



# Redes privadas para la minería

Una descripción general de los desafíos, impulsores del mercado, casos de uso y tendencias de las redes privadas para la minería.



**Disruptive Analysis**



# Índice

Resumen.....	3
Definición del sector.....	5
Principales tendencias, desafíos e impulsores del mercado.....	6
Principales casos de uso para redes inalámbricas privadas en la minería....	9
Redes inalámbricas privadas vs. públicas.....	14
Consideraciones prácticas y decisiones de despliegue de red.....	18



# Resumen

La minería es un sector muy grande e importante. Genera alrededor de dos billones de dólares en ingresos a nivel mundial y emplea quizás a 20 millones de personas en 50 a 100.000 sitios en todo el mundo. Si bien algunas partes de la industria están dominadas por grandes empresas mineras multinacionales, otros minerales tienden a estar más localizados e involucran empresas nacionales más pequeñas.

Por lo general, las operaciones mineras se llevan a cabo en entornos hostiles, en grandes sitios, tanto en la superficie como bajo tierra. Pueden tener múltiples factores de riesgo, entornos de trabajo dinámicos y, a menudo, "impredecibles", y elevados niveles de mecanización y, cada vez más, automatización. Los precios de los minerales pueden fluctuar considerablemente, mientras que las fricciones en la cadena de suministro se han multiplicado en los últimos años. Como resultado, la economía, planificación y rentabilidad de la industria se han vuelto menos predecibles.

Por lo tanto, el sector minero tiene algunos de los requisitos más exigentes para las redes de comunicaciones de cualquier industria vertical. Opera infraestructura crítica para la seguridad, maquinaria pesada y una gran cantidad de vehículos en vastas áreas, a menudo en áreas muy remotas, tanto sobre el suelo en pozos como en entornos de túneles subterráneos.

El terreno y área operativa cambian de tamaño y forma, lo que hace que el cableado permanente sea otro desafío. Algunos sitios también tienen que lidiar con problemas adicionales, como gases inflamables y explosiones. Además, la supervisión reglamentaria es estricta en los países desarrollados.

La industria depende cada vez más de la red. Con la llegada de la "minería inteligente", la industria adopta cada vez más la automatización, la detección medioambiental, la seguridad de los trabajadores y los sistemas de capacitación, además de una amplia variedad de herramientas de gestión de activos y productividad. Todo esto requiere más datos, redes mejoradas y mayor supervisión y seguridad.

Este libro electrónico se centra en las tendencias emergentes de las redes privadas y especialmente en el uso de tecnologías inalámbricas celulares (3GPP) como 4G/LTE y 5G. La minería ha sido uno de los sectores más importantes para el despliegue de las redes de telefonía celular centradas en empresas durante algún tiempo, con un uso bastante generalizado de redes 4G privadas desde hace más de 6 años y la adopción continua de redes 5G. Algunos de los primeros en adoptar incluso tenían redes locales 2G o 3G antes de 2010.



En la actualidad, quizás haya entre 100 y 200 minas con redes celulares privadas en funcionamiento, aunque es difícil recopilar datos concretos, ya que muchos despliegues no se publican. La mayoría de estas son redes 4G, aunque el interés en redes 5G aumenta rápidamente, con varias pruebas pilotos en curso.

Por lo tanto, la minería es un sector con redes muy diversas. Además de 4G y 5G, los sistemas de radio troncalizados se utilizan para comunicaciones personales con tecnologías como TETRA y P25, hay una importante adopción de redes inalámbricas de malla para IoT, wifi se utiliza para aplicaciones empresariales y se han utilizado mucho los enlaces satelitales de área amplia. Algunos sistemas industriales tienen conectividad inalámbrica propietaria. La fibra se despliega donde se puede instalar de manera segura y permanente.

Con el tiempo, algunos de estos casos de uso podrían migrar a 4G o 5G, mientras que otros nuevos ejemplos sin duda surgirán para las demás tecnologías. Las demás tecnologías también están evolucionando (por ejemplo, la evolución de wifi a 6, 6E y 7, que puede cambiar las decisiones adoptadas por los compradores y administradores de red).

El alcance mundial de la industria minera hace que los factores reglamentarios sean muy específicos del sitio o del país y, a menudo, involucran a los legisladores, que pueden no estar a la vanguardia de las tendencias en redes o uso del espectro. Por lo tanto, es probable que las minas tengan opciones de red basadas en parte en factores locales.

**Tabla:** ejemplos de despliegues y pruebas de redes privadas 4G y 5G de empresas mineras

Empresa o ubicación	País	Sector o propósito	Espectro o tecnología	*Proveedores
Antofagasta	Chile	Camiones autónomos y otras aplicaciones.	4G (banda no especificada)	Nokia
Agnico Eagle	Canadá	Pulsar para hablar, IdC, vehículos, ubicación.	LTE + NB-IdC 850 MHz	Ericsson, Ambra
Newcrest Mining	Papúa NG	Operación remota de maquinaria.	LTE, doble frecuencia	Telstra Mining
South32	Australia	Vehículos, IdC, seguridad de los empleados.	LTE	Telstra, Ericsson
Boliden	Suecia	Maquinaria y vehículos remotos.	Ruta de actualización 4G + 5G	Telstra, Ericsson
Gold Fields Australia	Australia	Voz crítica, SCADA, acceso a Internet del personal.	LTE en 1800 MHz	Challenge Networks, Nokia, Cisco
Zinkgruvan	Suecia	Comunicaciones críticas, máquinas remotas, posicionamiento de personal y activos.	Balizas LTE + BLE, ruta de actualización 5G	Athonet, Telia, Mobilis
VALE	Brasil	Múltiples minas, vehículos autónomos y remotos, sensores geotécnicos, seguridad de los trabajadores.	4G LTE en 2100 MHz + prueba de redes 5G. También redes públicas 4G para la comunidad local	Vivo Brasil + Telefónica Tech + Nokia
Minera las Bambas	Perú	Comunicaciones críticas, soluciones de seguridad, automatización.	Redes privadas LTE	Nokia, Telefónica
Norilsk Nickel	Rusia	Minería autónoma, control remoto, voz crítica, robótica.	Redes privadas LTE + prueba de redes 5G	Nokia, SPBEK, Qualcomm, Tele2
CODELCO	Chile	Cámara de video de la trituradora (prueba).	Banco de pruebas de redes 5G	Nokia
Gold Fields	Chile	Camiones y máquinas remotas, drones, sensores.	Redes privadas LTE	Nokia, Claro
NORCAT	Canadá	Centro de pruebas y capacitación en minas: utiliza tecnología inalámbrica para la innovación y el aprendizaje.	Redes privadas LTE, actualización planificada a redes 5G	Nokia, CENGN, Ericsson
Sandvik	Finlandia	Mina de prueba para la creación de prototipos de múltiples sistemas de minería inteligente (por ejemplo, control remoto, video 4K, etc.)	5G independiente	Nokia
Taiyuan Mining Innovation Lab	China	Sitio de innovación para probar o desarrollar soluciones de minería inteligente.	Sistema variado de redes 4G y 5G	Huawei

Fuente: Disruptive Analysis

\*También puede incluir a otros proveedores

# Definición del sector



Hay una gran cantidad de subsectores y tipos de sitios que se presentan en este informe. La industria minera es bastante diversa en términos de entornos físicos que requieren conectividad, además de superponerse con otros sectores como el transporte y la energía, que se han presentado en libros electrónicos anteriores de iBwave.

Los sectores clave que requieren redes inalámbricas incluyen:

- > **Minería subterránea**
  - Los túneles pueden variar en profundidad y extensión. Algunas minas pueden tener decenas de kilómetros de túnel.
  - Incluida la infraestructura sobre el suelo asociada
- > **Minas o canteras a cielo abierto**
  - Pozos y minería a cielo abierto
  - Grúas, excavadoras, camiones, etc.
  - Incluidos los relaves y pilas de acopio
  - Áreas de rehabilitación después del cierre de la mina
- > **Edificios y estructuras permanentes, incluidos:**
  - Plantas de procesamiento (como trituradoras, molinos, tanques, fundidoras)
  - Almacén y mantenimiento de vehículos
  - Oficinas
  - Alojamiento
  - Centrales eléctricas in situ
- > **Vías ferroviarias y de transporte**
  - Estaciones de transferencia
  - Carreteras y vías férreas exclusivas
  - Puertos y terminales
- > **Sitios de exploración y desarrollo**
  - Perforación y prospección o geociencia remota
  - **Mina durante la construcción**
- > **Otros sectores, como la minería submarina**

Cualquier mina puede tener varias zonas correspondientes a estas categorías. Pueden estar ubicadas muy cerca unas de otras y, por lo tanto, quizás cubiertas por una sola infraestructura de red, o podrían estar distribuidas a lo largo de muchos kilómetros o tal vez distancias aún mayores donde hay un ferrocarril a un puerto o unidad de procesamiento.



