

# El misterio de la pérdida de la capa física HART de alta velocidad

Un repaso acerca de las características de HART a lo largo de su historia, haciendo hincapié en cada uno de los hitos de su desarrollo. Se devela un misterio: qué pasa con la capa física de HART y su rango extendido de direcciones, y por qué esto es importante ahora.

Mirko Torrez Contreras  
<https://mirkotc.wordpress.com/>  
[mikotc@gmail.com](mailto:mikotc@gmail.com)

## Sobre el autor

Mirko Torrez Contreras es consultor freelance de automatización de procesos con más de veinte años de experiencia en el mercado de la automatización industrial, especializado en consultoría en automatización de procesos; consultoría y entrenamiento en redes industriales, y consultoría y entrenamiento en protección contra explosiones.

Además, es consultor asociado en el Centro Internacional de Capacitación y Competencia de Profibus ubicado en Argentina, y presta servicios como escritor técnico (inglés o español) y traductor técnico (inglés y español).

Fuente: <https://www.linkedin.com/pulse/el-misterio-de-la-p%25C3%25A9rdida-capa-f%25C3%25ADsica-hart-alta-y-su-mirko/>

## HART siempre fue lento

El comentario más común que las personas hacen cuando descubren cuál es la velocidad de transmisión de datos posible en el protocolo de comunicaciones HART es que es lenta.

HART debe haber parecido lento cuando se presentó por primera vez en 1984, cuando la elección del protocolo estándar de redes informáticas todavía era una competencia sin definir entre varios competidores, y la tecnología de Internet era cosa de geeks informáticos.

En esos días, la velocidad de transferencia del protocolo HART era de 1.200 baudios, o 1,2 kbps, mientras que las redes Ethernet contemporáneas se ejecutaban a unos comparativamente veloces 3 Mbps.

*La funcionalidad de red del protocolo HART había estado limitada desde sus inicios por la elección de la capa física original.*

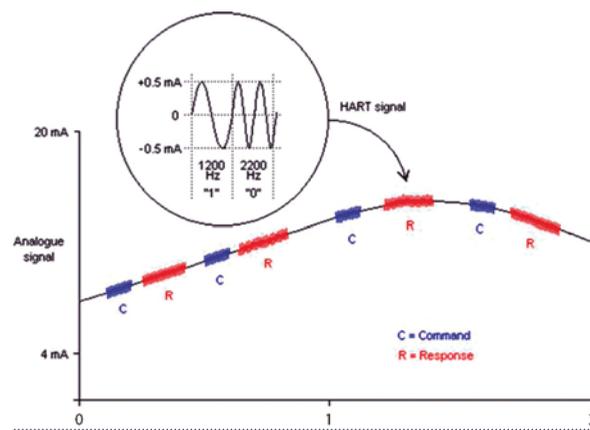


Figura 1. Codificación FSK HART

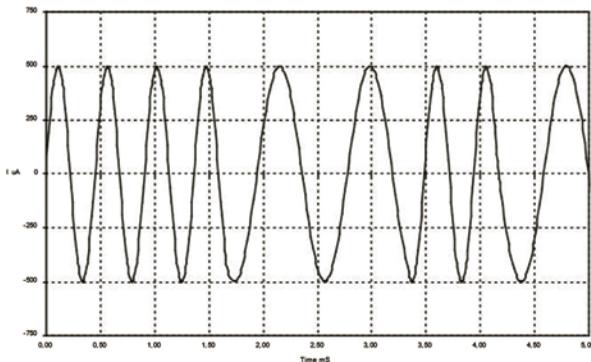


Figura 2. Forma de onda de una señal usando codificación por modulación de frecuencia (FSK)

