



Redes privadas para el sector de fabricación

Las interiores mejores y prácticas exteriores.

Un eBook diseñar de redes liderazgo privadas analítico de Disruptive Analysis.

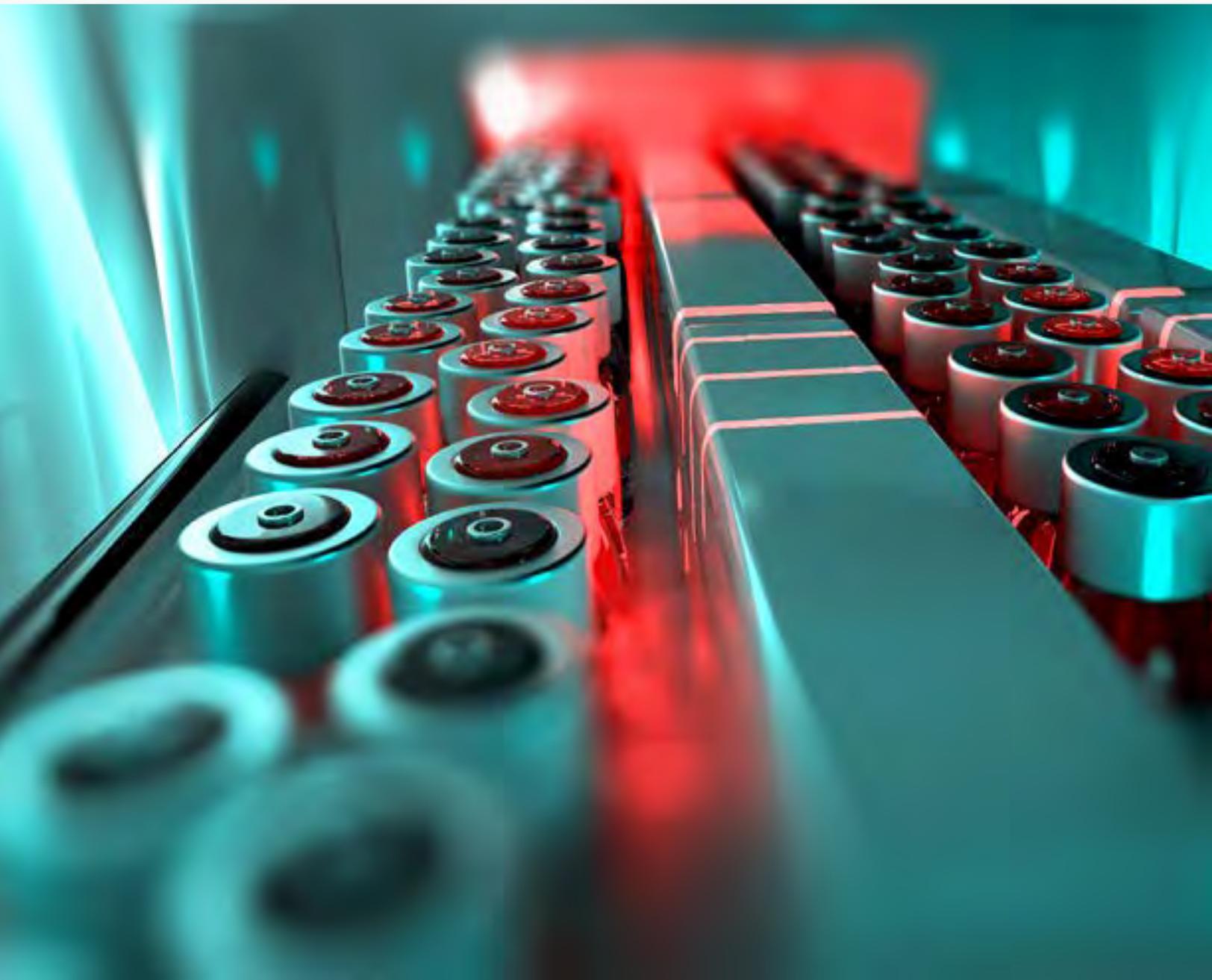


Disruptive Analysis



Índice

Resumen.....	3
Definición del sector de fabricación	4
Principales retos y factores del mercado	5
Casos prácticos de 4G/5G en la fabricación	8
¿Por qué implantar redes privadas?	14
Opciones y tendencias del espectro.....	16
Conclusiones y futuro a largo plazo	19



Resumen

El sector fabricante es una de las industrias más prometedoras para las redes privadas emergentes LTE y 5G, así como tecnologías adyacentes como la computación periférica y las nuevas versiones de Wi-Fi6E/7.

Las empresas de este sector están instalando muchas aplicaciones con requisitos muy exigentes de conectividad inalámbrica en términos de ancho de banda, latencia predecible, seguridad y tiempo de actividad. Debido a las instalaciones bien definidas y a un ecosistema de proveedores cada vez mayor, los fabricantes se están convirtiendo rápidamente en un objetivo clave para las empresas de servicios inalámbricos privados y los proveedores de soluciones.

Algunos subsectores, como las grandes fábricas de vehículos o electrónica fuertemente automatizadas, parecen los más avanzados. Las plantas de proceso continuo, como las de producción de cemento y acero, han adoptado menos estas tecnologías hasta ahora, pero tienen un importante potencial a medio plazo. La fabricación a pequeña escala o artesanal probablemente se quede rezagada.

A diferencia de muchas industrias, algunas empresas de fabricación cuentan desde hace tiempo con una sofisticada infraestructura de red, a menudo integrada con sistemas de IdC (Internet de las cosas) y automatización ("TO" o Tecnología Operativa"), así como otras necesidades más convencionales de TI y telecomunicaciones. Tradicionalmente, ha habido un amplio uso de tecnologías especializadas como Ethernet Industrial, así como una variedad de sistemas inalámbricos especializados y patentados.

Dicho esto, otros fabricantes siguen siendo relativamente "análogos", con procesos manuales y sistemas desconectados. Se están "transformando", aunque los avances varían mucho de un país a otro y de un sector a otro.

Básicamente, lo que está ocurriendo es una forma de convergencia:

- Las redes inalámbricas están migrando a tecnologías estándar, sobre todo 4G y 5G celular. Estas redes se están "democratizando" fuera de los operadores de redes móviles tradicionales gracias a los cambios en la disponibilidad de espectro y equipos. Las empresas, por ejemplo, están cada vez más capacitadas (y dispuestas) a crear sus propias redes privadas o a encargarlas a proveedores especializados.
- Los recursos de fabricación están cada vez más conectados, controlados por datos e interconectados a través de amplias cadenas de suministro. Una serie de programas de transformación industrial (y tendencias sociales más amplias) impulsan la necesidad de más y mejor conectividad.

En conjunto, esto está creando una combinación perfecta de oferta y demanda de redes móviles privadas para TO, IoT general y necesidades operativas. En este documento se describen los principales casos prácticos, escenarios de instalación y caminos hacia las redes 4G y 5G privadas en fábricas y plantas industriales similares.

Aunque este informe se centra en los aspectos radioeléctricos de la 4G/5G privada, es importante reconocer que el ecosistema más amplio (desde las redes centrales hasta la computación periférica y los sistemas de planeación/diseño/pruebas) está evolucionando al mismo tiempo con un enorme ecosistema de integradores de sistemas y especialistas verticales. En el sector de la fabricación, organizaciones como la 5G-ACIA (Alianza para las Industrias Conectadas y la Automatización) están definiendo las mejores prácticas y una terminología normalizada.



