento					
11	Calibración y pruebas				2,000
12	Puesta en marcha				

\*Precios referenciales del mercado

<b>SUB TOTAL</b>	\$119,700
<b>IGV</b>	\$21,546
<b>TOTAL</b>	\$141,246

Fuente: Elaboración propia



#### 4.1.2 Implementación de los equipos GPS y centro de control

Esta implementación se realizará a todas las unidades de la mina y adicionalmente a esto a los ingenieros que se encuentren en el campo supervisando o realizando alguna labor. En la tabla 14 se detalla la lista de equipos GPS a instalar y materiales en general que se utilizarían para su instalación siendo cables, conectores, cintillos entre otros. Todo esto será con precios acorde al mercado actual.

Tabla 14.- Tabla de costos equipos GPS y plataforma

Ítem	Equipo	Descripción Unidad	Cant.	Unid. (\$)	Total (\$)
Equipos GPS					
1	DCT - Syrus 2	Equipo GPS para vehículos	100	200	20,000
2	SATCOM - DCT	Dispositivo red satelital	100	80	8,000
3	Skypatrol TT8850	Equipo GPS portátil para personas	50	60	3,000
4	Base para equipo Skypatrol	Base magnética del equipo GPS	50	10	500
Servicios Plataforma					
5	Alquiler de servicios de plataforma	Pago mensual por GPS activo en la plataforma	150	3	450
6	Alquiler de servicios de voz y datos a Claro	Pago mensual por bolsa de minutos y datos	2	100	200
7	Alquiler de mensajes satelitales	Pago mensual por bolsa de mensajes satelitales			300
7	Materiales adicionales para la instalación de GPS				3,000
6	Servicios de Instalación y configuración				10,000

\*Precios obtenidos de la empresa Securitas

<b>SUB TOTAL</b>	\$45,450
<b>IGV</b>	\$8,181
<b>TOTAL</b>	\$53,631

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar el centro de control en la mina se necesitarán los siguientes equipos y softwares:

#### Hardware:

- Pantallas LCD de 42' con conexión HDMI y VGA
- Computadoras: Procesador Core I3, memoria RAM de 4 Gb, disco duro de 500 Gb, T. Video de 3 salidas (HDMI, DVI y VGA) de 1gb (nvidia, xfx o ati), monitor de 21' de 2 salidas (DVI y VGA), parlante, audífonos, mouse y teclado, cable HDMI de 5 metros

- Internet de 2 Mbps
- Servidor de Backup (opcional)
- Router de conexión a Internet, de preferencia en la marca DLINK

**Software:**

- Google Earth
- Exploradores: Google Chrome o Mozilla Firefox. Y sus plugins.
- Microsoft office 2010
- Java Script (última versión)
- Adobe Flash

En la tabla 15 se presentará el costo de estos equipos.

Tabla 15.- Tabla de costos para el centro de control

Ítem	Equipo	Descripción Unidad	Cant.	Unid. (\$)	Total (\$)
Hardware					
1	Pantalla LCD	Pantalla LCD de 42' con conexión HDMI y VGA	6	1,800	10,800
2	Computadoras		3	1,000	3,000
3	Servidor de Backup	Opcional			500
4	Router de conexión a Internet	Preferencia de la marca DLINK			100
Software					
5	Microsoft Office 2016	Con licencias			150
Instalación de equipos					
7	Instalación de equipos y programas				200

\*Precios referenciales del mercado

<b>SUB TOTAL</b>	\$14,750
<b>IGV</b>	\$2,655
<b>TOTAL</b>	\$17,405

Fuente: Elaboración Propia

En total se tiene para todo el proyecto un costo de:

Tabla 16.- Costo total del sistema de comunicación para mina la mina Cuajone

Ítem	Costos	Total (\$)
Costo total del proyecto		
1	Implementación de la red	141,246
2	Equipos GPS y plataforma	53,631
3	Centro de control	17,405
<b>TOTAL</b>		212,282

Fuente: Elaboración Propia

Este monto total se pagará por única vez al firmar el contrato. Luego de esto por uso del servicio se estaría pagando mensualmente 950 dólares como máximo, valor que se toma de la tabla 14 al sumar los ítems de servicios de plataforma. Esto también dependerá de los equipos activos que la empresa tenga en el mes, recordando que no puede tener menos de 80 equipos ni más de 350.

