

Single Pair Ethernet (SPE)

Cleiton Santos, Guilherme Benavides y Flávio Marques
Furukawa Electric LatAm, Ingeniería de Aplicaciones (EAS | FI²S)

RESUMEN

1. Introdução	1
2. Single Pair Ethernet – Uma Tecnologia Disruptiva?	1
2.1. Normativas – IEEE, ANSI/TIA e ISO/IEC	3
2.2. Associações (Consórcios)	4
3. Características Gerais, Benefícios, Desafios e Aplicações do SPE	5
3.1. Características e Diferenciais	5
3.2. Conectores	5
3.3. Principais Benefícios	5
3.4. Principais Desafios	6
3.5. Aplicações	6
4. Conclusão	6

1. Introducción

Con el avance del movimiento Industria 4.0 (i4.0), han surgido nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades creadas, ya sean nuevas y/o adaptaciones de sistemas heredados. Uno de los preceptos relacionados con el concepto de i4.0 se refiere a la capacidad de conectar sistemas, dispositivos y personas. Con este fin, varios equipos IoT (*Internet of Things*) e IIoT (*Industrial Internet of Things*) han ganado espacio y atención de personas/empresas interesadas en el intercambio de datos e información entre dos puntos.

Se sabe que en términos de conectividad, hay varias maneras para que dos puntos se comuniquen entre sí, diferenciando principalmente entre la solución cableada/wireless y los protocolos de comunicación. En cuanto al protocolo de comunicación, existe una tendencia global a utilizar soluciones desde Ethernet, dada su confiabilidad, interoperabilidad y facilidad de manipulación de datos. Sin embargo, a pesar de ser una tecnología de difusión masiva, se observa que, en algunos casos, algunos sistemas todavía eligen usar otras formas de comunicación por varias razones, entre ellas: distancia entre puntos de comunicación, derivación de red, bajo consumo de ancho de banda, etc.

Por lo tanto, la comunidad científica y profesional ha estado estudiando formas de resolver estas limitaciones, incluido el **Single Pair Ethernet (SPE)**. En resumen, como su nombre indica, las soluciones SPE tienen como objetivo transmitir datos Ethernet en solo 01 par, sin embargo, también se presentan muchas otras ventajas con el desarrollo de esta tecnología, algunas de ellas enumeradas a lo largo de este documento.

2. Single Pair Ethernet: ¿Una Tecnología Disruptiva?

La convergencia TI/TA (TI – Tecnología de la Información / TA – Tecnología de Automatización) está cada vez más extendida en las empresas no solo en términos de integración entre equipos, sino principalmente en relación con la tecnología de comunicación utilizada en los sistemas de conectividad. Como consecuencia, hay un crecimiento exponencial en los equipos basados en la comunicación IP (*Internet Protocol*), tanto en TI como en TA.

Un hecho que corrobora estos datos es el informe anual publicado por HMS Networks (una organización independiente) que monitorea la instalación de nuevos nodos (*es decir*, direcciones IP) en el área de automatización de industrias de varios segmentos. Como se puede ver en la Figura 1, se observa que los protocolos basados en Ethernet Industrial ya han excedido significativamente el número de nuevos nodos basados en protocolos de *fieldbuses*, es decir, soluciones en serie (también conocidas como sistemas heredados).

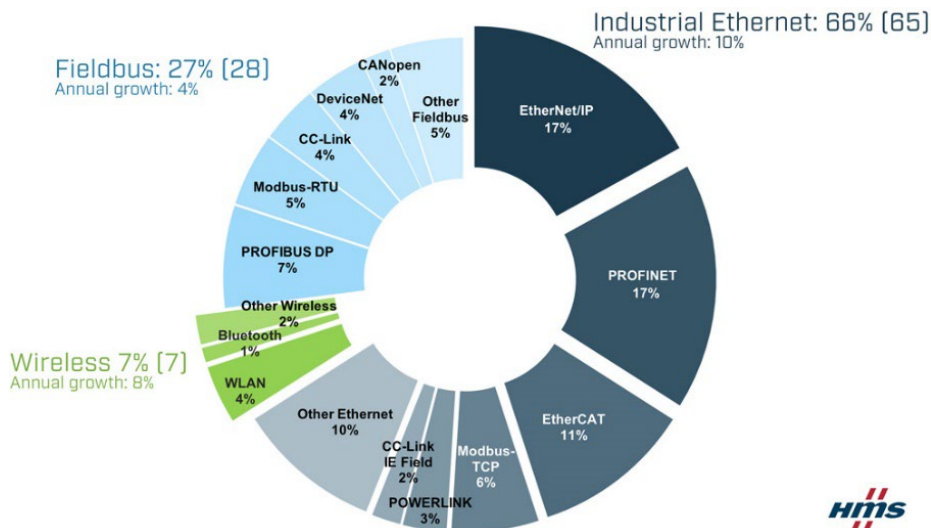


Figura 1 – Evolución de protocolos industriales vs. protocolos fieldbuses vs. wireless (2022). Fuente: HMS Networks < [link](#) >.