Definición del sector de fabricación

Este informe abarca numerosos subsectores y tipos de centros de fabricación. Aunque hay muchas características y factores de mercado comunes (especialmente su inclusión como parte de la visión de la Industria 4.0), también hay claras diferencias en el tamaño físico y la distribución de las instalaciones, así como en las plataformas de maquinaria y aplicaciones, la supervisión normativa y la conservación de la tecnología.



eBook son los siguientes:

- > **Fabricación discreta**, que incluye la producción de artículos individuales, como coches y otros vehículos, hardware de tecnología, herramientas y máquinas, muebles, aparatos eléctricos y electrónicos y una amplia gama de otros bienes.
- > **Fabricación por procesos**, que se refiere a las plantas que crean flujos continuos de productos, incluidos los sectores de productos químicos, fertilizantes, cemento, metales, plásticos, revestimientos y algunos alimentos/bebidas.
- > **Servicios auxiliares para la fabricación** incluido el diseño de productos, software especializado, así como el montaje y mantenimiento de instalaciones.

La logística, el transporte y el almacenamiento son muy importantes en la cadena de suministro del sector de fabricación, pero se abordarán en otro eBook.

En general, las industrias de procesos suelen necesitar grandes plantas, a menudo en continuo funcionamiento, y quizás con materiales peligrosos como líquidos inflamables y gases a presión. La fabricación discreta se realiza a una escala más amplia, desde pequeños artesanos independientes hasta las mayores fábricas de automóviles o de semiconductores.

Es importante tener en cuenta que las grandes fábricas y plantas de fabricación tienen varios tipos de máquinas y equipos que hay que conectar, desde soldadoras a hornos industriales, y desde grúas de interiores a robots móviles y sistemas de cintas transportadoras. Algunos se mueven, otros son estáticos.

Algunos son equipos antiguos (heredados) con interfaces no estandarizadas y capacidades mínimas de computación/datos integrados, mientras que otros son unidades completamente nuevas diseñadas teniendo en cuenta la IA y el control en la nube/de vanguardia. En muchos casos, las "máquinas" pueden tener numerosos elementos internos conectados en red, como cámaras, sensores y controladores, además de conectarse de forma externa a otras máquinas o a sistemas informáticos externos.

En otras palabras, la fabricación es muy heterogénea. Aunque una nueva fábrica de vehículos eléctricos o de semiconductores podría ser un proyecto totalmente nuevo, es más la excepción que la regla. Muchos proyectos de redes se llevarán a cabo en edificios ya existentes, quizá añadiendo una nueva máquina o proceso, o adaptando sensores y sistemas analíticos a la maquinaria existente.

Principales retos y factores del mercado



La demanda de redes privadas en el sector de fabricación está generada, básicamente, por una serie de cambios nacionales y mundiales importantes. En general, todos ellos generan una mayor necesidad de conectividad, control y flujos de información, lo que se traduce en más redes 4G y 5G, así como Wi-Fi, fibra y servicios de red de área extensa.



Nota: "Industria 4.0" se suele utilizar como término general para referirse a una serie de transformaciones conectadas e inducidas por la información en la industria de fabricación y otros sectores industriales. También llamado a veces "digitalización", se refiere a un amplio avance hacia la automatización, la conexión de los dominios de TI y TO ("Tecnología Operativa") y la creciente importancia de los dispositivos y sensores conectados (IdC, Internet de las Cosas).

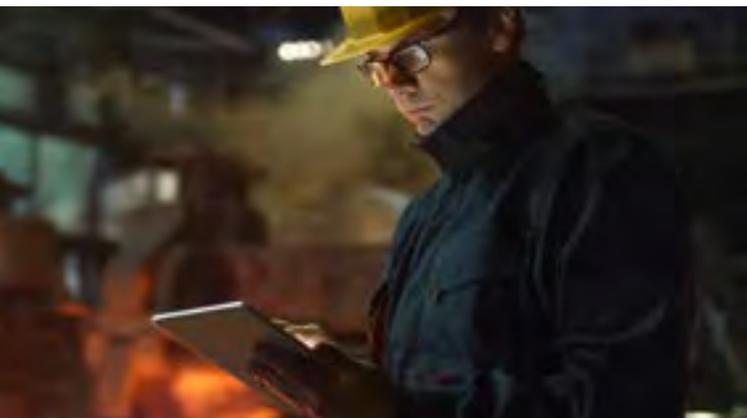


Algunas de las principales "megatendencias" de la industria de fabricación son:

- **Automation and robotics:** como ya se ha dicho en este eBook, las plantas de fabricación están cadavez más automatizadas. Aunque las líneas de producción automatizadas y los robots no son nuevos, se están mejorando rápidamente, con nuevas capacidades como la fabricación aditiva (impresión 3D), los vehículos de guiado automático (AGV, en inglés) y los sistemas de control de calidad por video que pueden detectar defectos y mejorar los rendimientos.
- **Productos nuevos:** New se están construyendo nuevas plantas de fabricación para elaborar productos industriales emergentes. Un claro ejemplo es el crecimiento de las "gigafábricas" de vehículos eléctricos y sus baterías, o las instalaciones que fabrican células solares fotovoltaicas y turbinas eólicas. Otras plantas se están readaptando, como los distintos sectores que cambiaron de rumbo para empezar a producir Equipo de Protección Personal (EPP) durante la pandemia. Esto hace que en el futuro las plantas deban ser flexibles y reconfigurables.



- **Productos con software:** otra tendencia en la fabricación es la mezcla de productos físicos con la gestión y el control por software/nube. Los vehículos dependen mucho de sus computadoras y pantallas integradas, y de la posibilidad de descargar actualizaciones. Cada vez más productos fabricados, desde electrodomésticos hasta aviones, utilizarán software. Tendrán que probarse, actualizarse y configurarse antes de salir de fábrica y también en la práctica.
- **Mayor seguridad y productividad de los empleados:** Hay mucha menos tolerancia con los accidentes laborales que en el pasado. Gracias a la automatización y a una mejor información, los responsables de las plantas buscan aumentar la productividad de los trabajadores al mismo tiempo que mejoran la seguridad. La seguridad tiene muchas fases, desde el uso adecuado de la maquinaria y las herramientas hasta la respuesta rápida ante cualquier incidente, pasando por la mejora de los registros y la



capacitación. La comunicación fiable entre los trabajadores, sobre todo en las zonas peligrosas de las plantas, es fundamental, utilizando tanto la voz (comunmente con push-to-talk) y una creciente necesidad de videocomunicaciones y acceso fiable a las aplicaciones empresariales.