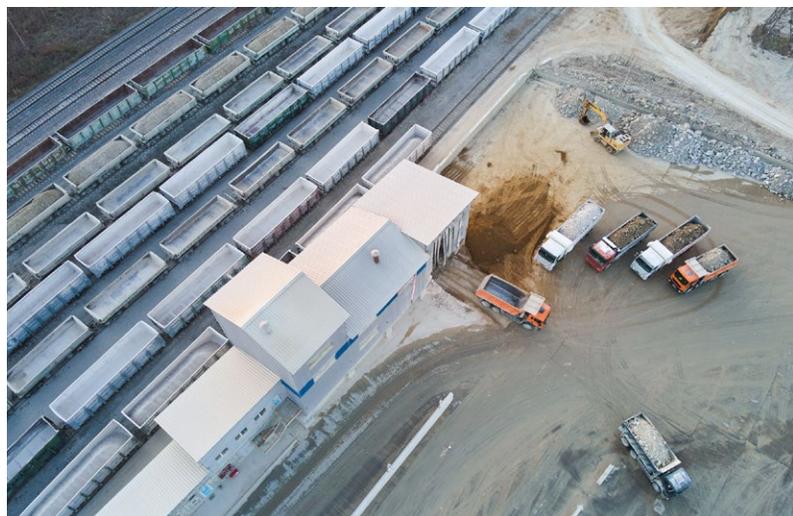
Debería ser evidente que las redes inalámbricas privadas tienen muchas oportunidades en la minería al considerarse junto con los múltiples casos de uso que se describen más adelante en este libro electrónico, pero estas a menudo requerirán una buena comprensión del sector, así como la asociación y colaboración entre proveedores, prestadores de servicios e integradores e instaladores especialistas.

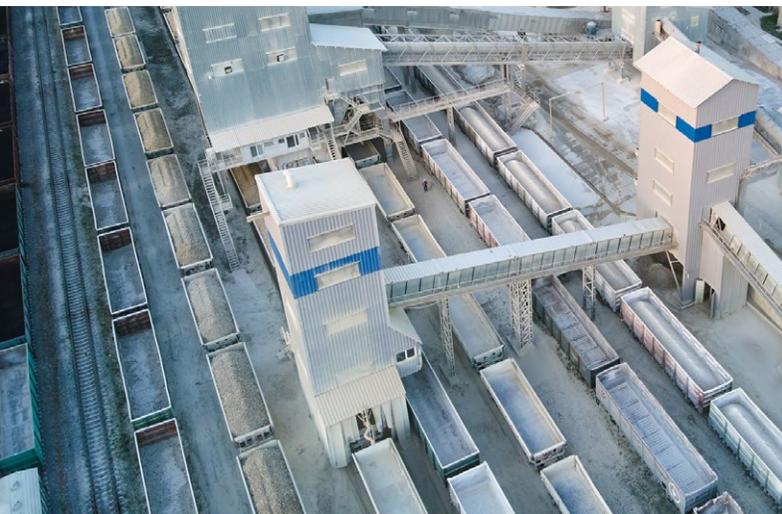
# Principales tendencias, desafíos e impulsores del mercado

La industria minera se enfrenta a un amplio conjunto de tendencias subyacentes e impulsores de transformación, que la orientan hacia la conectividad y, en especial, las redes inalámbricas privadas. Algunos, como la imprevisibilidad macroeconómica, son externos y comunes en varias industrias, mientras que otros, como la descarbonización y la seguridad, tienen impactos muy específicos para la minería.

Se utilizan varios términos como “Minería conectada” o “Minería inteligente” para describir la transformación y adopción de nuevas clases de TI/TO (tecnología de la información y operativa) y las redes que las respaldan.

- **Mejora de la seguridad y productividad de los empleados:** la minería siempre ha sido una de las profesiones más peligrosas, con trabajadores que enfrentan riesgos por gases tóxicos, derrumbes de túneles, lesiones por colisiones de maquinaria y vehículos. Una mayor conectividad puede mejorar significativamente la seguridad, ya sea mediante el uso de control remoto de equipos, detección de proximidad o sensores geotécnicos para detectar señales tempranas de peligro. Las mejores conexiones de voz y datos para los trabajadores también permiten varias mejoras en la productividad y llevan “la economía de las aplicaciones industriales” a los dispositivos portátiles o ponibles.
- **Cambio climático y descarbonización:** durante la próxima década, el sector minero y sus clientes intermedios enfrentarán cambios profundos a medida que el planeta se dirige hacia la neutralidad de emisiones de carbono. Se cerrarán las instalaciones antiguas, se construirán nuevas y se generalizarán las mejoras en las operaciones. Algunos minerales perderán importancia (especialmente el carbón), mientras que otros la ganarán (por ejemplo, el litio utilizado en las baterías, el uranio para la energía nuclear y el cobre para el cableado y los motores eléctricos).





Todas las plantas nuevas y muchos sistemas antiguos necesitarán más conectividad para el monitoreo, control y recopilación de datos. Se hará hincapié en la reducción de la energía utilizada para vehículos, equipos y ventilación. Las redes inalámbricas localizadas serán un elemento importante para muchos sitios o, de hecho, redes privadas nacionales o de área amplia.

- **Ciberseguridad:** la industria minera es un objetivo tentador para varios actores maliciosos, desde Estados nación que buscan controlar el suministro de minerales estratégicos hasta activistas medioambientales o bandidos de programas de chantaje.

Los desafíos de seguridad se están volviendo muy complejos y multicapas. Los sistemas operativos y de TI antiguos se fortalecerán o retirarán si tienen vulnerabilidades, mientras que las redes se supervisarán de cerca para determinar su resiliencia y redundancia. Las redes inalámbricas privadas se pueden utilizar como respaldo en casos de fallos de fibra u otros enlaces y también pueden reducir los riesgos asociados con los sistemas propietarios más antiguos.

- **Datos y análisis:** los índices de utilización de activos a menudo han sido bajos en la industria minera. Junto con los elevados costos fijos, esto puede hacer que las operaciones sean difíciles de monetizar de manera rentable. Las empresas mineras están transformando rápidamente la infraestructura analógica heredada y los procesos manuales. Los equipos mejor conectados, sensores de IdC y entradas de video pueden mejorar la gestión de activos, permitir la detección de fallas, mejorar la productividad y la asignación de recursos, prolongar la vida útil de las minas, ayudar en el diagnóstico y optimizar el mantenimiento. Se puede esperar que las nuevas herramientas de análisis e inteligencia artificial o aprendizaje automático orienten la exploración y maximicen los rendimientos de las minas existentes. Sin embargo, la gran cantidad de datos requerirá redes mucho más potentes y robustas, incluida la recopilación de sensores remotos o móviles que requieren conectividad inalámbrica.
- **Geopolítica:** al igual que muchas industrias, la minería tiene que lidiar con cambios continuos en el escenario político internacional. Algunos países y sectores tienen restricciones y embargos comerciales. Los impuestos, aranceles y reglamentos de importación cambian constantemente. Ciertos minerales se consideran estratégicamente importantes (como los metales de tierras raras) y es posible que se abran nuevas minas para reducir la dependencia de los suministros mundiales concentrados. Algunos Gobiernos exigen claridad sobre el empleo y el cumplimiento medioambiental en toda la cadena de suministro. Por lo tanto, las minas tienen que lidiar con más papeleo y mantener mejores registros y trazabilidad de materiales y equipos. Esto requiere inherentemente una gran cantidad de datos y redes.