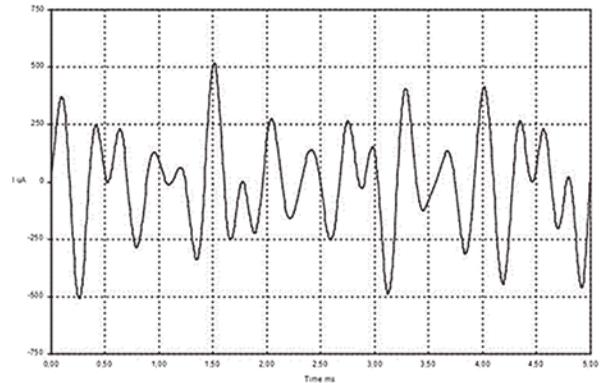


Figura 3. Forma de onda de una señal usando codificación C8PSK

Las computadoras también eran lentas: ejecutaban sistemas operativos de una sola tarea y usaban interfaces gráficas basadas en texto, por lo que la velocidad de transferencia de datos de 1,2 kbps de los dispositivos HART no parecía ser un problema fundamental.

## El mundo se hizo más rápido

Ya en 1995, la relación del mundo con las computadoras y las redes había cambiado drásticamente. TCP/IP era el protocolo elegido para Internet y, por lo tanto, un estándar de facto. Ethernet había abandonado hacía mucho tiempo tanto el cable coaxial como la topología de bus y había adoptado el uso de redes conmutadas y cableado de par trenzado. Y lo más importante, ahora soportaba velocidades de transferencia de datos de 100 Mbps como estándar.

La funcionalidad de red del protocolo HART había estado limitada desde sus inicios por la elección de la capa física original. Se basó en la codificación por modulación de frecuencia (FSK) Bell 202. Aunque contaba con un modo de trabajo totalmente digital y con capacidad multidrop, debido a las limitaciones de la capa física, en el estándar HART el límite de 1,2 Kbps se mantuvo a través del tiempo. Y el número máximo de dispo-

sitivos que podían ser conectados en guirnalda estaba limitado a dieciséis.

## Aparece una solución

Con el objetivo de abordar las limitaciones mencionadas, en 1995 el Grupo de Trabajo de Tecnología de la Fundación HART comenzó el desarrollo de una nueva capa física complementaria que debía ser compatible con la capa física FSK existente y, por lo tanto, podría coexistir con la amplia base instalada de dispositivos HART en todo el mundo.

El resultado de estos esfuerzos recibió el nombre de capa física de modulación de cambio de fase coherente de ocho vías (C8PSK), que fue presentada en 1999 e incluida en la Especificación del Protocolo de Comunicación HART versión 6.0.

*En comparación, C8PSK es mucho más complejo y, por lo tanto, no se puede leer fácilmente con solo observar la forma de la señal.*

## La capa física C8PSK

La capa física C8PSK es compatible con la capa física FSK original y con el concepto de lazo de señal existente. Emplea cambios de fase para codificar la información digital en la señal portadora de 3200 Hz. Pero, en lugar de usar un símbolo por baudio, como FSK, permite la transmisión de tres bits por símbolo, lo que permite que el protocolo funcione a una velocidad de transferencia de datos de 9600 bps sin la necesidad de un cableado diferente.

Lo más interesante es el hecho de que no se requirieron modificaciones en el protocolo HART, a excepción de algunos comandos extendidos creados para abordar los requisitos específicos de los dispositivos C8PSK.

C8PSK permitió a los dispositivos HART enviar de diez a doce actualizaciones por segundo en lugar de dos a tres en el modo host/dispositivo estándar, y de quince a dieciocho actualizaciones por segundo en lugar de tres a cuatro en modo ráfaga (burst).

### ¿Por qué la mayoría de las presentaciones y demostraciones de tecnología HART no mencionan esta característica?

La respuesta rápida es que los miembros de la comunidad HART no consideraron que esta mejora de la tecnología fuera lo suficientemente significativa. Es posible que hayan visto que su adopción requería demasiado trabajo para una mejora demasiado modesta. La falta de dispositivos de campo C8PSK HART en el mercado dio pocos incentivos para que los proveedores de sistemas de control incorporaran soporte para esta nueva capa física en sus ofertas.