Analizando esta encuesta interanual (ver Figura 2), es posible verificar que las soluciones industriales basadas en Ethernet crecieron a una tasa promedio de aproximadamente 10,83% anual (~ 4,1 pp/año). Por el contrario, las soluciones *fieldbuses* disminuyeron a una tasa media aproximada del 11,38% anual (~ 4,9 pp/año).

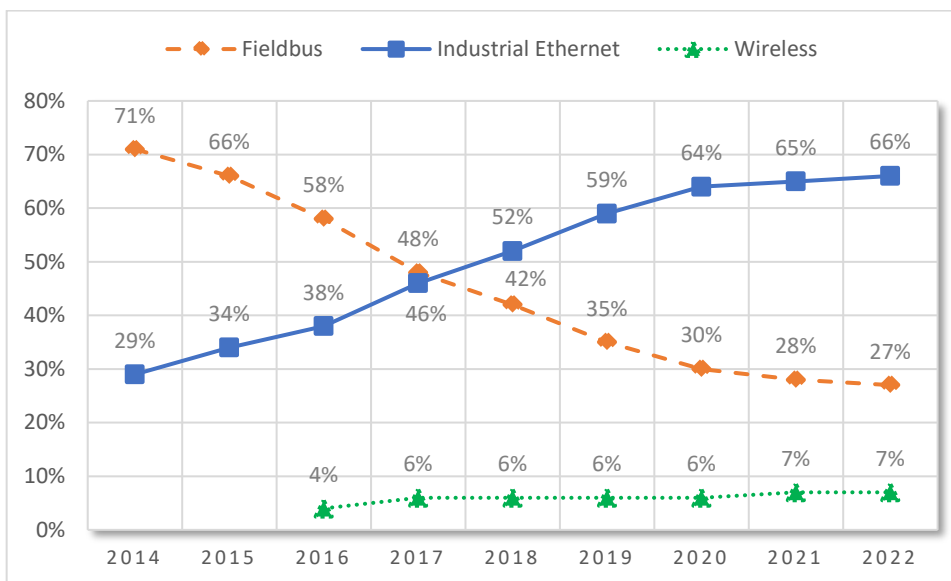


Figura 2 – Evolución de los protocolos industriales: nuevos nodos. Fuente: Adaptado de HMS Networks; datos de los informes anuales de 2014-2022.

A pesar de ser un hecho proposicional en términos de la aceptabilidad de las soluciones Ethernet en la fábrica, existe un factor relevante de que este número no es aún mayor porque muchos de los sistemas heredados utilizan protocolos en serie tradicionales porque requieren una baja capacidad de ancho de banda y/o porque pueden recorrer grandes distancias, a veces cerca de 1000 m. Sin embargo, como saben, hasta entonces el protocolo Ethernet en 02 o 04 pares metálicos estaba limitado, normativamente, a 100m, es decir, una distancia mucho más corta que la que se suele encontrar en las soluciones heredadas. Además, Ethernet tradicional, en su versión más básica, puede cargar hasta 100Mbps (Fast Ethernet), sin embargo, en estos sistemas, es común consumir datos cercanos a unos pocos kbps.

Con esto en mente, los grupos de estudio del IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) han optado por desarrollar una solución de cableado metálico que:

- Cumpla con los requisitos relacionados con el ancho de banda;
- Cumpla con los requisitos de red en términos de distancias entre dispositivos;
- Integre la comunicación Ethernet de extremo a extremo en una sola arquitectura (consulte la Figura 3).