- **Fluctuaciones de precios:** los precios de los minerales y la rentabilidad de las minas pueden ser muy volátiles. Los patrones de demanda son difíciles de predecir, especialmente en tiempos de incertidumbre y recesión económica. La pandemia mundial y los conflictos regionales (y las consecuencias geopolíticas) han contribuido aún más a las fluctuaciones de precios. Por lo tanto, las minas tienen que controlar los costos en todas las etapas de sus ciclos de vida y tal vez ampliar o reducir las operaciones según el mercado.
- **Preocupaciones medioambientales y de gobernanza:** Más allá de la descarbonización, las minas están al frente de muchos otros aspectos de las normas y obligaciones medioambientales. La contaminación del agua y aire necesita un control estricto, tanto para las minas activas como después del desmantelamiento. Es probable que el papel cada vez mayor de las preocupaciones ESG entre los inversionistas y los Gobiernos genere una mayor necesidad de recopilación de datos, monitoreo y respuestas comprobables a emergencias o problemas. También hay más necesidad de involucrarse con las comunidades locales, tanto para brindar apoyo económico como para garantizar la aceptación de actividades mineras disruptivas.
- **Movilidad y reutilización de equipos:** hay un interés considerable en la capacidad de mover equipos alrededor de un sitio o a un sitio totalmente diferente. A medida que los recursos minerales específicos alcanzan el final de su vida útil, el valor de los activos y la productividad se pueden mejorar mediante la redistribución de la maquinaria y los sistemas de detección y control.

La planificación basada en escenarios se puede utilizar para optimizar este tipo de enfoque. Todo esto es mucho más fácil si están conectados de manera inalámbrica, en lugar de depender de fibras o cables fijos.

- **Flexibilidad e integración de la cadena de valor y suministro:** hay interés en algunas empresas mineras y en algunos países que emiten licencias, en integrar varias capas de la cadena de valor de minerales o metales. Esto requiere un control y una gestión de la cadena de suministro mucho más estrictos para que se puedan entregar diversos insumos a los procesadores intermedios sin la necesidad de grandes inventarios. Además, las fluctuaciones recientes en la capacidad y el costo de los envíos, así como los suministros variables de equipos, han aumentado la necesidad de flexibilidad y agilidad operativas. Nuevamente, esto requiere un uso intensivo de datos y redes, así como una conectividad tanto en los sistemas de un sitio determinado como externamente a otras ubicaciones y organizaciones colaboradoras.

Por lo general, todas estas tendencias generan una mayor exigencia de conectividad, control y flujos de información. Además, ninguno existe de manera aislada; muchos están interconectados y requerirán una estructura de red integral que se extienda por todo el sitio y más allá. Al combinar todos estos factores generales y las tendencias específicas de la empresa o del país, las redes tienen que ser:

- De gran capacidad (tanto para el enlace de subida como para el enlace de bajada) y baja latencia
- Estandarizadas cuando sea posible y con una cadena de suministro diversa
- Utilizar conjuntos de habilidades ampliamente adoptados y fáciles de aprender
- Ampliamente disponibles, ya sea como servicio o de manera privada. Idealmente, esto será cierto tanto dentro de los países como a nivel mundial
- Seguras ante una amplia gama de riesgos y resilientes en caso de emergencias
- Móviles y facilitar la incorporación de nuevos sitios, usuarios y aplicaciones
- Tener costos más bajos (o al menos predecibles) por sitio o dispositivo

Históricamente, muchas minas han tenido “silos” de tecnología con herramientas y redes de comunicación separadas.

Las redes inalámbricas han sido muy importantes dadas las grandes áreas y la movilidad involucradas, pero tienen problemas prácticos debido a los desafíos de topografía cambiante y propagación de radio. Las redes de malla, ya sea basadas en wifi o tecnologías 802.11 similares, se han utilizado a menudo, pero tienen limitaciones, especialmente para cobertura vehicular o extensas redes de túneles.

Por lo tanto, si bien las empresas mineras seguirán utilizando con frecuencia medios tradicionales de conectividad, en particular fibra para activos críticos o wifi para ubicaciones de oficinas, habrá una creciente demanda de conexiones celulares con tecnologías 4G o 5G. A menudo, se combinarán varias tecnologías, como enlaces por satélite para conexiones inalámbricas locales de sitios remotos o puertas de enlace wifi conectadas a través de 5G.

# Principales casos de uso para redes inalámbricas privadas en la minería

Hay dos preguntas que se deben abordar en este informe dada la estructura de la industria y los cambios descritos anteriormente:

- ¿Qué casos de uso son adecuados para la conectividad celular 4G y 5G?
- ¿Cuándo es más apropiada una red privada 4G o 5G que un servicio de red pública de un ORM?

Esta sección destaca algunos de los casos de uso emergentes que se pueden beneficiar de la conectividad celular. Si bien es probable que haya cientos de aplicaciones en general y algunas, como TI general de oficina, se omiten por concisión, las siguientes son las aspiraciones típicas de muchas empresas en estos sectores.

## Control remoto de equipos de perforación, excavación y otros

La función principal de las minas es la extracción de rocas, menas y minerales. Esto requiere una amplia variedad de perforadoras, rozadoras, excavadoras, tuneladoras, cintas transportadoras, ascensores y sus controles asociados. Funcionan tanto en pozos superficiales como subterráneos. Una mina grande puede tener cientos de máquinas de diferentes tamaños y funciones.

Una cantidad cada vez mayor de máquinas y equipos están conectados para control remoto o funcionamiento autónomo.

**Disruptive Analysis**  
Don't Assume

**Nuevas aplicaciones TI/TO para redes inalámbricas privadas en la minería**

<b>Seguridad de los trabajadores</b> Funciones de proximidad, trabajador solitario y parada de seguridad	<b>Vehículos autónomos</b> Camiones y trenes mineros	<b>RA y RV</b> Realidad aumentada y virtual para capacitación
<b>Conciencia operativa</b> Estado de maquinaria, trabajadores y pilas de acopio	<b>Control remoto</b> Operadores de maquinaria en salas seguras de control central	<b>Visión artificial</b> IA basada en imágenes para seguridad y monitoreo geotécnico
<b>Ventilación inteligente</b> Flujo de aire mejorado con menor consumo de energía	<b>Ubicación</b> Seguimiento y posicionamiento precisos de activos	<b>Sensores medioambientales</b> Detección de gases, fugas de agua, deslizamientos, etc.
<b>Comunicaciones críticas</b> Comunicaciones de voz y video del personal	<b>Gemelos digitales</b> Datos de sensores y modelos de plantas virtuales	<b>Videovigilancia</b> Seguridad del sitio

*Más vehículos, drones y cientos más*

Noviembre de 2022 | Derechos de autor Disruptive Analysis Ltd 2022

Es posible que los trabajadores estén ubicados en salas de control centralizadas, en lugar de tener que viajar al sitio de corte, que podría estar bajo tierra y a lo largo de kilómetros de túnel. Esto es más seguro y eficiente; el mismo trabajador especializado podría llevar a cabo operaciones de forma remota en muchos lugares y en el mismo turno, en lugar de tener que trasladarse entre ellos.

Esto requiere cámaras, sistemas de telemetría y monitoreo y plataformas de recopilación y análisis de datos. Puede haber colaboración entre grupos de máquinas y operadores. Hay estrictos controles de seguridad, especialmente cuando el personal está presente en el mismo lugar

que las máquinas automatizadas. Si bien algunos pueden utilizar conexiones fijas o de fibra, los equipos en los sitios mineros se mueven constantemente, por lo que el uso de redes inalámbricas mejora la eficiencia y minimiza el tiempo de inactividad para recablear.

Los centros de operaciones mineras necesitan un excelente control centralizado y visibilidad de los sistemas y máquinas para garantizar un funcionamiento seguro, optimizar la productividad y resolver rápidamente emergencias o eventos inesperados. En el futuro, los operadores remotos utilizarán pantallas y auriculares de realidad aumentada y los sistemas de IA optimizarán las rutas de los vehículos para reducir el consumo de energía o modificarán el patrón de excavación para mejorar los rendimientos.

Los controles remotos e inalámbricos requieren un gran ancho de banda para las cámaras de video y los flujos de datos asociados, con baja latencia para minimizar los retrasos. En algunos casos, las funciones de computación frontera se pueden utilizar para optimizar las medidas adoptadas en el frente de perforación o por los vehículos. Otros elementos operativos (como los pernos de roca) se pueden hacer “inteligentes” con sensores inalámbricos para advertir sobre riesgos inminentes de colapso.

## Comunicaciones críticas para la seguridad

Las comunicaciones personales son esenciales para las operaciones mineras seguras y productivas, especialmente en entornos remotos, peligrosos y subterráneos. Existe una gran necesidad de pulsar para hablar (PPH), teléfonos industriales en ubicaciones fijas, sistemas de alerta y cada vez más comunicaciones basadas en video. Debido a la topografía física compleja de las operaciones mineras, dichos sistemas tienen que funcionar dentro de túneles y pozos, alrededor de pilas



de rocas y dentro de máquinas y vehículos con metalistería pesada. La conectividad local (en el sitio) y el control de llamadas son esenciales, ya que muchas minas se encuentran en áreas remotas sin una conexión confiable a las redes públicas de telefonía celular.