#### 4.2 Evaluación

Debido a que no se puede probar la configuración del equipo GPS en la propia mina, la prueba se realizará en lima haciendo un recorrido de un punto a otro. En el anexo 8 se mostrará las imágenes del recorrido y como ejemplo se colocará el reporte de dicho tramo.



## CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema de comunicación inalámbrico para la supervisión y control automatizado a distancia, en tiempo real, para los vehículos y personas dentro de la mina Cuajone. Este sistema ofrecería la transferencia de voz y datos, pero no de video.

Así mismo se concluye los siguientes puntos:

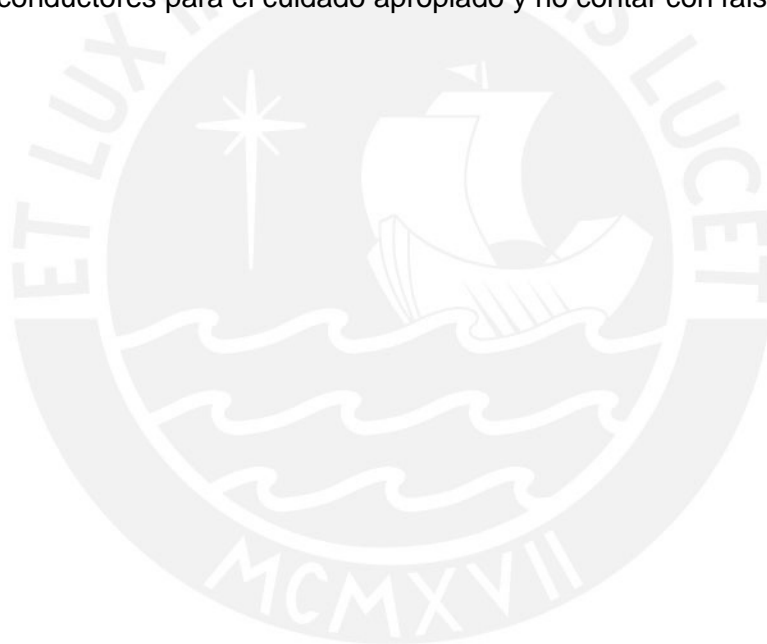
- a) Para la mina de tajo abierto se estableció la tecnología inalámbrica mediante los GPS, GSM/GPRS y satelital. El uso de la tecnología GSM/GPRS en conjunto con la tecnología satelital permite reducir costos en la transmisión de datos ya que este último por si solo tiene un alto costo por mensaje.
- b) Se dimensionó el sistema de comunicaciones obteniendo, según los cálculos, un total de 6 estaciones móviles. Cuatro de ellas con 6 antenas y dos con 3 antenas cada una. Esta cantidad de estaciones móviles y antenas se establecieron por el radio de cobertura de 1.5km y por el ángulo de 60 grados respectivamente.
- c) De acuerdo a la elección de la tecnología inalámbrica, se realizó el estudio y elección de los equipos en el mercado. El equipo GPS para los vehículos fue el modelo Syrus 2 de la marca DCT, ya que cuenta con un bajo consumo de corriente y soporta un voltaje de 8 a 32 VDC. Para las personas fue el equipo TT8850 de la marca Skypatrol ya que su batería es de larga duración.

Estos dos equipos GPS están preparados para poder soportar las condiciones ambientales que puedan surgir en la mina ya que cuentan con un grado de protección IP65, que los protege del polvo y del agua.