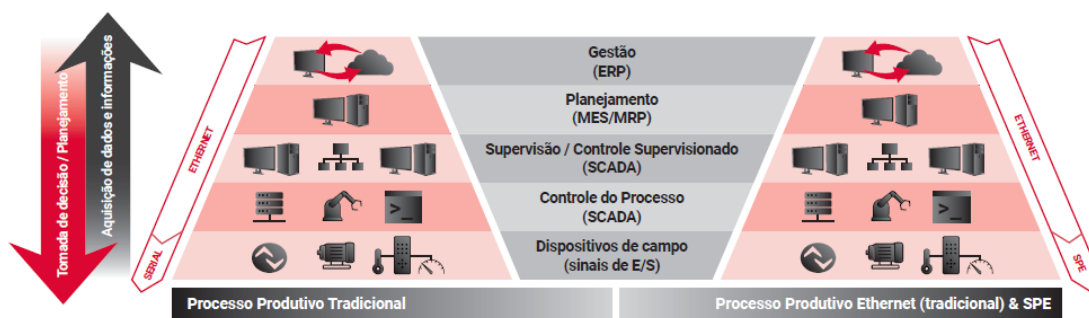


Figura 3 – Pirámide de automatización: Ethernet de extremo a extremo.

Por lo tanto, uno de los principales objetivos de crear y estandarizar el Single Pair Ethernet es precisamente permitir una mayor y mejor integración entre sistemas, ya sean industriales y/o corporativos.

Aunque, inicialmente, la SPE ha surgido para satisfacer la demanda de redes internas de vehículos de motor y entretenimiento de pasajeros, la disrupción de la tecnología y la aceptabilidad del mercado se produce precisamente cuando se pretende utilizarla ampliamente, con el fin de satisfacer la demanda de otros desafíos encontrados, así como resolver problemas que, hasta entonces, eran conocidos por las empresas.

2.1. Normativas – IEEE, ANSI/TIA e ISO/IEC

El desarrollo del SPE puede considerarse una tecnología aún en construcción, dado que algunas regulaciones están en proceso de ser finalizadas. Sin embargo, se sabe que la tecnología en sí no es reciente, ya que existen normativas de fecha 2015, es decir, se está produciendo un proceso de adaptación/ampliación de la misma a las aplicaciones que se pretenden cumplir. Como se presenta en el Cuadro 1, hay tres instituciones normativas que trabajan en paralelo en el desarrollo y definición del alcance de uso de la SPE, a saber: IEEE, ANSI/TIA e ISO/IEC.

Como se mencionó, la tecnología Single Pair Ethernet comenzó con un enfoque principalmente en aplicaciones automotrices (IEEE 802.3bw, 2015), pero ha evolucionado y hoy en día no se limita solo a este mercado. Con el desarrollo del estándar IEEE 802.3ch (2020), las aplicaciones se ampliaron a soluciones como: reemplazo de protocolos heredados, automatización industrial, automatización de edificios, control de acceso, control AVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), entre otros.

Institución	Normativa	Año	Descripción
IEEE	802.3bw	2015	100BASE-T1 – 100 Mbit/s Ethernet over a single twisted pair for automotive applications
	802.3bp	2016	1000BASE-T1 – Gigabit Ethernet over a single twisted pair, automotive & industrial environments
	802.3bu	2016	Power over Data Lines (PoDL) for single twisted pair Ethernet (100BASE-T1)
	802.3cg	2019	10BASE-T1L and 10BASE-T1S – 10 Mbit/s Single twisted pair Ethernet
	802.3ch	2020	MultiGigBASE-T1 Automotive Ethernet (2.5, 5, 10 Gbit/s) over 15 m with optional PoDL

	802.3da	–	10BASE-T1S 10 Mb/s Operation over Single Balanced Pair Multidrop Segments, extended length til 50 m
	802.3dd	–	Power over Data Lines of Single Pair Ethernet Maintenance
	802.3de	–	Time Synchronization for Point-to-Point Single Pair Ethernet
ANSI/TIA	568.5	2020	Single Pair Cabling & Components
	568.6	2020	Single-Pair Multidrop (SMPD) Cabling & Components
	568.7	2020	Single-Pair Cabling & Components for Industrial
	5071	–	Single-Pair Cabling Field Testing
	TSB xxxx	–	Power Delivery over Single-Pair Cables
	862-B	–	Structured Cabling Infrastructure Standard for Intelligent Building Systems
ISO/IEC	TR 11801-9906	2020	Balanced 1-pair cabling channels up to 600 MHz for single pair Ethernet (SPE)
	61156	2021	Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 600MHz
	63171	2021	Shielded or unshielded free and fixed connectors for balanced single-pair data transmission with current-carrying capacity - General requirements and tests

Cuadro 1 – Normativas relacionadas con el Single Pair Ethernet en marzo/22 (estándares completados o en proceso de finalización).

Se observa, por lo tanto, que la tecnología SPE ya no está restringida solo a redes automotrices y/o reemplazo de protocolos heredados, sino que apunta principalmente a expandir el concepto de Ethernet a diversas aplicaciones y verticales de mercado.