En situaciones normales, los trabajadores utilizarán PPH y PPV (pulsar para video) de misión crítica para determinar acciones, problemas y coordinar equipos. Los operadores y despachadores también tienen que reaccionar rápidamente ante emergencias e identificar posibles problemas. El manejo de crisis otorga gran importancia a los sistemas confiables de voz y mensajería para proteger a los trabajadores. En una situación de peligro, los mineros (o dispositivos automatizados) pueden enviar mensajes o llamadas de alerta al centro de control. Estos también pueden hacer un seguimiento de los datos de telemetría de salud en tiempo real, como la frecuencia cardíaca o la presión arterial.

Históricamente, los sistemas PPH han dependido de redes más antiguas como la “radio troncalizada” (o PMR, radio móvil privada) y estándares como TETRA y P25. Si bien son muy confiables, tienen capacidades limitadas más allá de la voz y pueden ser costosas. Los dispositivos celulares pueden combinar PPH con una variedad de aplicaciones de datos y video.

Actualmente, la mayoría de los sistemas celulares PPH-MC (pulsar para hablar de misión crítica) están optimizados para redes 4G LTE, pero se están actualizando para redes 5G. Además, puede ser necesario interoperar con las redes de telefonía normales (por ejemplo, para interacciones comerciales entre las minas y las oficinas centrales, así como contratistas, empresas de transporte y otros proveedores).

## Supervisión y automatización de las operaciones de transporte, carga y tren

Las minas tienen grandes necesidades de transporte, tanto en el sitio como para envíos salientes. Según el tamaño y la estructura del sitio, algunas minas pueden utilizar cintas transportadoras para mover el mineral desde el frente de extracción directamente a las zonas de procesamiento, acopio o carga. Sin embargo, muchos otros minerales necesitan grandes camiones u otros vehículos.

El transporte de menas o minerales parcialmente procesados desde la ubicación de la mina hasta los puertos, plantas adicionales de procesamiento o ubicaciones de la cadena de suministro es un elemento central de la industria. Los sistemas eficientes y seguros para cargar camiones, trenes de carga o barcos son un aspecto importante de las operaciones de infraestructura del sitio. Esto se relaciona con otros requisitos para automatizar y optimizar las pilas de acopio y otros espacios de almacenamiento en el sitio.

En los últimos años, ha habido una importante inversión e innovación en la automatización de los sistemas de transporte minero. Esto incluye operaciones totalmente autónomas y a control remoto. Las carreteras de transporte típicas y las vías de tren exclusivas son más simples que las redes públicas de carreteras o ferrocarriles y están sujetas a diferentes controles reglamentarios y regímenes de seguridad. Esto implica menos variables para un sistema automatizado y una adopción más temprana de maquinaria autónoma.

Esto requiere un monitoreo exhaustivo en tiempo real y una conectividad confiable. La telemetría de los sistemas automatizados y la videovigilancia de las operaciones son necesarias. El mantenimiento de registros a menudo es obligatorio y requiere que se transmitan y almacenen grandes volúmenes de datos. La ubicación de gran precisión se utiliza para el seguimiento de activos y el posicionamiento de los sistemas de carga y descarga. Los motores y subsistemas de los vehículos se pueden monitorear para mantenimiento preventivo o para optimizar aspectos como el desgaste de llantas y el consumo de combustible.

También hay una gran necesidad de mecanismos para detectar personas demasiado cerca de máquinas automatizadas y detener las operaciones si es necesario. Si bien estos mecanismos pueden utilizar cámaras en el vehículo y software de análisis, es probable que los datos también se almacenen para su posterior descarga o transmisión.

Para todas estas funciones se necesita una cobertura de red amplia, confiable y continua, con capacidad y velocidad adecuadas. También puede haber requisitos de red muy diferentes para los camiones que transitan por una mina a cielo abierto (en comparación con un ferrocarril especial o un puerto de envío a granel), ya que se pueden conectar a redes inalámbricas públicas fuera de la mina si viajan por carreteras normales.



## Seguimiento de activos, posicionamiento y geovalla

El monitoreo de las posiciones de equipos, vehículos y personal en tiempo real es muy importante tanto en minas a cielo abierto como subterráneas. Existen claras implicaciones de seguridad cuando los vehículos grandes (quizás controlados de forma autónoma) y los taladros robóticos comparten espacio con los trabajadores. Los riesgos adicionales específicos de la ubicación se relacionan con explosivos, gases nocivos y otros peligros. Idealmente, se pueden crear “geovallas”, que proporcionan zonas de seguridad virtuales y pueden detener maquinaria o detonaciones de voladuras si alguien se acerca demasiado. También pueden advertir sobre la mala calidad del aire si se conectan a redes de sensores. Sin embargo, las señales de GPS no funcionan bajo tierra o en las sombras de pozos más profundos.

La geolocalización subterránea resulta particularmente difícil, pero permite que las operaciones mineras sean totalmente transparentes al mantener datos sobre todos y todo. Además del seguimiento en tiempo real, la recopilación de series cronológicas de datos puede contribuir a los sistemas de análisis para optimizar las operaciones mineras.

Las redes privadas LTE y 5G (y también wifi) pueden permitir la localización precisa de personas y activos a través de etiquetas, dispositivos portátiles, dispositivos ponibles o módems integrados en otros sistemas, que se vinculan a un mapa 3D de la mina y su red de radio asociada.

## Conciencia operativa en tiempo real

Las minas dependen cada vez más de los sistemas de IdC y la recopilación y análisis de datos a gran escala. Esto se necesita para la optimización operativa (en varias etapas, desde la exploración hasta la extracción y el procesamiento) y para garantizar la responsabilidad medioambiental y la seguridad de los mineros.

Los datos se recopilan de una amplia variedad de fuentes, desde el rendimiento de la máquina (incluidas las vibraciones y la temperatura) hasta la salud y la fatiga de los trabajadores (por ejemplo, sensores de movimiento y frecuencia cardíaca). Estos datos pueden contribuir a medidas de mantenimiento preventivo o decisiones preventivas de rotación de personal. Las entradas de video y los sistemas de monitoreo del clima pueden permitir una rápida identificación de emergencias y respuestas apropiadas.

Además de sitios fijos, también se recopilan datos o videos de sensores inalámbricos en vehículos, personas o robots. Es posible que las cámaras u otros dispositivos no estén ubicados en lugares fijos y se muevan sobre rieles o incluso drones. Debido a las grandes áreas físicas de las operaciones mineras, es posible que las redes wifi no sean adecuadas en comparación con las redes celulares 4G y 5G.

Las capacidades de baja latencia de las redes 5G serán más importantes con el tiempo debido a los crecientes volúmenes de datos y las aspiraciones de análisis en tiempo real.

Por lo general, las empresas mineras también necesitan acceso a datos externos y sistemas integrados (por ejemplo, precios de materias primas, pronósticos meteorológicos y plataformas de gestión de transporte o cadena de suministro para la empresa en general).

En conjunto, la inteligencia operativa y conciencia situacional permiten una mejor utilización de activos y asignación de recursos.

## Ventilación inteligente

Las operaciones subterráneas seguras dependen de una ventilación muy confiable y de gran rendimiento, que proporciona aire a los mineros, ventila los gases residuales y posiblemente reacciona a los productos químicos tóxicos. La ventilación inteligente permite un control eficiente de ventiladores y reguladores, con sensores que monitorean la calidad y la presión del aire. El control en tiempo real garantiza un aire seguro para los trabajadores, mejora la eficiencia y optimiza el consumo de energía de los ventiladores. Además, la infraestructura de ventilación existente puede soportar la ampliación de los túneles mineros, sin agregar capacidad adicional.

Las redes privadas LTE o 5G permiten una mayor flexibilidad en la ubicación de los sensores en comparación con el cableado fijo, especialmente con LTE-M o NB-IoT para una cobertura de área amplia con menor consumo de energía y mayor duración de la batería.



## Gestión del agua

La gestión del agua es esencial para las necesidades operativas de la mina, como la refrigeración de equipos y el control del polvo. También es importante monitorear la filtración, acumulación de lluvia, flujos de aguas residuales y posible contaminación del entorno local de la mina. Muchas minas se encuentran en áreas remotas o áridas y tienen que reutilizar eficientemente los recursos hídricos.

Las redes privadas juegan un papel importante tanto en la conexión de bombas y sistemas que consumen agua en la propia mina, como en el monitoreo de tuberías o masas de agua locales en busca de turbidez, algas, productos químicos o salud de los peces o la vegetación. Los sensores terrestres y la conectividad inalámbrica se pueden complementar con imágenes satelitales o de drones.