- d) Con el servicio de la plataforma, se le da un valor agregado al sistema de comunicación ya que cuenta con funcionalidades como la creación de eventos o alertas que avisen al personal sobre algún problema en específico en el momento que ocurra. Además, podrán gestionar las acciones de las unidades dentro de la mina.

## RECOMENDACIONES

- El uso de este sistema de comunicación funcionaria perfectamente en cualquier mina de tajo abierto mas no es recomendable usarlo en otro tipo ya que cuentan con otro tipo de infraestructura.
- Se recomienda actualizar los equipos en modelos posteriores después de 3 o 4 años ya que se podrán contar con más funcionalidades en un futuro y una mejor protección.
- Debido a que el análisis se realizó de forma teórica y no en la misma mina, se recomienda volver a realizar un estudio más a detalle cuando se pueda tener acceso a sus instalaciones.
- La instalación de los equipos en las unidades contaría con un dispositivo expuesto en la cabina de la unidad, es por ello que se debería capacitar a los conductores para el cuidado apropiado y no contar con falsas alarmas.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] RT noticias. Consulta: 15 de junio de 2015. URL:  
<https://actualidad.rt.com/ciencias/view/20590-Descubren-en-Chile-mina-mas-antigua-de-Am%C3%A9rica>
- [2] Alfredo Dammert Lira, Fiorella Molinelli Aristondo. Panorama de la Minería en el Perú. Lima: Osinergmin, 2007.
- [3] Armas Rivera, Miguel Alejandro. Diseño e implementación de una tecnología de acceso a Internet para vehículos en movimiento en una minera. Tesis de Titulación de Ingeniería. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Consulta 2015.
- [4] Shanthi Vellingiri, Deepaknath Tandur y Mallikarjun Kande. Communication Architecture for Remote Monitoring and Diagnostics in Open Pit Mine. 2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA).
- [5] Southern Copper grupo Mexico. Consulta setiembre 2015. URL:  
<http://www.southernperu.com/ESP/opinte/Pages/default.aspx>
- [6] OSIPTEL – Cobertura celular a nivel nacional. Consulta noviembre 2015. URL:  
<http://www2.osiptel.gob.pe/CoberturaMovil/>
- [7] Dimensionamiento de una red inalámbrica. ATEL asesores C.A.
- [8] Carlos García Godos. Curso Redes Inalámbricas y Sistemas Móviles
- [9] Equipos GPS marca CALAMP - Modelo LMU 1200. URL:  
<http://www.calamp.com/products>
- [10] Equipos GPS marca DCT - Modelo Syrus 2. URL:  
<http://www.trackperu.com/productos/equipos-de-rastreo-gps/dct-syrus-anti-jammer/>

- [11] Equipos GPS marca SKYWAVE - Modelo IDP 680 y 780. URL:  
<http://www.skywave.com/es/our-technology/satellite-cellular-communication/idp-series>
- [12] Equipo GPS marca SKYPATROL - Modelo TT8850. URL:  
<http://www.skypatrol.com/products/tt8850/>
- [13] Equipo GPS marca QUECLINK - Modelo gl300. URL:  
<http://www.queclink.com/es/GL300>
- [14] Plataforma GLOBAL AVL. Acceso por empresa Securitas SAC. URL:  
<https://ubiq-gps.securitas.com.pe/Login.aspx>
- [15] Hartman, Howard L. 2002. Introductory mining engineering / Jan M. Mutmansky.
- [16] Cumming, John. 2012. Mining explained: a layperson's guide.
- [17] Vellingiri, S., Tandur, D., Kande, M. 2013. Energy efficient wireless infrastructure solution for open pit mine.
- [18] Arelovich, A., Masson, F., Agamennoni, O., Worrall, S., Nebot, E. 2010. Heuristic rule for truck dispatching in open-pit mines with local information-based decisions.
- [19] Glencore, Operación en Perú. URL: <http://www.glencoreperu.pe/>
- [20] Netronics. Wireless Connectivity Enables Effective Communication in Open-pit Mines.
- [21] Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW). 2010. Guidebook for Evaluating Mining Project EIAs.
- [22] Ministry of Northern Development and Mines. 2014. URL:  
<http://www.mndm.gov.on.ca/en/mines-and-minerals/mining-sequence/development/mine-development>