2.2. Asociaciones (Consortios)

Con el fin de maximizar el desarrollo de este nuevo concepto, han surgido varios consorcios con el objetivo de recopilar *insights*, ayudar en el desarrollo y la difusión de conceptos y nuevas aplicaciones de la tecnología. En definitiva, estos consorcios son conjuntos de empresas que se unieron para escuchar al mercado y acercarle las soluciones creadas con un enfoque en la SPE, no solo en lo que respecta a las soluciones de cableado, sino también a los equipos necesarios para el uso de la tecnología.

Los principales consorcios que contribuyen activamente al desarrollo del Single Pair Ethernet se enumeran a continuación, que se definen a sí mismos como:

- **Ethernet Alliance:** “es un consorcio industrial global y sin fines de lucro de organizaciones miembro dedicadas al éxito continuo y al avance de las tecnologías Ethernet, cerrando la brecha entre los estándares y los usuarios finales, trabajando para promover, adoptar y utilizar las tecnologías Ethernet en todos los mercados”;
- **SPE Industrial Partner Network:** “es una asociación igualitaria de empresas que promueven la tecnología Single Pair Ethernet como base para el rápido y exitoso crecimiento de IIoT (*Industrial Internet of Things*)”;
- **Single Pair Ethernet System Alliance (SPESA):** “se formó para aprovechar al máximo el enorme potencial de esta nueva tecnología para el futuro, y todos los miembros comparten el objetivo común de promover la tecnología Single Pair Ethernet para *industrial IoT* (IIoT) y todas las demás áreas de aplicación relevantes”;
- **TIA Single Pair Ethernet Consortium (TIA SPEC):** “representa a los líderes tecnológicos para acelerar la adopción de la próxima generación de tecnología operativa (OT) e conectividad de la *Internet of Things* (IoT) utilizando tecnologías SPE”.

Tales consorcios han puesto sus esfuerzos en contribuir al desarrollo de normativas de SPE (en términos de especificaciones de cables y conectores), así como en la difusión masiva de esta tecnología al mercado.

3. Características Generales, Beneficios, Desafíos y Aplicaciones del SPE

3.1. Características y diferenciales

A lo largo del documento ya se ha comentado sobre las principales características de la tecnología Single Pair Ethernet, pero con el fin de resumir estos puntos, se presentan a continuación en temas:

- Comunicación Ethernet con el uso de solo 01 (un) par equilibrado;
- Inicialmente surgió para satisfacer las bajas demandas de ancho de banda (<10Mbps), sin embargo, hoy en día ya es posible transmitir una velocidad de 1Gbps en un cable SPE (todavía en estudio, pero son las soluciones llamadas "MultiGiga");
- En el proceso de estandarización para satisfacer las demandas de automatización industrial y de edificios;
- Permite la transmisión de energía para alimentar equipos remotos (conocido como "Power over Data Line" (PoDL));
- La atención se centra principalmente en la difusión de normas: 10BASE-T1L (comunicación extremo a extremo de hasta 1000 m con hasta 10 conexiones a lo largo del canal) y 10BASE-T1S (comunicación punto-multipunto de hasta 25 m con hasta 08 derivaciones/nodos y, su variación aún en curso, para hasta 50 m con hasta 16 nodos);
- Compactación de la solución cableada, es decir, reducción en términos de espacio (densidad) y peso;
- Variación transversal para diferentes aplicaciones, con opciones que van desde 26AWG hasta 18AWG.

3.2. Conectores

Dado que la tecnología Single Pair Ethernet utiliza 01 par (es decir, solo 02 conductores aislados de cobre), fue necesario pensar en el desarrollo de un conector que se adhiriera a la necesidad de contactos metálicos. Por lo tanto, se crearon varias opciones y se pusieron a disposición del mercado para recopilar *feedback* sobre usos y aplicaciones. Como se puede ver en el Cuadro 2, la norma IEC 63171 se utilizó como referencia, sin embargo, con algunas variaciones (1 ... 7), presentando cada uno un formato físico, aplicación y grado de protección diferentes entre sí.

Estándar	IEC 63171-1	IEC 63171-2	IEC 63171-3	IEC 63171-4	IEC 63171-5	IEC 63171-6	IEC 63171-7
Conocido como	LC-style	Rectangle	Rectangle-shaped	Square-shaped	M8 / M12	Rectangle / M8 / Push pull	Hybrid M12
Cantidad de pares	1	1	1 o 4	1	1 o 4	1	1
Grado de protección (IP)	IP20	IP20	IP20	IP20	IP67	IP20 / IP67	IP67

Cuadro 2 – Formatos de conector desarrollados para cumplir con el SPE.