- **Cambio climático y descarbonización:** en la próxima década, muchas empresas fabricantes tendrán que hacer frente a profundos cambios a medida que el planeta se aproxime a las emisiones netas de carbono cero. Se cerrarán instalaciones antiguas, se construirán otras nuevas y una amplia gama de nuevos enfoques modificará los procesos industriales. Sectores como la producción de cemento, acero, fertilizantes y aluminio necesitarán cambios masivos, ya que dependen mucho de los combustibles fósiles. Todas las plantas nuevas (y muchas de las antiguas) necesitan más conectividad para supervisar, controlar, recopilar datos y elaborar informes sobre el uso de la energía.
- **Geopolítica, deslocalización y resistencia de la cadena de suministro:** Acontecimientos recientes como la guerra comercial entre Estados Unidos y China, la pandemia de la COVID y la guerra entre Rusia y Ucrania han destacado los riesgos de las cadenas de suministro mundiales (y a menudo frágiles) ante acontecimientos externos perturbadores, así como los aranceles a la importación. En los próximos años, muchos países crearán más opciones de fabricación nacional o regional para productos que van desde los semiconductores hasta los productos médicos.
- **Ciberseguridad:** Los retos de seguridad son cada vez más complejos. Los antiguos sistemas informáticos y operativos se reforzarán o retirarán si presentan vulnerabilidades, mientras que las redes necesitarán mayor resistencia y redundancia. Las redes inalámbricas podrán utilizarse como reserva en caso de fallo de los cables u otros enlaces.
- **Datos y análisis:** las empresas fabricantes están transformando con rapidez las instalaciones y equipos analógicos heredados. Los equipos mejor conectados, los sensores IoT y los videos pueden mejorar la gestión de activos, facilitar el diagnóstico y la solución de averías y optimizar el mantenimiento. La captura de datos se transmitirá en cascada a los cuadros de mandos de toda la fábrica o de toda la operación, lo que permitirá a los responsables supervisar las operaciones generales y hacer frente a los fallos o problemas de la cadena de suministro en tiempo real.
- **Nuevos modelos de negocio:** las fabricas buscan nuevas fuentes de ingresos para contrarrestar los gastos de modernización de sus infraestructuras. Muchas nuevas empresas potenciales estarán conectadas, o incluso se basarán en el desarrollo de "redes semiprivadas" con clientes externos.
- **Mantenimiento preventivo y gestión de activos:** El impacto del tiempo de inactividad de una máquina, o de toda una planta de producción, puede ser enorme. Al usar la información y los sensores en red se abre una gran oportunidad para el "mantenimiento preventivo": solucionar problemas emergentes antes de que se conviertan en críticos o programar el mantenimiento periódico cuando sea necesario, en lugar de hacerlo siguiendo un calendario genérico. Por ejemplo, la incorporación de sensores de vibración y temperatura puede alertar de problemas cuando se detecten lecturas anormales.

Todos estos factores, así como las tendencias específicas de cada empresa o país, se combinan para hacer que las redes necesiten ser:

- De alta capacidad y baja latencia: lo ideal sería una latencia predecible (“determinista”) para máquinas con requisitos de comunicación muy sensibles al tiempo requirements.
- Inalámbricos siempre que sea posible, para permitir la movilidad (por ej. AGVs), además de ofrecer una mayor flexibilidad en la disposición de la planta, en comparación con el cableado de fibra a lugares o máquinas específicos.
- Estandarizados en la medida de lo posible, con una cadena de suministro y un amplio abanico de competencias.
- Capaces de permitir la interoperabilidad tanto en la red como en términos de protocolos para la mensajería entre distintos sistemas industriales, a menudo con diversas limitaciones heredadas.
- Accesibles en todas partes, como servicio o de forma privada.
- Seguras y resistentes
- Adecuadas tanto para grandes empresas fabricantes y pequeños proveedores y socios, e incluso consumidores y “pro-sumidores”.
- De bajo costo (o al menos predecible) por cada sitio o dispositivo.

También es necesario que los nuevos sistemas de red (como 5G o Wi-Fi6/6E) se integren con los tipos de conectividad heredados. Esto abarca muchos tipos diferentes de redes, tanto alámbricas como inalámbricas.

Habrán muchos nombres de tipos de cableado y protocolos de comunicaciones que resulten desconocidos para quienes estén acostumbrados a las redes Wi-Fi estándar o a los sistemas de cableado de fibra ordinarios: por ejemplo, las redes ModBus y Profinet para sistemas industriales, o los protocolos de mensajería MQTT y OPC UA. Las redes de IP distan mucho de ser omnipresentes.

Además, hay que tener en cuenta numerosas razones y normativas sobre blindaje eléctrico, seguridad, etc., pensemos, por ejemplo, en las posibles interferencias de radiofrecuencia de las máquinas de soldar o las partículas metálicas en el aire.

Esto implica que la adopción de nuevas tecnologías inalámbricas como 5G y Wi-Fi6E llevará tiempo, sobre todo porque estas tecnologías aún están evolucionando. Muchas de las características propias de la “Industria 4.0” de la 5G no estarán disponibles hasta el futuro, con las posteriores versiones 16 / 17 / 18 del 3GPP. Esto supone que a menudo se utilizarán múltiples tecnologías juntas, con una variedad de enfoques de integración o puertas de enlace necesarias.

(Aparte de lo expuesto en este documento, se está produciendo una gran cantidad de cambios adicionales en la gestión y el control de las redes, incluyendo las redes centrales y los sistemas operativos basados en la nube y periférica).



Casos prácticos de 4G/5G en la fabricación

Redes privadas para el sector de fabricación | eBook 8
En vista de la estructura del sector y de los cambios señalados, el presente informe aborda dos tipos de preguntas:

- ¿Qué casos prácticos son idóneos para la conectividad celular 4G y 5G?
- ¿Cuándo es más adecuada una red 4G/5G privada que un servicio de red pública de un operador móvil? [Nota: algunas empresas de telecomunicaciones ofrecen ahora redes totalmente “privadas” a sus clientes empresariales]

Esta sección presenta algunos de los casos de uso emergentes que pueden aprovechar la conectividad celular en el sector de la fabricación, especialmente los fabricantes de automóviles y los sectores electrónico y químico, que son probablemente los mayores clientes de 4G/5G privado en la actualidad.

Aunque probablemente haya cientos de aplicaciones en

total (y algunas, como la informática de oficina general, se omiten por concisión), las siguientes son típicas de las aspiraciones de muchas empresas de estos sectores.

Sistemas de seguridad para los trabajadores

Una aplicación esencial de las redes privadas en fábricas u otros entornos industriales es permitir a las empresas mantener la seguridad de los trabajadores de forma más eficaz. Hay una serie de elementos que requieren una buena conectividad:

- Botones de apagado de seguridad seguros y conectados de forma inalámbrica: utilizados para detener los sistemas automatizados si un trabajador está en peligro.
- Cámaras de video y análisis para garantizar que se cumplen las normas de seguridad (por ejemplo, el uso de cascos protectores), o para observar de forma activa si se producen situaciones peligrosas, como fugas o humo.
- Sistemas de detección de proximidad y barreras virtuales, que pueden impedir que los robots o los vehículos se acerquen a los trabajadores humanos.
- Supervisión en tiempo real de la salud de los trabajadores (seguimiento de la actividad cardíaca, detección de caídas, etc.), especialmente en las zonas más peligrosas de una planta, o para trabajadores aislados.

Dependiendo del lugar en cuestión, estas funciones pueden ser necesarias tanto en el interior de edificios como en el exterior, e incluso en zonas subterráneas o en el interior de grandes equipos, como tanques de almacenamiento.

Las redes 4G/5G privadas permiten una conectividad fiable, con una cobertura personalizada y una garantía de tiempo de actividad que sería difícil obtener de las redes públicas.



Nuevas aplicaciones de TI/TO que exigen conectividad

Seguridad de los trabajadores Funciones de proximidad y apagado de seguridad	AGV Vehículos de guiado automático	RA/RV Realidad aumentada y virtual
Sistemas de automatización Control de maquinaria de producción industrial	Robótica Robotic Assembly, Welding, etc.	Visión artificial IA por imágenes para el control de calidad en tiempo real
Supervisión de procesos Supervisión y Bucle cerrado	Ubicación Localización y posicionamiento precisos de activos	HMI Interfaces hombre/máquina (paneles de control)
Site-Wide Networks Comunicación con el personal, y acceso a Internet y a la nube	Doble digitalización Datos de sensores y modelos de plantas virtuales	Videovigilancia Site Security

+ más vehículos, drones y cientos más

Vehículos de guiado automático (AGV, en inglés)

En diversos sectores industriales se utilizan robots móviles para desplazar materiales, equipos o componentes, ya sea dentro de una fábrica o almacén o entre ellos. Estos vehículos de guiado automático o AGV, por sus siglas en inglés, generalmente recorren rutas específicas y se mueven bastante despacio por motivos de seguridad, separados de los trabajadores humanos. Sin embargo, cada vez más pueden utilizar cámaras o sensores conectados para analizar su entorno y poder circular con seguridad por los mismos espacios que los operarios humanos.