## Videovigilancia

Hay una creciente variedad de casos de uso para la videovigilancia en la minería. La vigilancia se utiliza para operaciones mineras, seguridad perimetral, prevención de robos, detección de incendios y humo (especialmente mediante cámaras térmicas)



y conciencia situacional del personal y los vehículos. Cada vez más, el análisis de video contribuye directamente a los sistemas automatizados y las cadenas de decisiones rápidas en el sitio. La conectividad inalámbrica permite la transmisión de alta definición en tiempo real en áreas amplias, tanto en la superficie como en ubicaciones subterráneas.

En algunos casos, las cámaras se pueden montar en vías, rieles o pequeños robots móviles para llevar a cabo inspecciones periódicas en varios túneles o áreas de interés.

El video en tiempo real también se utiliza para monitorear la seguridad geotécnica de las pilas de acopio y los relaves mineros (el material de desecho a menudo se acumula en pilas en el sitio). Ha habido casos peligrosos derivados de roturas de presas, deslizamientos de tierra u otras brechas.

También se exige la videovigilancia a largo plazo después de que se haya cerrado o suspendido una mina. Las cámaras térmicas pueden brindar protección contra intrusiones y limitar los costos de investigar falsas alarmas en áreas remotas. Los túneles subterráneos y pozos mineros también se pueden monitorear para detectar colapsos y otros riesgos.

## Capacitación y asistencia basadas en RV

La industria minera puede ser una de las ocupaciones más peligrosas para los trabajadores. La capacitación inmersiva basada en RA y RV puede generar avances significativos en la capacitación en salud y seguridad ocupacional, especialmente para los nuevos empleados. Los mineros y operadores de vehículos pueden aprender y practicar un comportamiento eficaz en un entorno seguro y controlado, ya sea en el sitio de la mina o en un centro de capacitación dedicado. Los entornos de capacitación de RV pueden ser colaborativos, con compañeros o personal más experimentado trabajando "junto" a los aprendices.

Un escenario de capacitación podría involucrar la instalación y detonación de explosivos para trabajos de voladura, una operación peligrosa (especialmente bajo tierra) debido a los gases de metano y los riesgos de colapso del túnel. La capacitación de RV permite la práctica para este tipo de operación compleja y multitarea, que se vincula a gemelos digitales o mapas 3D de la mina.

Además de la capacitación, las herramientas de RA también pueden ser útiles para tareas operativas, como mantenimiento de equipos, carga de vehículos o construcción del sitio. El uso de lentes especiales o etiquetas superpuestas en la pantalla de una tableta puede mejorar la eficiencia o permitir la operación remota de maquinaria y herramientas. Los trabajadores subterráneos también podrían utilizar "casco inteligentes" con capacidades de RA para comunicarse con compañeros de trabajo en la superficie y solicitar asistencia técnica remota.

Los dispositivos conectados de RA y RV pueden utilizar conexiones celulares o wifi. En general, es más probable que el uso al aire libre y “en el campo” sea 4G o, idealmente, 5G para obtener la menor latencia y cobertura. Es más probable que el uso en el aula u otros entornos interiores dependa de wifi. Las bajas latencias son especialmente importantes para reducir los riesgos de “enfermedad de RV”, que afecta a algunas personas que utilizan tecnología inmersiva. Los controles hápticos que brindan respuesta táctil o forzada pueden mejorar el realismo de la experiencia, pero también requieren tiempos de respuesta muy rápidos.

## Redes inalámbricas privadas vs. públicas

Las redes celulares privadas y locales están evolucionando la conectividad de las minas. Inicialmente, estas se habían desplegado principalmente con tecnologías 4G, pero ahora, las implementaciones y los casos de uso de 5G se están volviendo más prácticos y deseables, con menores latencias y mayores capacidades de red.

Hay varios enfoques para desplegar redes celulares en sitios mineros:

- Despliegues de red privada pura por parte de la propia empresa minera o socios de sistemas, con espectro local o sin licencia.
- ORM que despliegan infraestructura 4G y 5G como un proyecto personalizado y, en algunos casos, a través de unidades de negocios dedicadas a los servicios de minería. Pueden utilizar sus propias bandas de espectro nacionales existentes o nuevas licencias localizadas si es más apropiado.
- Operadores de red especializados que prestan servicios a la minería y otros sectores industriales, ya sea con espectro local o regional propio o a través de acuerdos de arrendamiento con ORM nacionales.

➤ Redes privadas como servicio ofrecidas por integradores especializados o cada vez más vinculadas a las principales plataformas en la nube, que utilizan integradores y otros canales de comercialización.

Si se tienen en cuenta los sitios remotos de la mayoría de las minas, los ORM desempeñan un papel limitado con su cobertura nacional macro “normal” de 4G y 5G, aunque sus redes existentes pueden funcionar para ciertas operaciones, como telemática para camiones o telefonía y acceso a Internet para los trabajadores en la superficie o los alojamientos en comunidades cercanas.

Si bien los problemas de cobertura suelen predominar en estos sitios, no es la única justificación para la telefonía celular privada. Al observar diferentes industrias, hay muchas otras razones específicas de la empresa y la aplicación que impulsan a las empresas a buscar soluciones inalámbricas dedicadas.

Hay cinco razones clave:

- Cobertura
- Control
- Costos
- Integración en la nube
- Compensación (o monetización)

Estas se describen con mayor detalle en las siguientes secciones.



**Disruptive Analysis**  
*Don't Assume*

### Requisitos: las 5 C de la telefonía celular privada... Aplicadas a la minería

COBERTURA	CONTROL	CLOUD (NUBE)	COSTOS	COMPENSACIÓN
En interiores	Seguridad	Computación frontera	Reemplazo de LRM heredado o enlaces fijos	Productividad
Rural o remoto	Soberanía	Menor latencia	Fábrica 4.0	SIM privadas
Industrial	Personalizado	Integración de TO o 5G	Reemplazo de fibra	Itinerancia
Oficinas	Más allá del wifi	Mercado de la nube	Sin tarifas por GB del operador	OMV locales
Carretera o ferrocarril	Despliegue	5G en plataforma de IdC	CTP para conectividad de IdC	Financiamiento del Gobierno
Servicios públicos	Ciclo de vida	Gemelos digitales		FWA locales
Subterránea	Movilidad			Descarga de ORM
Militar o Gobierno	QoS privada			

■ Razones principales para la minería vertical

Noviembre de 2022 | Derechos de Autor Disruptive Analysis Ltd 2022

## Cobertura

Las limitaciones de la cobertura de la red son la razón principal para utilizar servicios privados de 4G y 5G en lugar de servicios públicos de ORM. Los ORM tienden a desplegar activos de red en áreas con elevada densidad de población o a lo largo de las carreteras principales.

Dado que las minas suelen estar ubicadas en regiones remotas, donde los ORM nacionales a menudo tienen una cobertura macrocelular deficiente, los sistemas dedicados son comunes. Muchos sitios mineros importantes también se encuentran en países o regiones que aún no han implementado redes 5G o incluso redes 4G de buena calidad.

Los túneles subterráneos requieren una conectividad inalámbrica local y personalizada. Los pozos profundos también representan desafíos importantes para la propagación, ya que se requieren celdas pequeñas locales o cabezales de radio para lidiar con los efectos de sombra. La naturaleza de la minería implica que la topografía del sitio puede cambiar con el tiempo, con el movimiento de grandes cantidades de rocas o el despliegue de estructuras metálicas. Es posible que la infraestructura de la red se tenga que mover temporalmente por las operaciones de voladura. Los drones que se utilizan para la observación pueden requerir cobertura inalámbrica aérea a una gran altitud. Es probable que las carreteras exclusivas, vías férreas privadas e instalaciones portuarias estén fuera de las prioridades normales de planificación y despliegue de la mayoría de los ORM.

Por lo tanto, la minería presenta un conjunto único de desafíos para la cobertura, lo que lleva a la industria a crear sistemas dedicados en lugar de depender de la provisión de redes públicas.

## Control

Poseer, especificar u operar redes inalámbricas privadas permite a las empresas mineras definir y optimizar muchos parámetros de red por sí mismas y asumir la responsabilidad directa de la seguridad, confiabilidad, rendimiento y elaboración de informes.