Por ejemplo, el formato de conector al que se hace referencia en IEC 63171-1 tiende a usarse en automatización de edificios, mientras que los formatos IEC 63171-2 y -5 tienden a aplicarse en automatización industrial. En particular, estos dos últimos modelos son idénticos entre sí, variando solo su recinto, es decir, hay una diferenciación en términos del grado de protección de los conectores, es decir, IP20 e IP67, respectivamente.

3.3. Beneficios principales

Los beneficios relacionados con la tecnología Single Pair Ethernet son diversos, entre ellos se encuentran:

- El SPE no reemplazará la solución Ethernet tradicional de 02 o 04 pares trenzados, sino que solo complementará las aplicaciones, principalmente aquellas comunicaciones de borde (“*edge communication*”);
- Habilitar la comunicación Ethernet de extremo a extremo (desde sistemas ERP/MES hasta dispositivos de campo, conocidos como I/Os), es decir, la convergencia entre TI y TA;
- Posibilidad de reemplazar los protocolos heredados (soluciones de *fieldbuses*) por equipos basados en el protocolo Ethernet, es decir, con direccionamiento IP;
- Dado que la solución se basa en Ethernet, no sería necesario utilizar gateways para la conversión de protocolos (por ejemplo: Ethernet-serial, y viceversa), en consecuencia, se entrega al usuario una menor latencia y una mayor confiabilidad;
- Distribución de potencia y datos en un solo par a través de PoDL (*Power over Data Line*);
- Servicio de varias topologías, ya sea extremo a extremo (hasta 1000m) o multipunto (hasta 16 conexiones en 50m);
- Asistencia de nuevas aplicaciones basadas en soluciones IoT e IIoT, así como en nuevos entornos;
- Centrarse en la sostenibilidad, ya que se utilizará menos material de PVC (utilizado en cubierta/aislamiento) y cobre (utilizado en conductores).

3.4. Principales desafíos

Al ser una nueva solución en conectividad, en la actualidad, todavía hay algunas incertidumbres con respecto a algunos puntos. Entre ellos, podemos mencionar:

- Definición del tipo de interfaz que se utilizará en términos del formato del conector;
- Desarrollo de nuevas herramientas para la conectorización de campo;
- Definición o reducción de variaciones de cableado, ya que pueden variar de 26 a 18AWG, con/sin blindaje, etc.;
- Desarrollo de nuevas formas de prueba, ya que algunos de los parámetros evaluados en el cableado Ethernet metálico tradicional no se aplican a Single Pair Ethernet;
- Desarrollo de componentes activos, ya sean switches, módulos remotos y otros dispositivos;
- Aceptación del concepto, principalmente por parte de los fabricantes que proporcionan automatización industrial, así como de los equipos que trabajan en estas áreas.

3.5. Aplicaciones

Entre las aplicaciones ya conocidas que podrían beneficiarse de la solución SPE se encuentran:

- **Automatización industrial:** control de dispositivos de borde como módulos de IOs, válvulas, actuadores, controladores (drivers), paneles de control, etc.;
- **Automatización de edificios:** control de acceso, monitoreo/detección de ambientes, alimentación de dispositivos remotos de bajo consumo, etc.;
- **Sistemas integrados:** entretenimiento durante el viajes, control y lectura de sensores, etc.

4. Conclusión

Dada la breve explicación y conceptualización de la tecnología Single Pair Ethernet, se puede concluir que:

- Este es un paso importante en la convergencia de TI/AT en la industria y los sistemas IoT/IIoT;
- No reemplazará el estándar tradicional de Ethernet de 02 o 04 pares trenzados;
- Tiene convivencia con otras tecnologías;
- Tiene como objetivo cumplir con el equipo de borde;
- Consiste en una alternativa para reemplazar los protocolos heredados;
- Permite desarrollar nuevas aplicaciones y soluciones de conectividad;
- Contiene la adhesión al concepto de Industria 4.0.

En resumen, la tecnología SPE se presenta como una forma de difundir aún más las soluciones Ethernet para aplicaciones que se cumplen con protocolos heredados, así como de expandirse a nuevas demandas de red, que surgen con el desarrollo e integración de dispositivos IoT e IIoT en nuestra vida diaria, permitiendo así una verdadera convergencia entre las soluciones de TI y TA.