El guiado y control mediante 5G permite a los vehículos de guiado automático desplazarse con seguridad y rapidez por la planta, así como interactuar de forma precisa con otras máquinas, como cintas transportadoras, sistemas de elevación o puntos de carga eléctrica. La capacidad URLLC (Ultra Reliable Low Latency) y las cámaras instaladas permiten la integración y supervisión periférica y en la nube, o la conducción remota.

Procesos y capacitación en RA / RV

Los centros de fabricación ya demuestran ser los primeros en adoptar la tecnología de realidad aumentada y virtual, un

campo que también empieza a rebautizarse como “tecnología del metaverso”. Los cascos de realidad aumentada y otros dispositivos permiten a los operarios trabajar con las manos libres en tareas complejas, al mismo tiempo que ven las instrucciones de montaje o mantenimiento y los datos mostrados en sus campos de visión. Aunque el Wi-Fi tiende a predominar en estos casos prácticos, el 4G/5G está cobrando importancia en escenarios al aire libre o en lugares con congestión de red e interferencias.

Los diseñadores pueden utilizar la RV para visualizar nuevos conceptos de producto o “recorrer” una fábrica virtual para ver y configurar posibles nuevos diseños de procesos y maquinaria. Las simulaciones pueden detectar el comportamiento de los trabajadores en nuevos procesos industriales o ayudar a los diseñadores a entender la ergonomía de nuevos productos antes de construir prototipos físicos. Una amplia variedad de tareas de formación pueden beneficiarse de las técnicas de RA/RV.

La conectividad 4G/5G (así como la Wi-Fi/6E) puede permitir también la transmisión de RA en tiempo real con algunas tareas gráficas descargadas en recursos informáticos periféricos. Esto reduce la potencia de procesamiento necesaria en el propio casco o tableta, lo que prolonga la duración de la batería o reduce el peso necesario. Aunque hoy en día pocos cascos son directamente compatibles con 5G, pueden conectarse a un módem inalámbrico o a un punto de acceso Wi-Fi.



Sistemas de automatización

El núcleo de muchas fábricas, sobre todo de automóviles y alta tecnología, es la automatización. Aquí hay múltiples capas de computación y comunicaciones, desde el control de máquinas individuales mediante PLC (controladores lógicos programables), hasta amplios procesos de varios pasos que intervienen en toda una línea de producción.

Todo esto necesita conectividad. En especial, las máquinas o procesos específicos suelen tener requisitos de extrema fiabilidad, así como requisitos de latencia baja (y determinista). Aunque en el pasado se han utilizado ampliamente las conexiones por cable de fibra y diversas soluciones patentadas, el 5G ofrece la posibilidad de una mayor flexibilidad y/o menores costos en el futuro. No obstante, hay que recalcar que las fábricas de "solo 5G" son muy poco probables. La mayoría de los proveedores de sistemas de automatización trabajan con varios tipos de red, integrando la más adecuada para cada máquina y aplicación.

Dicho esto, se necesitarán pruebas estrictas y una buena planeación de la instalación para garantizar la fiabilidad, teniendo en cuenta los gastos que supone el "tiempo de inactividad". Es probable que las empresas de fabricación más avanzadas se inclinen por redes privadas dedicadas para la automatización.

Además, las plantas de fabricación avanzadas siguen evolucionando. Buscan fábricas más flexibles, en las que la maquinaria de producción pueda trasladarse o actualizarse sin necesidad de nuevos cables. Recopilan más datos de sensores para mejorar la productividad y el mantenimiento preventivo. Todo ello apunta a una infraestructura inalámbrica mejor y más rápida.

Supervisión de procesos y gestión de la cadena de suministro

A un nivel superior al de los sistemas de producción individuales, las grandes fábricas desean tener una visión global de todas sus operaciones, las cuales pueden abarcar múltiples plantas (tal vez dispersas a escala internacional) y socios.

Mediante la recopilación de datos operativos "desde la base" y su cotejo en cuadros de mando que abarquen múltiples centros y elementos de la cadena de suministro, las empresas podrán mejorar el sistema "justo a tiempo" y otras técnicas de gestión de inventarios y optimización del rendimiento. Evidentemente, esto irá más allá de la

conectividad 4G/5G privada: requiere una recopilación de datos mejorada mediante todos los medios de la red en el lugar, así como enlaces de zonas amplias entre diferentes edificios de producción.

Ya hay algunos operadores y proveedores de servicios en la nube que intentan ofrecer este tipo de soluciones. Ya hay una fuerte integración de la telefonía móvil privada con diversas formas de computación en la nube/periférica. Es muy probable que esta integración se amplíe con el uso más generalizado de análisis IoT, sistemas ERP (planeación de recursos empresariales) y otras plataformas que, al final, aprovechan las redes privadas, los sensores y la alimentación de datos en tiempo real.

Robótica

Aunque algunas industrias, como la fabricación de automóviles, utilizan desde hace tiempo sistemas robotizados, muchos otros subsectores están mucho menos automatizados.

Actualmente se dan varias tendencias:

- "Democratización" de robots en la industria de fabricación, conforme disminuyen los precios y aumentan las necesidades de automatización.
- Los robots industriales cada vez están más interconectados e instrumentados, con más sensores, cámaras y sistemas de retroalimentación, además de grandes flujos de datos/telemetría. Esto requiere conectividad en tiempo real.
- Cambio de los procesos de fabricación en algunas industrias, como nuevos robots para la soldadura precisa necesaria para la fabricación de vehículos eléctricos.
- Más movilidad de los robots, mezclando sus funciones con las de los AGV ya mencionados.



Todo esto está generando la necesidad de más (y mejor) conectividad inalámbrica para la robótica. Una vez más, la 5G se considera un factor importante en muchos casos.

Además, la mejora de las capacidades de localización y posicionamiento de la 5G permitirá una mayor precisión en la detección de proximidad entre humanos y robots móviles. En el futuro, es posible que también veamos "centauros", colaboraciones de robots y humanos para tareas específicas.

Control de calidad mediante visión artificial

Cada vez se utiliza más el video en los procesos de fabricación. Las cámaras se utilizan para inspeccionar la línea de producción, lo que puede reducir las mermas, mejorar la calidad del producto final y aumentar el rendimiento.

Existe una amplia gama de enfoques mejorados por IA que pueden analizar patrones o detectar defectos, como grietas, de formas que los trabajadores humanos no podrían hacer. Los sistemas de visión artificial instalados localmente o en otro centro de computación periférica pueden analizar imágenes para detectar soldaduras mal formadas o señales infrarrojas de otros problemas.

Métodos como la fabricación aditiva (impresión 3D) o la soldadura de precisión requieren una estricta supervisión de la calidad en todo el proceso. Esto permite corregir errores al

instante o rechazar productos parcialmente acabados sin perder más tiempo ni materiales caros. No obstante, para ello es necesario comunicar y procesar con rapidez enormes cantidades de datos, ya que la corrección de problemas debe hacerse en cuestión de milisegundos.

La fiabilidad, latencia y velocidad de transmisión de la red 5G son ideales para transmitir video en tiempo real desde cámaras de alta definición, especialmente en lugares difíciles de conectar con cable de fibra.

Se trata de un caso práctico fundamental para la 5G privada, sobre todo porque estas funciones suelen darse en interiores y en zonas que necesitan una cobertura de red personalizada por la maquinaria, el hormigón y otros componentes de la estructura del edificio.