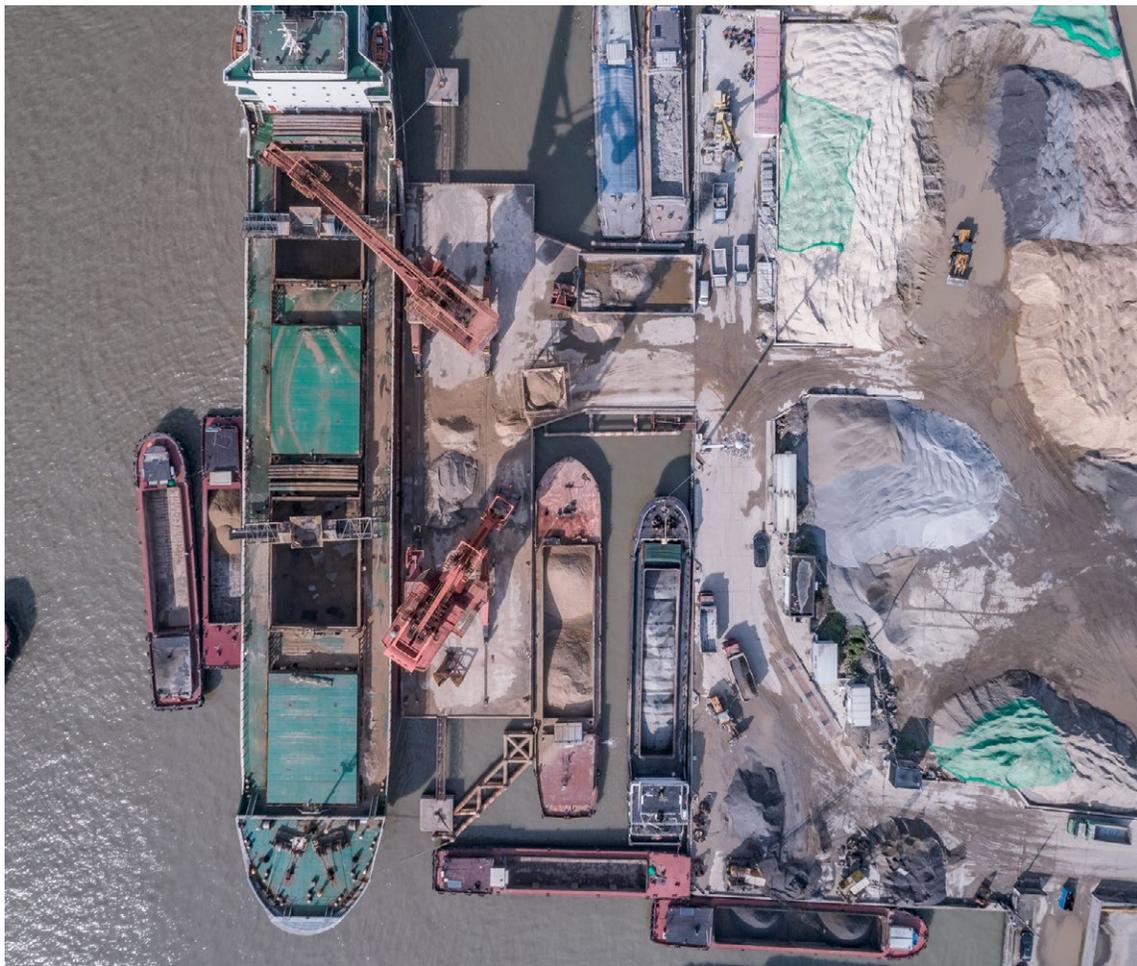
Pueden elegir sus propios mecanismos de redundancia y ciberseguridad para que se alineen con las mejores

prácticas y reglamentos específicos del sector o con los requisitos de los vehículos y las funciones específicas de cómputo analítico. Pueden personalizar y optimizar la administración y redundancia de los recursos de radio para aplicaciones exigentes, como la transmisión de video o el control remoto de maquinaria de baja latencia.

Por ejemplo, las cámaras de alta definición necesitan más capacidad de enlace de subida de la que puede estar disponible en las redes públicas, especialmente en las bandas de espectro TDD (duplexación por división de tiempo), que se destinan principalmente al uso del consumidor de medios de transmisión y descargas.

Las minas necesitan cada vez más redes de mayor rendimiento, ya sea que se proporcionen con wifi o varios sistemas propietarios. Los vehículos autónomos y a control remoto necesitan un respaldo total de movilidad sin caídas ni pausas entre nodos inalámbricos. La latencia es cada vez más importante dada la automatización de los procesos en tiempo real y las operaciones en las que el factor tiempo es importante.

La telefonía celular privada también permite que se promulguen medidas locales de control y seguridad al utilizar elementos de red central en el sitio.



## Costos

Por lo general, los costos de las redes inalámbricas para las minas son una proporción comparativamente pequeña de los gastos totales de capital y operativos del sitio. Puede haber algunas ventajas de precios de redes privadas 4G y 5G en comparación con sistemas de radio más antiguos o enlaces de microondas, pero los beneficios reales pueden provenir de la capacidad de conectar más terminales, ya sean sensores de IoT, módulos para vehículos y maquinaria o dispositivos portátiles de prestaciones superiores para trabajadores, que pueden admitir aplicaciones de datos y productividad.

En algunos casos, puede haber ahorros importantes en comparación con los servicios públicos de los ORM o tal vez al reducir el uso de conexiones satelitales.

## Nube

En el mercado empresarial en general, existe un vínculo cada vez mayor entre las plataformas empresariales privadas inalámbricas y en la nube, ya que muchos elementos de software, como los núcleos de red, se proporcionan a través de la virtualización y los contenedores, en lugar de los dispositivos físicos. Las empresas mineras también utilizan cada vez más plataformas de IA o IdC basadas en la nube, tal vez proporcionadas a través de capacidades de computación frontera.

Existen sinergias importantes entre la infraestructura de la nube y la tecnología inalámbrica privada (por ejemplo, cuando un nodo en el sitio puede admitir la función de red central para redes privadas 5G y la computación).

Por lo general, las soluciones basadas en la nube, que se utilizan para ejecutar y optimizar las operaciones o tal vez

para permitir el mantenimiento preventivo o mejorar la seguridad de los trabajadores, utilizan muchos más datos de muchos más sensores, maquinaria, cámaras y fuentes de entrada. Esto requiere inherentemente redes con una mejor cobertura y una capacidad mucho mayor, así como la admisión de terminales móviles, como vehículos o dispositivos ponibles.

## Compensación o monetización

Si bien algunos sectores utilizan las redes privadas como una posible fuente de ingresos (por ejemplo, de inquilinos externos en el sitio), eso no aplica para la industria minera. En algunos casos, puede haber usuarios externos de contratistas o tal vez empresas independientes de procesamiento y otras que compartan el mismo sitio y sistemas inalámbricos, pero es poco probable que las empresas mineras monetizen directamente sus redes.

Los principales incentivos financieros para las redes privadas 4G y 5G provendrán de mejoras en la productividad, una mejor gestión de activos y asignación de recursos y quizás un menor tiempo de inactividad.

También es posible que los proveedores de sistemas de minería aprovechen las redes privadas (por ejemplo, el proveedor de camiones, Scania, utiliza la conectividad del vehículo como base para los servicios basados en suscripción, como su conjunto de herramientas de "optimización del sitio").

Otro ángulo a considerar es el del Gobierno que otorga las licencias para los sitios y operaciones mineras. En algunos casos, la minería representa una contribución considerable al ingreso nacional y al empleo, tanto a través de derechos de licencia como de impuestos y regalías adicionales. Esto puede incentivar a las autoridades de reglamentación a otorgar

espectro específico a las empresas mineras para redes inalámbricas, ya que ven la oportunidad de obtener beneficios económicos adicionales en otros lugares.