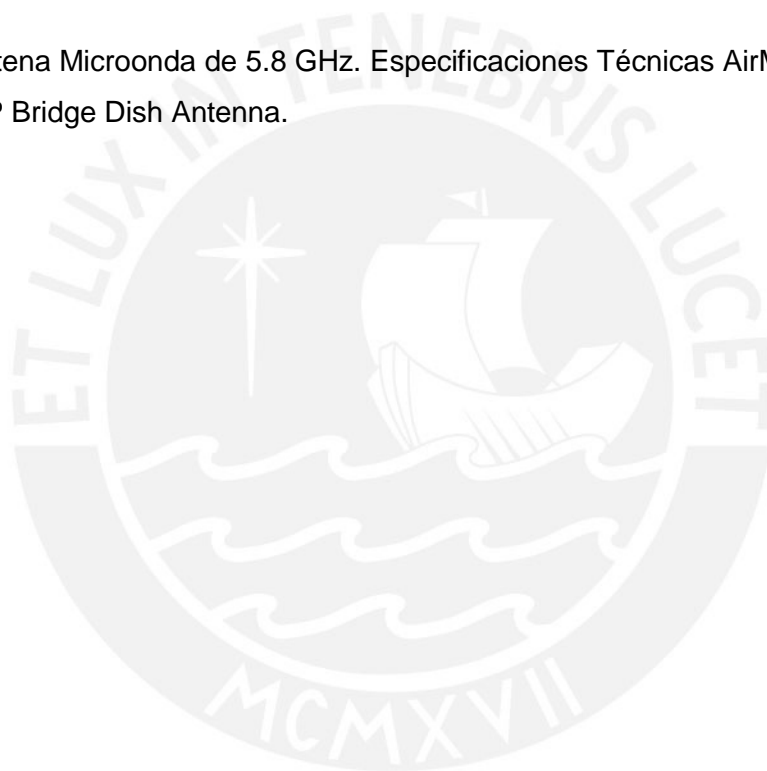
[23] Ministerio de Energía y Minas. URL:

<http://www.minem.gob.pe/detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159>

[24] Purnima K. Sharma y R. K. Singh - 2012. Cell Coverage Area and Link Budget Calculations in GSM System.

[25] Harris Corporation. 2000. Radio Communications in the Digital Age VHF/UHF Technology, Volume Two.

[26] Antena Microonda de 5.8 GHz. Especificaciones Técnicas AirMAX Carrier Class 2x2 PtP Bridge Dish Antenna.





## ANEXOS

- Anexo 1 - Esquema de caminos
- Anexo 2 - Construcción de depósitos de relaves, caminos, líneas de agua y tensión - Canadá
- Anexo 3 - Área de lixiviación
- Anexo 4 - Tipos de extracción y concentración de minerales 1
- Anexo 4 - Tipos de extracción y concentración de minerales 2
- Anexo 5 - Reglamento Servicio Móvil Avanzado - OMVR
- Anexo 6 - Principios de sistemas móviles
- Anexo 7 - Requerimientos de Hardware y Software
- Anexo 8 - Detalle de trayecto y funcionalidad de GPS
- Anexo 8 - Totales de CANbus información de computadora
- Anexo 9 - DCT Syrus II - Especificaciones
- Anexo 9 - SatCom Iridium – Especificaciones
- Anexo 10 - CALAMP LMU 1200 - Especificaciones
- Anexo 11 - SKYWAVE IDP 780 FLEX - Especificaciones
- Anexo 11 - SKYWAVE Serie IDP 600 - Especificaciones
- Anexo 12 - Antena 17dbi - Especificaciones
- Anexo 13 - Antena microonda - Especificaciones