Localización y posicionamiento precisos de los activos

La localización de activos y el posicionamiento en tiempo real tienen numerosas aplicaciones en los entornos de fabricación. Los robots y los AGV tienen que llevar material desde ubicaciones específicas en las estanterías del almacén u otros almacenes hasta máquinas o cintas transportadoras concretas. Tienen que acoplarse de forma precisa a las estaciones de carga, localizar con exactitud cualquier avería y garantizar distancias seguras con las personas y la maquinaria delicada. Es necesario seguir y localizar las herramientas, así como otros activos, como los carros, que se desplazan con frecuencia.

Esto mejora la productividad de la fábrica y el uso de los activos, además de reducir el riesgo de robo gracias a la "geovalla" dentro de los límites especificados. Las tecnologías de seguimiento también contribuyen al mantenimiento preventivo, al garantizar que los artículos se almacenan en las ubicaciones correctas.

Ya se pueden utilizar diversas tecnologías inalámbricas (incluidos los despliegues privados de 4G NB-IoT) para el seguimiento de activos, pero la localización en tiempo real, especialmente en interiores, es difícil.

Las posteriores versiones de 5G, especialmente la versión 17 del 3GPP en adelante, harán posible un seguimiento muy preciso de la ubicación, con un posicionamiento a escala centimétrica. En una red privada bien diseñada, esto tendría múltiples usos en la fabricación.

Paneles de control móviles

En la industria, los paneles de control (también llamados interfaces hombre-máquina o "HMI", en inglés) son pantallas electrónicas con las que los operarios pueden supervisar y controlar sistemas de automatización, desde máquinas



individuales hasta líneas de producción completas. También suelen incluir botones de apagado de seguridad para intervenir al instante en situaciones peligrosas.

En muchos casos, las HMI se conectan alambéricamente de forma directa a los sistemas, pero cada vez es mayor el deseo de un funcionamiento sin sujeción, con conexiones inalámbricas que hacen que los dispositivos parezcan tabletas reforzadas convencionales. Aunque estos paneles pueden utilizar Wi-Fi, en algunos casos la fiabilidad y las características de baja latencia del 5G pueden ser una ventaja, además de permitir su uso por personal que trabaje a distancia o en exteriores.

Como en varios de los casos prácticos analizados en esta sección, el aspecto de seguridad crítica de estos paneles de control tiende a hacer que la 5G privada (siempre que sea posible) sea más deseable que las redes públicas.

Redes y comunicación entre los trabajadores de las instalaciones

Actualmente, muchas implementaciones de 4G/5G privado en la industria de fabricación tienden a utilizarse únicamente en edificios concretos, o incluso para procesos o máquinas individuales. Sin embargo, así como ocurre en otros sectores como el de los puertos, con el tiempo algunas plantas enteras dispondrán de redes para todas las instalaciones (o "campus"), que tal vez cubran tanto las zonas exteriores como las interiores. Estas redes podrían permitir múltiples aplicaciones y funciones de servicio, pero a un nivel de cobertura más amplio. Por ejemplo, podrían incluir:

- **Operaciones:** como el seguimiento/localización de activos, "conocimiento de la situación" de aspectos medioambientales relevantes, como el estado meteorológico, o el control de vehículos en todas las instalaciones.
- **Seguridad y protección:** cámaras, detección de intrusos, detectores de humo e incendios, etc.
- **TI de uso general** como Internet y conectividad en la nube para los empleados de las instalaciones en interiores y exteriores, o la gestión de la cadena de suministro de piezas y materiales.
- **Comunicación de los trabajadores:** como voz o video con push-to-talk (PTT), sistemas de alerta y varias formas de colaboración y comunicaciones unificadas".

Para ello se necesita cobertura en amplias zonas, como las mayores plantas de fabricación de varios kilómetros de tamaño, así como en el interior de almacenes, vehículos y talleres. Las redes celulares 4G/5G son más flexibles que las radios VHF tradicionales o los sistemas PMR (radio móvil privada), y admiten

aplicaciones de datos con mucha mayor capacidad. El Wi-Fi puede utilizarse en plantas pequeñas, pero es menos viable para las instalaciones más grandes.

Sensores inteligentes y doble digitalización

La doble digitalización, o "digital twins" son socios virtuales de maquinaria real, o incluso de plantas enteras. Mediante la instrumentación de sistemas de automatización u otros activos de producción con sensores, y con la captura de datos directamente de los controladores, es posible crear versiones simuladas de equipos reales.

Estos "dobles" pueden utilizarse para afinar el rendimiento y la producción, observar señales de problemas inminentes y realizar un mantenimiento preventivo, u optimizar aspectos como el consumo de energía. Al contrastar los datos de varios equipos similares, pueden detectarse errores de manejo o fallos de diseño que podrían corregirse o modernizarse.

Los requisitos de conectividad de estos sistemas son muy variados y, obviamente, dependen de factores como la movilidad. Paradójicamente, algunas máquinas antiguas pueden utilizar sensores externos conectados de forma inalámbrica (como monitores de temperatura y vibración), mientras que los sistemas más recientes pueden tener estas funciones conectadas por cable.

Si bien existen muchas opciones inalámbricas diferentes para este tipo de casos prácticos, la 5G ofrece ventajas potenciales en cuanto a capacidad de los sensores, fiabilidad y densidad de medidores por estación base. También puede admitir entradas de gran ancho de banda, como sensores de video o LiDAR.



Sistemas de videovigilancia

Las fábricas tienen grandes necesidades de videovigilancia, así como de sistemas de producción y control de calidad por video. Controlan riesgos de seguridad como incendios, intrusiones y robos u otras actividades ilegales, potencialmente en grandes superficies, tanto en interiores como en exteriores.

Por ejemplo, muchas fábricas tienen grandes zonas para almacenar vehículos o materiales valiosos. En algunos sectores, como la aviación y la construcción naval, los problemas de seguridad son evidentes, mientras que otros se enfrentan a riesgos adicionales derivados de agentes geopolíticos o del espionaje.

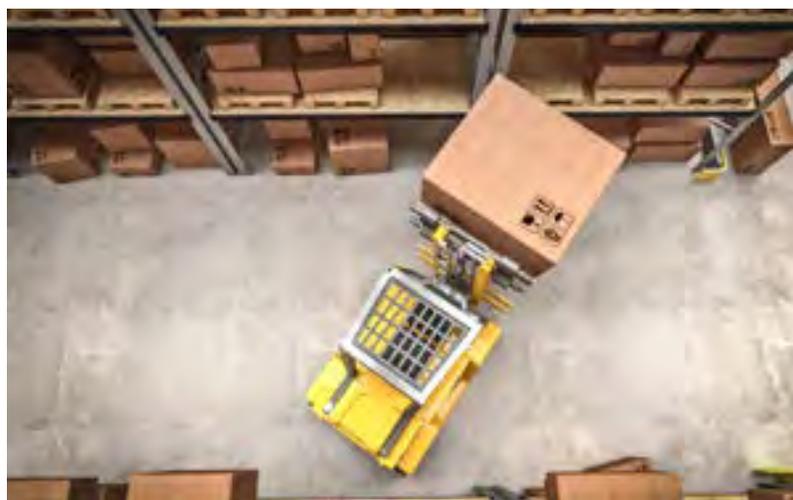
La conectividad inalámbrica con 4G y 5G ofrece capacidad adicional para imágenes de alta resolución, así como latencia reducida. Cada vez más, las cámaras se conectan a activos móviles como vehículos, robots y drones, lo que obviamente requiere acceso inalámbrico. Más adelante, la computación periférica con visión artificial permitirá una mayor automatización.