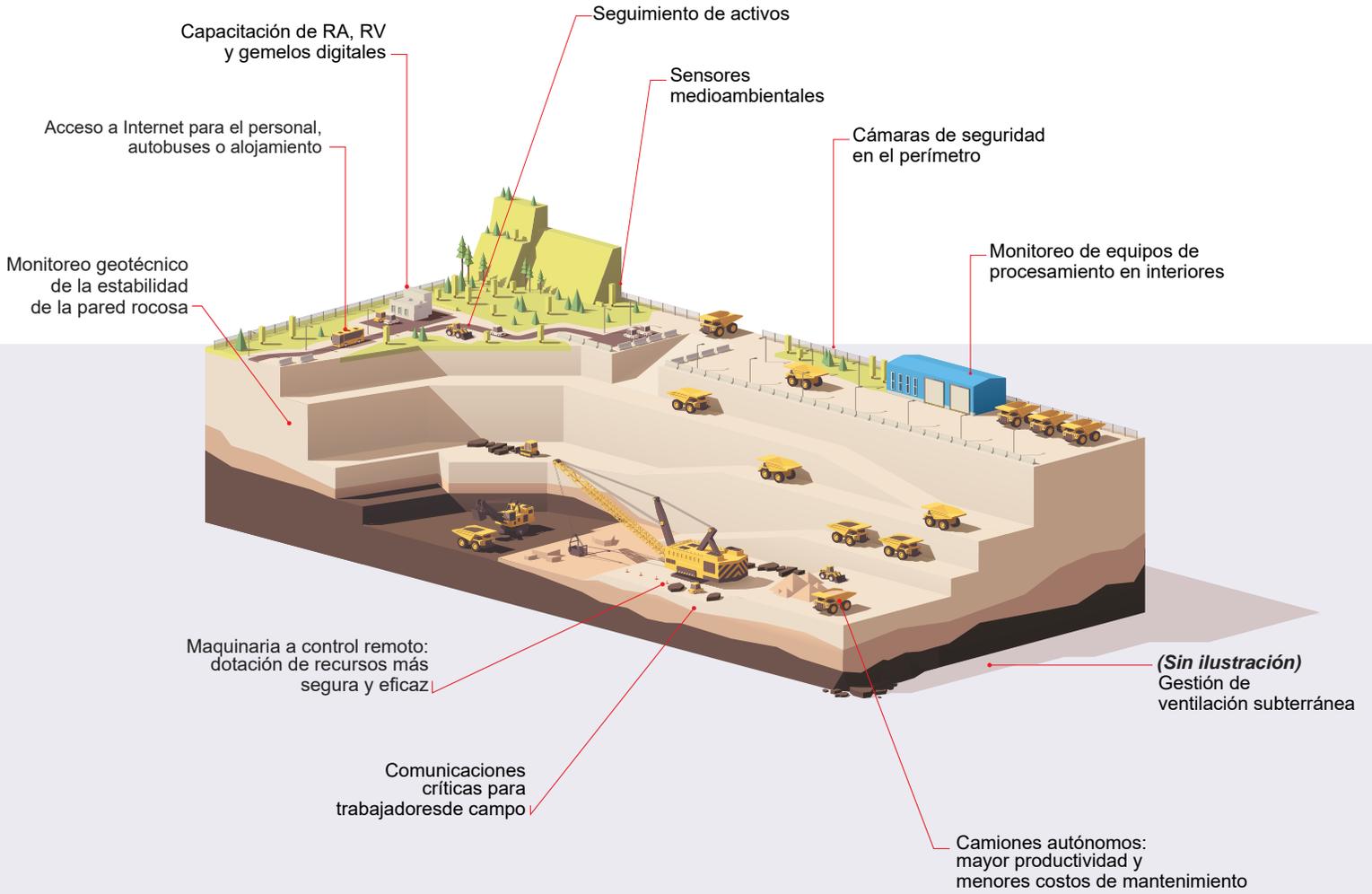




**Disruptive Analysis**

*Don't Assume*

## REDES PRIVADAS SELECCIONADAS 4G/5G CASOS DE USO EN UNA MINA



# Consideraciones prácticas y decisiones de despliegue de red

Esta sección considera una serie de problemas prácticos y técnicos relacionados con el despliegue de redes inalámbricas privadas en las minas:

- › Opciones de espectro
- › Consideraciones de planificación y diseño
- › Diversidad de tecnología de red

## Espectro

Un elemento clave para las redes privadas de las minas es el acceso a un espectro adecuado para 4G y 5G. Esto introduce una gran variedad de compensaciones en términos de cobertura, capacidad, costos, disponibilidad de dispositivos, políticas y reglamentos.

Para una cobertura de área amplia, las bandas inferiores a 1 GHz tienen el mejor alcance para las redes inalámbricas privadas, especialmente para admitir la capacidad de comunicaciones críticas para voz, sistemas de control o datos básicos o redes amplias de IdC.

El espectro de banda media entre 2 y 6 GHz suele ser óptimo para redes privadas medianas, como sitios específicos de hasta 10 km de alcance, pero también se puede ampliar para banda ancha a lo largo de carreteras, vías férreas o tuberías.

Las bandas superiores de ondas milimétricas se discuten ampliamente para 5G, pero tienen una propagación deficiente y, por lo general, un alcance muy corto, aunque su capacidad es muy grande. Actualmente, tienen una aplicabilidad muy limitada para la minería, aunque se podrían utilizar en plantas de procesamiento o para aplicaciones subterráneas específicas.

Históricamente, la mayor parte del espectro adecuado para redes celulares se ha otorgado de manera exclusiva a nivel regional o nacional a operadores de redes móviles (ORM), a menudo a través de procedimientos de subasta.

Por lo general, las empresas mineras han utilizado diferentes bandas (no celulares) para sus enlaces inalámbricos fijos en ubicaciones específicas. Se han utilizado las bandas de baja frecuencia y baja capacidad de los sistemas LMR y PMR para las comunicaciones críticas, que son adecuadas para el método pulsar para hablar.

En algunos casos, los operadores de redes centrados en la industria han adquirido tramos de espectro adecuados para redes privadas, especialmente en países que



Disruptive Analysis

Don't Assume

## Opciones de espectro para redes privadas 4G y 5G en la minería

ORM utiliza banda propia para redes privadas de clientes de minería	<ul style="list-style-type: none"><li>› La unidad empresarial del ORM crea o ejecuta redes para clientes de minería</li><li>› Red local dedicada o parcialmente compartida con redes públicas 4G y 5G</li></ul>
ORM arrienda espectro en minas remotas para uso privado	<ul style="list-style-type: none"><li>› ORM logra acuerdo comercial con red privada</li><li>› Utiliza la banda nacional convencional en una ubicación remota o subterránea</li></ul>
Licencias regionales disponibles en las bandas convencionales del espectro nacional	<ul style="list-style-type: none"><li>› Regulador ofrece licencias regionales o de áreas remotas en bandas normales</li><li>› Asequible por proveedores especialistas a través del proceso normal de subasta</li></ul>
Espectro industrial o de licencia compartida disponible en el país	<ul style="list-style-type: none"><li>› Nuevo régimen de bandas y licencias dirigido a redes industriales o verticales</li><li>› Ejemplos de CBRS de EE. UU., 3,7 GHz de Alemania y otros países</li></ul>
Bandas de espectro sin licencia (por ejemplo, 2,4, 5, 6 o 60 GHz)	<ul style="list-style-type: none"><li>› Se utiliza principalmente para wifi, redes industriales mallas o FWA</li><li>› También se puede utilizar para algunos despliegues privados de 4G y 5G</li></ul>

Noviembre de 2022 | Derechos de autor Disruptive Analysis Ltd 2022

subastan licencias regionales, como Canadá, Australia o en la zona económica extraterritorial de Noruega. Varios proveedores lo han utilizado para brindar conectividad en minas y yacimientos de petróleo o gas.

En ocasiones, las empresas mineras han obtenido licencias especiales para áreas remotas al negociar con los ORM o reguladores o cuando los Gobiernos han decidido que constituyen importantes prioridades nacionales. No hay riesgo de interferencia con las macrorredes en minas subterráneas, por lo que los departamentos de espectro de los operadores tienden a ser más complacientes si se puede obtener una ganancia financiera.

Sin embargo, estos acuerdos son las excepciones. Históricamente, la mayoría de las empresas o integradores especializados de sistemas han tenido poco acceso directo a estas bandas móviles convencionales y pocos dispositivos han admitido opciones de frecuencia más inusuales, que podrían haber estado disponibles.