Otros casos prácticos

Existen muchos otros usos emergentes de las redes privadas. Algunos serán muy específicos de cada sector. Por ejemplo:

- Inspección de instalaciones con drones, por ejemplo para buscar fugas y corrosión en plantas químicas.
- Descarga inalámbrica de software en los vehículos que salen de la cadena de producción.
- Redes privadas portátiles que se utilizan en el interior de tanques y recipientes de reactores para realizar tareas de limpieza y mantenimiento.
- Conectividad inalámbrica general para empleados e invitados a modo de "host neutral", especialmente para fábricas alejadas del alcance de las redes celulares públicas normales.
- Acceso inalámbrico fijo desde edificios centrales a otros lugares remotos de las instalaciones, como casetas de vigilancia o almacenes.



¿Por qué implantar redes privadas?

La segunda pregunta antes mencionada es el punto central de este informe. Por qué estos casos prácticos se daptan mejor a la red 4G/5G privada que a los servicios de red pública de los operadores de redes móviles?

En la industria en general, existen muchas razones específicas de cada empresa y lugar que empujan a las empresas a buscar soluciones inalámbricas privadas. Sin embargo, se observan patrones generales.

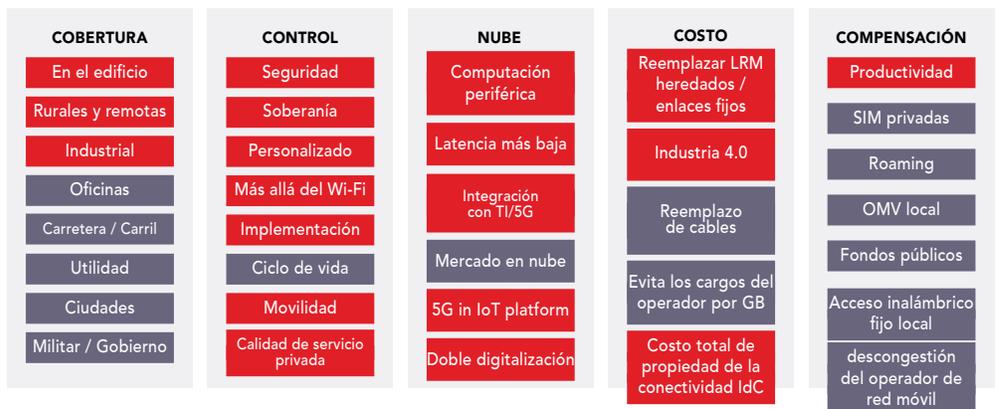
Hay cinco argumentos principales que Disruptive Analysis utiliza para hablar de la 5G privada:

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

En los siguientes apartados se describen con más detalle.



Demanda: las 5 Razones de la Telefonía Móvil Privada...



Marzo 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

■ Razón principal del sector de fabricación

Cobertura

Una razón fundamental para utilizar servicios 4G/5G privados, en lugar de los públicos de los operadores de redes móviles, son las dificultades de cobertura de la red. Los operadores tienden a instalar sus redes en zonas de alta densidad de población o a lo largo de las carreteras principales.

Las instalaciones de las fábricas suelen tener una cobertura relativamente escasa, ya que las zonas industriales suelen estar alejadas de los grandes grupos de población y de los distritos residenciales y comerciales.

Además, la cobertura en el interior de los edificios es especialmente deficiente en el caso de las fábricas, dado el uso habitual de metal y hormigón en la construcción, el menor número de ventanas en comparación con otros establecimientos y las diversas formas de pantallas y tuberías.

Control

Este es el aspecto más importante de las redes privadas para las fábricas. Muchas empresas, especialmente las grandes o de alta tecnología en sectores como la automotriz y la electrónica, tienen costos extremadamente altos de cualquier tiempo de inactividad, además de ser muy protectoras de los activos de datos.

Poseer y utilizar sistemas inalámbricos 4G/5G ayuda a las empresas a definir y optimizar por su cuenta muchos parámetros de la red, responsabilizándose directamente de la seguridad, la fiabilidad, el rendimiento y la elaboración de informes. También pueden integrarlos directamente con otros sistemas informáticos, de telecomunicaciones y de red, sobre todo cuando se trata de protocolos heredados en los que las empresas de telecomunicaciones carecen de conocimientos y experiencia.

Las empresas pueden elegir sus propios mecanismos de redundancia y ciberseguridad, de acuerdo con las mejores prácticas y normativas específicas del sector. Para aplicaciones exigentes como el streaming de video o el control de red de baja latencia, pueden personalizar y optimizar la gestión de recursos radioeléctricos y la redundancia.

A largo plazo, puede que las empresas consigan una parte de las redes 5G de los operadores de redes móviles públicos y obtengan un mayor control y mejores acuerdos de nivel de servicio, pero este modelo no está probado y depende de las futuras versiones de la tecnología 5G. Asimismo, el atractivo de vincular redes privadas y públicas a través del "roaming" es discutible: los robots no salen del recinto de la fábrica, mientras que los camiones y los teléfonos inteligentes de los trabajadores probablemente admitan varias SIM.

Costo (y evitar riesgos)

Tradicionalmente, muchas empresas de fabricación han limitado el uso de las redes 4G/5G públicas para uso en sus instalaciones. Aunque han utilizado contratos de telefonía móvil normales para sus smartphones y flotas de personal, hay relativamente poco margen para cambiar redes públicas por privadas para la automatización en fábrica u otros usos similares.

Por el contrario, el ahorro potencial de gastos de la telefonía móvil privada está más relacionado con el desplazamiento de los cables de fibra, especialmente para la maquinaria que puede

desplazarse, o para conexiones remotas como las cámaras de seguridad perimetral.

Aunque los modelos generales de la Industria 4.0 también deberían mejorar la economía de los fabricantes, son relativamente pocos los aspectos que dependen exclusivamente de la telefonía móvil privada: la mayoría también se pueden habilitar con Wi-Fi u otras conexiones, aunque quizá con menos fiabilidad en algunos casos.

Nube

Across En todo el sector de fabricación, existe un vínculo cada vez más fuerte entre la conexión inalámbrica privada y plataformas en la nube y, sobre todo, el uso de la computación periférica local o casi local.

Hay dos tendencias que se relacionan:

Las redes privadas se activan directamente mediante servidores periféricos, que pueden alojar elementos de software como núcleos de red, suministrados mediante virtualización y contenedores.

Varias de las aplicaciones mencionadas anteriormente como casos prácticos de uso privado de las redes 4G/5G podrían aprovechar los servidores periféricos, así como las herramientas de IoT e IA basadas en la nube a hiperescala. La supervisión de IoT, el mantenimiento preventivo y la "doble digitalización" son buenos ejemplos.

Recientemente, varias de las mayores empresas de servicios en la nube han anunciado iniciativas en torno a la 4G/5G privada, ya sea vendiendo directamente a las empresas o trabajando con integradores de sistemas y operadores de redes móviles para ofrecer soluciones híbridas.

Compensación / Monetización

A diferencia de algunos sectores, como los aeropuertos o las inmobiliarias, las empresas fabricantes tienen pocas posibilidades de monetizar directamente la red 4G/5G privada, por ejemplo ofreciendo servicios de conectividad a los inquilinos o funciones de host neutral a los operadores de redes móviles públicos.

Algunos fabricantes muy grandes (por ejemplo, los proveedores de equipos de automatización industrial o sistemas de construcción/minería) podrían integrar la telefonía móvil privada directamente en las soluciones que venden a sus clientes fabricantes, o actuar como "operadores móviles industriales" en los mercados con espectro disponible.



Opciones y tendencias del espectro

Visión general

Un ingrediente esencial para las redes privadas del sector de fabricación es el acceso a un espectro adecuado para 4G/5G. Este ámbito implica una amplia gama de compromisos en términos de cobertura, capacidad, costo, disponibilidad de dispositivos, y también de política y regulación.