Estos son algunos ejemplos de espectro local accesible para la industria:

**Tabla:** ejemplos de despliegues y pruebas de redes privadas 4G y 5G de transporte y logística

País	Bandas de espectro	Modelo de licencia
EE. UU.	3,55 a 3,7 GHz	Licencias por niveles y acceso dinámico a través de proveedores automatizados de SAS (Sistema de Acceso al Espectro). Las licencias de acceso prioritario se subastaron a nivel de condado. El acceso autorizado general es ampliamente utilizable
Alemania	3,7 a 3,8 GHz	Reservado para licencias de redes privadas localizadas, ya sea con equipos 4G o 5G. Los licenciatarios pueden solicitar derechos para ubicaciones específicas al regulador nacional (por lo general, para instalaciones del tamaño de un campus)
Francia	2,6 GHz 3,8 a 4,2 GHz	La sección de 40 MHz de la banda de 2,6 GHz se ha puesto a disposición para comunicaciones críticas y uso industrial de banda ancha. El nuevo uso de licencias locales en la banda 77 está evolucionando y se puede ampliar
Reino Unido	3,8 a 4,2 GHz 1,8 GHz 2,3 GHz	La banda de 3,8 a 4,2 GHz está disponible para uso local de 5G, sujeta a la protección de los titulares de licencias. También hay pequeñas asignaciones a 1,8 GHz y 2,3 GHz. Hay disponible otra clase de licencias para la reutilización secundaria acordada de las bandas de ORM existentes en ubicaciones específicas cuando no se utilizan
Japón	4,6 a 4,9 GHz	Licencias locales de 5G
Australia	1,8 GHz	30 MHz reservados para empresas y grupos comunitarios
Finlandia	2,3 GHz 26 GHz	Licencias locales para redes industriales y otros casos de usos
Chile	2,6 GHz	Redes locales ampliamente utilizadas para la minería. Además, la participación de los ORM permite el uso de bandas con licencia nacional
Dinamarca	3,7 GHz	El arrendamiento de ORM es posible, aunque raro
Canadá	Varias bandas posibles o bajo consulta	Las áreas remotas tienen proveedores de servicios industriales con varias licencias alrededor de los 700 a 950 MHz, pero Canadá también está considerando modelos de tipo CBRS
Taiwán	4,8 GHz	
China	Varias bandas con ORM o permiso del Gobierno	Participación común de China Mobile y otros ORM en proyectos industriales, con apoyo del Gobierno en la disponibilidad de espectro

Fuente: *Disruptive Analysis*

Esta situación está cambiando significativamente en gran parte del mundo, ya que hay más bandas disponibles y la compatibilidad con dispositivos y equipos de red 4G y 5G para múltiples bandas es más común. Cada vez más países ponen a disposición secciones del espectro de banda media para empresas mineras (así como para otras empresas). Por lo general, esto se basa en alguna forma de uso compartido del espectro, ya sea con licencias manuales o bases de datos para áreas y derechos de banda específicos. Los esquemas más conocidos son los de EE. UU. (CBRS), Japón, Alemania y Reino Unido, pero muchos otros países están explorando opciones similares (por ejemplo, Arabia Saudita y Canadá).

También hay un creciente interés por parte de algunos ORM convencionales en la creación de unidades de negocios o centros de competencia especializados en minería. Por lo general, crean redes con su licencia nacional de espectro, pero con bandas que a menudo no se utilizan en regiones remotas (por ejemplo, la división Vivo de Telefónica utiliza su asignación de 2,1 GHz en Brasil).

También vale la pena señalar el posible uso de bandas sin licencia en 2,4 GHz, 5 GHz y cada vez más en 6 GHz para redes privadas 4G y 5G, aunque la falta de protección contra interferencias puede limitar el alcance de las aplicaciones esenciales.

## Consideraciones de planificación y diseño

Las redes privadas en entornos mineros suelen ser muy diferentes a las instaladas en ubicaciones más predecibles, como fábricas, puertos o almacenes. Por lo tanto, la planificación y el diseño son una tarea muy especializada y específica del sitio, especialmente cuando se prueban o despliegan nuevas tecnologías como 5G.

Estas son algunas consideraciones que los integradores y el personal del proveedor de servicios deben tener en cuenta:

- **Escala física:** las plantas mineras pueden cubrir áreas de más de 10 km de radio, además de acceso adicional por carretera o ferrocarril y sitios como salas de procesamiento, centrales eléctricas y puertos. Las redes de túneles subterráneos pueden tener decenas o incluso cientos de kilómetros de longitud total. Esto presenta desafíos importantes para la planificación y el diseño de redes.
- **Ubicuidad y confiabilidad:** el uso de redes privadas para comunicaciones críticas y control remoto o autónomo de grandes vehículos mineros y maquinaria peligrosa hace que los períodos sin cobertura sean inaceptables. Esto puede implicar redundancia para que las ubicaciones tengan línea de visión a dos estaciones base o una planificación y prueba exhaustivas y continuas.
- **Metalistería:** es probable que la propagación inalámbrica en las minas se vea afectada por las características físicas de las máquinas y las estructuras (camiones de minería que pesan 400 toneladas o metales de grúas y cintas transportadoras) e incluso por los minerales metálicos en las paredes de los túneles.
- **Entornos subterráneos y de pozos:** los aspectos más difíciles de la propagación y cobertura de radio se relacionan con la topografía física de las minas (pozos profundos, túneles y pozos subterráneos o carreteras y vías férreas aisladas). Por lo tanto, se necesitan estudios y diseños exhaustivos.
- **Cambios en la red:** las minas son ubicaciones muy dinámicas y tienen requisitos inalámbricos que cambian significativamente con el tiempo. Es posible que se abran nuevas vetas mineras y túneles subterráneos, se cierren los más antiguos y se mueva la maquinaria. Se pueden construir nuevas vías de acceso o profundizar y ampliar los pozos. Por lo tanto, la planificación de redes inalámbricas puede ser un proceso continuo.
- **Explosivos y gases:** las empresas mineras utilizan explosivos para voladuras de rocas en muchos sitios. Por lo tanto, se tienen que mover los equipos temporalmente para evitar daños y se necesitan certificaciones (como ATEX) y diseños específicos para evitar emisiones de radiofrecuencia o chispas eléctricas peligrosas que podrían encender fugas de metano.

- **Restricciones de red de retorno:** es posible que algunas minas no tengan una buena conectividad de fibra para la red de retorno y transporte a la red principal de telecomunicaciones. Pueden ser estrictamente remotas y depender de enlaces satelitales o de microondas de larga distancia.
- **Redes inalámbricas sobre el suelo:** cada vez se utilizan más los drones en la minería para la vigilancia de la seguridad, el monitoreo de las condiciones medioambientales o el cálculo de los niveles de las pilas de acopio. Por lo tanto, las redes privadas tienen que brindar cobertura tanto sobre el suelo como bajo la superficie.
- **Arquitectura de fibra y núcleo:** es probable que haya restricciones sobre dónde se puede desplegar la fibra (tanto sobre el suelo como bajo tierra) y dónde hay ubicaciones seguras para los elementos de la red central, computación frontera y transporte óptico. A su vez, esto puede definir parámetros para las ubicaciones de las unidades de radio y otros activos.
- **Diversos usos:** las redes privadas tienen que manejar datos de gran rendimiento (por ejemplo, de cámaras que monitorean áreas relacionadas con la seguridad) y sensores muy dispersos de IdC que consumen poca energía y generan pequeñas cantidades de datos. Algunos usos son fijos y otros móviles. Por lo tanto, se tienen que combinar redes de banda ancha 4G o 5G con LTE-M de banda estrecha o NB-IdC.



## Diversidad de red

Si bien las redes privadas 4G y 5G se están volviendo más importantes en la minería, los sitios seguirán siendo muy “diversos” en términos de tecnologías de red desplegadas y utilizadas. Un sitio típico puede incluir:

- Redes privadas 4G y 5G, como se describen en este informe
- Cobertura de redes públicas 4G y 5G en algunos lugares, especialmente en los alojamientos y las carreteras y comunidades cercanas
- Wifi, especialmente en áreas interiores, como almacenes y oficinas
- Redes industriales malladas (a menudo similares o integradas con wifi)
- Redes propietarias de máquinas, drones o vehículos específicos
- Redes inalámbricas de bajo consumo, como LoRa, que se utilizan para sensores de IdC
- Radios LMR y PMR, como P25 y TETRA
- Bluetooth para balizas de ubicación o posicionamiento

- Enlaces fijos de microondas
- Opciones satelitales, que están evolucionando rápidamente desde usos de nicho, hasta compatibilidad con conexiones inalámbricas de banda ancha, IdC de bajo consumo y conexiones directas a teléfonos inteligentes
- Diversos tipos de conectividad fija y de fibra, especialmente para equipos estáticos

Muchas de estas tecnologías de red están integradas en sistemas heredados o las ofrecen proveedores específicos. Pocas serán reemplazadas de la noche a la mañana por redes 4G y 5G, incluso cuando esa sea la dirección prevista; es probable que haya un período de migración y quizás soluciones híbridas.

Por lo tanto, las empresas mineras, los integradores y los proveedores de servicios deberán considerar redes diversas y heterogéneas, lo que puede agregar costos y requerimientos de habilidades. Sin embargo, el progreso hacia las redes inalámbricas privadas (especialmente 4G y 5G) es seguro y esencial para la futura productividad, seguridad y sustentabilidad de la minería.





[www.ibwave.com](http://www.ibwave.com)