También está directamente relacionado con la importancia y el potencial de las redes privadas "puras" gestionadas por empresas o especialistas, frente a las que ofrece como servicio gestionado una empresa de telecomunicaciones tradicional que gestiona principalmente redes 4G/5G públicas.

Históricamente, la mayor parte del espectro apto para redes celulares se otorgaba en régimen de exclusividad regional/nacional a los operadores públicos de redes móviles ("MNO", por sus siglas en inglés), a menudo mediante subastas.

Tradicionalmente, los fabricantes han tenido poco acceso directo a esas bandas principales sin raros y complejos acuerdos de arrendamiento, mientras que en otras gamas de frecuencias había pocas radios o dispositivos disponibles. Pero esto está cambiando rápidamente, a medida que varios reguladores nacionales ponen a disposición licencias locales o diversas formas de espectro compartido, y las empresas de dispositivos y chips empiezan también a apoyarlas.

Asimismo, los MNO están cada vez más abiertos a una serie de nuevos modelos de colaboración, incluida la creación de redes de campus privadas que no estén vinculadas a su macroinfraestructura principal, es decir, que actúen como integradores de sistemas para proyectos personalizados.

Para las redes privadas existen, a grandes rasgos, tres opciones de espectro:

- **Banda baja:** A veces se dispone de finas porciones de espectro por debajo de <1GHz, buenas para cubrir amplias zonas, pero de baja capacidad. Estas opciones suelen ser las más adecuadas para comunicaciones críticas (como push-



to-talk) o sistemas de control y datos de sensores de banda estrecha.

- **Banda media:** Para una cobertura en interiores y en todo el campus, idónea para fábricas y plantas de fabricación, el espectro de banda media entre 2 y 6 GHz suele ser óptimo. Aquí es donde se producen actualmente la mayoría de las implementaciones de 4G/5G privadas.
- **Bandas mmWave:** Normalmente en un rango de 26 a 60 GHz, se habla mucho de bandas más altas para 5G, pero aún son raras, aunque en el futuro pueden resultar especialmente útiles para aplicaciones muy concentradas que requieran un enorme ancho de banda. El "margen" adicional también facilita la creación de redes de latencia ultrabaja.

Las siguientes secciones ofrecen más información sobre algunas de las bandas específicas que se están poniendo a disposición en todo el mundo.

CBRS y otras opciones de banda media

Para la cobertura de instalaciones específicas o regionales, cada vez son más los países que ponen a disposición de las fábricas (y otras empresas) secciones del espectro de banda media. Suele basarse en alguna forma de espectro compartido, con licencias manuales o en función de bases de datos para zonas específicas y derechos de banda. Los defensores de la Industria 4.0 han sido algunos de los que más han convencido a gobiernos y reguladores de los beneficios económicos potenciales.



Entre los ejemplos más importantes figuran:

- **EE.UU.:** En Estados Unidos, la banda CBRS entre 3.55-3.7GHz En EE.UU., la banda CBRS entre 3.55 y 3.7 GHz se ha puesto a disposición de los usuarios de forma compartida y en múltiples niveles, con un acceso dinámico gestionado por una serie de proveedores automatizados de SAS (Sistema de Acceso al Espectro). El nivel superior de usuarios tradicionales (especialmente la Marina) tiene derechos preferentes fundamentales, pero una serie de empresas (en particular John Deere) han adquirido PAL (licencias de acceso prioritario) que dan un acceso casi garantizado a secciones de la banda en zonas de condados. Esto se adapta bien a las redes privadas y puede complementarse utilizando el nivel GAA (acceso general autorizado) bajo demanda. Actualmente solo hay equipos 4G LTE disponibles para su uso con CBRS, pero es probable que en los próximos 1-2 años se amplíe a productos 5G. Esta banda ya atrajo a un gran ecosistema y es probablemente la más cercana al “espectro bajo demanda” y a la amplia democratización de las redes privadas.
- **Alemania:** La banda de 3.7-3.8GHz se ha reservado para licencias de redes privadas localizadas, ya sea con infraestructura 4G o 5G. Los titulares de licencias pueden solicitar derechos para lugares específicos al regulador nacional, normalmente para instalaciones del tamaño de un campus. Las fábricas, sobre todo las del sector automotriz y de ingeniería, han sido de las más entusiastas.
- **Francia:** Se ha facilitado una sección de 40 MHz de la banda de 2.6 GHz para comunicaciones críticas y uso industrial de banda ancha. Aunque los usuarios iniciales eran en su mayoría organizaciones de “infraestructura” como aeropuertos y ferrocarriles, se ha producido un cambio hacia el sector de fabricación en 2021 y principios de 2022. Además, algunas de las licencias de banda media 5G de 3.4-3.8GHz de los operadores de redes móviles tienen mandatos regulatorios para la cooperación con empresas en redes privadas.
- **Reino Unido:** La banda de 3.8-4.2GHz está disponible para uso local 5G, sujeto a la protección de los titulares de

licencias. También hay pequeñas distribuciones en 1.8GHz (la banda de protección la banda de protección DECT original) y 2.3GHz. Los MNO públicos, como EE y Vodafone, también trabajan en la implementación de redes privadas localizadas, incluso para el sector de fabricación.

- **Japón:** Hay espectro disponible entre 4.6-4.9GHz para 5G local.
- **Taiwán:** Hay espectro disponible en la banda de 4.8 GHz para 5G privado.

Otros países europeos y el organismo regulador asesor de la UE, el RSPG, también han sugerido la banda de 3.8-4.2GHz para un posible uso compartido/empresarial en el futuro. Muchos otros países, como España, India y Arabia Saudita, están llevando a cabo iniciativas reguladoras o consultas sobre opciones de banda media adecuadas para la industria.

Otros mercados ofrecen la posibilidad de arrendar localmente el espectro nacional asignado a los MNO (por ejemplo, en Australia, Suecia y Dinamarca), o de que operadores regionales especializados en redes industriales obtengan licencias ordinarias en zonas poco pobladas (por ejemplo, en partes de Canadá).

La principal excepción es probablemente China, que aún tiende a favorecer la concesión de licencias nacionales a los MNO.

También cabe destacar la posibilidad de utilizar bandas sin licencia de 2.4 GHz, 5 GHz y, cada vez más, 6 GHz para el 4G/5G privado, aunque la falta de protección contra interferencias puede limitar el alcance de las aplicaciones críticas.

Opciones sub-1GHz

Low-band El espectro de banda baja sólo tiene una importancia limitada para la fabricación, ya que es adecuado sobre todo

para las comunicaciones en zonas amplias, como las redes “push-to-talk” de las empresas de servicios públicos. No obstante, puede ser idóneo para plantas de fabricación muy grandes o instalaciones distribuidas en varios edificios distribuidos en una extensa zona regional. Su buena difusión en interiores y subterráneos también puede ser útil para IoT en algunos casos.

Varios mercados han puesto estas bandas a disposición de los consumidores.

- **E.UU.:** Tras una resolución de la FCC en 2020, varios titulares tienen acceso al espectro de 900 MHz, con 6 MHz para banda ancha y 4 MHz para banda estrecha. Uno de los principales titulares del espectro, Anterix, colabora con varias empresas locales de servicios públicos para crear infraestructuras adecuadas. No está claro si se extendería también al sector de fabricación.
- **Noruega:** Varias empresas petroleras y de servicios públicos poseen el espectro de 700 MHz y 900 MHz para redes privadas en alta mar pero, de nuevo, esto también puede ser relevante para ciertos fabricantes especializados que atienden al sector energético.

También se pueden utilizar versiones IoT de banda estrecha de 4G (NB-IoT y LTE Cat-M) en las distintas concesiones de sub-GHz, con o sin licencia.

mmWave

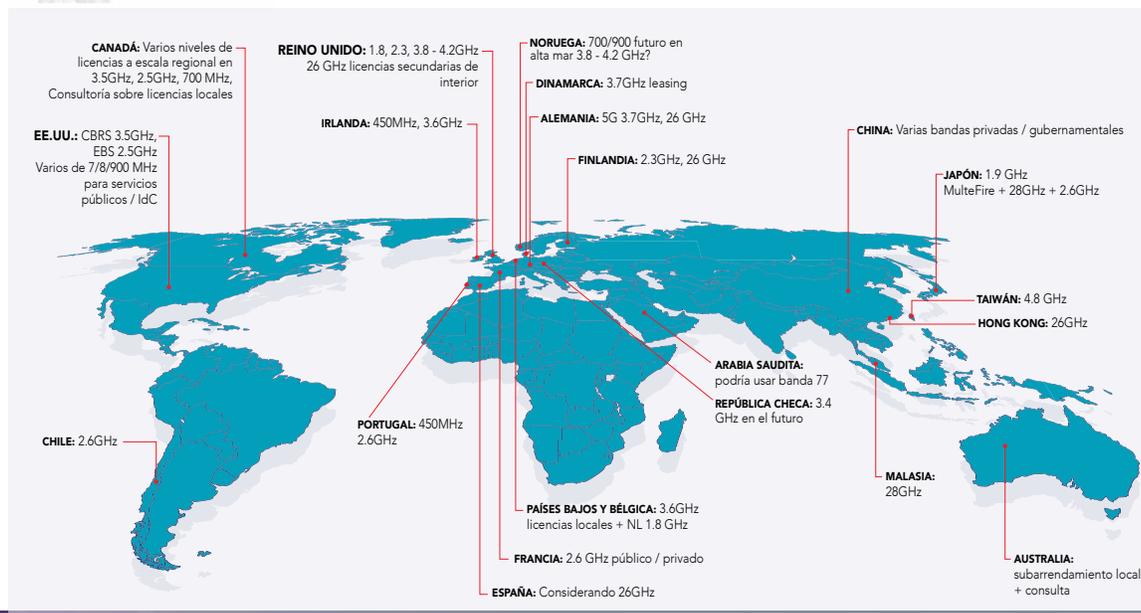
Varios países, entre ellos Alemania, Reino Unido, Finlandia, Malasia y Japón, han facilitado el espectro de 26 GHz, 28 GHz u otras bandas altas para uso local. En Estados Unidos, Italia y Corea del Sur, algunos operadores de redes móviles también están estudiando oportunidades en torno a las redes privadas de ondas milimétricas. Se trata sobre todo de instalaciones de interior o en campus, como fábricas, almacenes y minas. Los principales casos prácticos son los usos locales de alta capacidad, como vehículos teledirigidos o cámaras de alta definición, sobre todo si van montadas en vehículos o robots.



Disruptive Analysis

© 2022

Lanzamiento de nuevas bandas de espectro para 4G/5G no públicas



Marzo 2022 | Copyright Disruptive Analysis Ltd 2022

Las redes inalámbricas están migrando a tecnologías estándar, en particular las celulares 4G y 5G. celular.

Conclusiones y futuro a largo plazo

Es probable que el sector de fabricación sea uno de los líderes en la adopción masiva de redes celulares privadas. Lleva la 4G/5G privada más allá de los sectores que la adoptaron en un primer momento y que requieren “comunicaciones críticas” y más hacia el ámbito de la conectividad IoT / TO (Tecnología Operativa), así como aplicaciones de tipo informático más convencionales comparables al uso de Wi-Fi en la actualidad.

Aunque este informe se ha centrado en los aspectos radioeléctricos de la 4G/5G privada, es importante reconocer que el ecosistema más amplio (desde las redes centrales hasta la computación periférica y los sistemas de planeación/diseño/pruebas) está evolucionando a la par, junto con un enorme abanico de integradores de sistemas y especialistas verticales. En el sector de la fabricación, organizaciones como la 5G-ACIA (Alianza para las Industrias Conectadas y la Automatización, en inglés) están definiendo las mejores prácticas y una terminología estandarizada.

La creciente madurez de la tecnología 5G para empresas, sumada a la mayor disponibilidad de espectro local o dedicado para uso empresarial, sugiere un dinamismo saludable y constantes durante muchos años. En 2025 puede que haya miles de redes privadas en las fábricas, y quizá decenas de miles.

Aún así, a pesar de las similitudes entre subsectores y países, lo que parece probable es que los casos prácticos específicos y los escenarios de implementación varíen considerablemente. Algunos mercados están liberando principalmente espectro de banda media y baja para empresas, mientras que otros se centran más en las ondas milimétricas o en nuevas opciones sin licencia.

Dicho esto, hay que señalar que muchos grandes fabricantes actuarán con cautela y de forma gradual, introduciendo la telefonía móvil privada a través de un escalonamiento progresivo de pruebas e implementaciones de campo de tamaño medio. Muchas de las instalaciones actuales utilizan la telefonía móvil privada solo para edificios concretos, o incluso para máquinas o aplicaciones individuales.

Por otra parte, aunque las nuevas plantas de fabricación pueden ser “principalmente 5G”, en la mayoría de los casos habrá importantes sistemas de otras tecnologías de red. Esto abarca desde varias versiones de Ethernet fija y Wi-Fi hasta una amplia gama de sistemas industriales dedicados. También habrá muchos proveedores tradicionales, como empresas de automatización industrial, que a menudo actuarán como canales o integradores de sistemas de conectividad (a menudo de marca propia). El sector de la 5G tiene que adaptarse a estos operadores tradicionales o integrarse en ellos.

Cuadro: ejemplos de implementaciones o pruebas privadas de 4G/5G en fabricantes

Empresa	País	Sector/Finalidad	Espectro/Propietario
John Deere	EE.UU.	Tractores y maquinaria de construcción	CBRS PAL for 4G/5G
Worcester Bosch	Reino Unido	Electrodomésticos (sensores y robótica)	Pruebas en 2.6GHz / 3.4GHz
Ford	Reino Unido	Automotriz (múltiples casos prácticos en plantas EV)	Banda con licencia Vodafone
Ford	EE.UU.	Automotive (multiple use-case at EV plant)	Espectro AT&T
Inventec	Taiwán	Hardware informático (inspección óptica, AGV)	Quizás 5G local de 4.8 GHz
Volkswagen	Alemania	Automotriz (pruebas en fábricas inteligentes)	licencia local de 3.7-3.8GHz
Haier	China	Electrodomésticos (inspección óptica)	Incierto - China Mobile
Nokia	Polonia	Eq. de Telecomunicaciones (AGV, sensor, comunicacion)	Espectro de Orange Poland
Butachimie	Francia	Químicos (seguimiento de activos y comunicaciones, 4G)	2.6GHz
Foxconn	EE.UU.	Electrónica (AGV, robótica, etc.)	CBRS
BMW	Germany	Automotriz (múltiples plantas y aplicaciones)	Quizás 3.4-3.8GHz
Konecranes	Finlandia	Grúas (pruebas para puertos, Ej. cámaras móviles)	Incierto, quizás 3.4GHz
AS Plastik	Croacia	Componentes de autos (automatización de fábricas)	Incierto
ArcelorMittal	Francia	Acero (múltiples sitios / casos prácticos)	Incierto, quizás 2.6 + 3.4Ghz

Source: *Disruptive Analysis*



www.ibwave.com