Al respecto, tengo un punto de vista adicional y personal. Es una cuestión de simplicidad. La codificación FSK se puede representar fácilmente

Símbolo	Valor de bit	Fase de salida 8PSK
0	000	-112,5°
1	001	-157,5°
2	010	-67,5°
3	011	-22,5°
4	100	112,5°
5	101	157,5°
6	110	67,5°
7	111	22,5°

Tabla de asignaciones de fases de código Gray en codificación C8PSK

en un gráfico XY que muestra la señal portadora actual e incrustada en ella, las dos frecuencias involucradas en la codificación. También es obvio que la señal FSK no afecta a la señal actual porque FSK es una onda sinusoidal, por lo que su valor promedio es cero.

*Mi opinión es que la codificación C8PSK requería una comprensión más profunda de los métodos de codificación de señal digital que FSK. Nadie está dispuesto a adoptar algo que no puede entender.*

### Un tema de complejidad percibida

En comparación, C8PSK es mucho más complejo y, por lo tanto, no se puede leer fácilmente con solo observar la forma de la señal. La codificación C8PSK utiliza ocho símbolos, cada uno con tres bits de datos, y asocia cada símbolo con ocho cambios de fase. Cada fase está separada por 45° a partir de 22,5.

Dado que esto se puede ver claramente en un gráfico de tipo constelación, pero no se puede ver en una representación 2D, mi opinión es que la codificación C8PSK requería una comprensión más profunda de los métodos de codificación de señal digital que FSK. Nadie está dispuesto a adoptar algo que no puede entender.

Por supuesto, no se trataba de un tema de costos ya que, según la documentación disponible, la sustitución de un módem FSK por un módem C8PSK tenía un costo inferior a diez dólares. Teniendo en cuenta la amplia disponibilidad de dispositivos HART, el resultado más probable habría sido que el costo adicional habría sido cubierto por los fabricantes una vez que se hubieran logrado las economías de escala.

La falta de adopción de la capa física C8PSK se puede demostrar por el número de versiones de la especificación actual: Solo la 1.0 original.

El estándar de codificación C8PSK no ha cambiado desde su lanzamiento inicial. Y eso es una mala señal, más aún cuando se mira la versión actual de la especificación FSK, que es 9.1. Requirió demasiado trabajo para una mejora modesta: demasiado poco, demasiado tarde.

### ¿Y qué pasa con el direccionamiento de formato largo para multidrop?

Hay otra mejora más conocida que el protocolo HART recibió en la versión 5, el número máximo de dispositivos que se pueden conectar en una sola línea multidrop (guirnalda).

Este número, que tradicionalmente se limitaba a dieciséis dispositivos por guirnalda, se amplió a 64 con el lanzamiento de la versión 5 de la especificación HART.

Este incremento sustancial se logró mediante la incorporación de la dirección de frame largo (5 bits) como una extensión de la dirección de frame corto tradicional (4 bits). Con la dirección

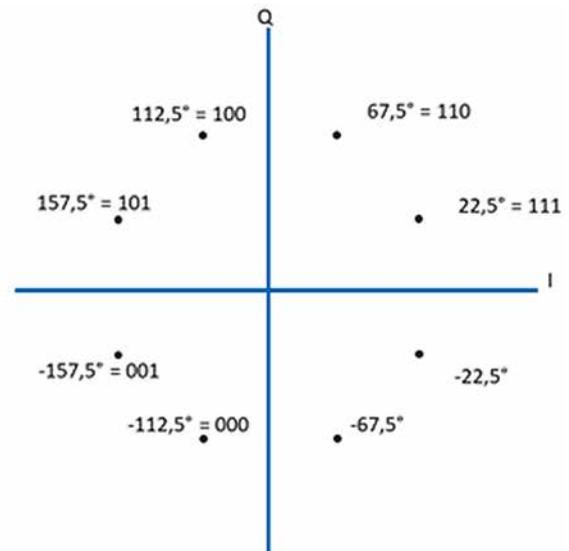


Figura 4 C8PSK Diagrama de constelación de amplitud de fase

de frame corto tradicional, dado que hay 4 bits disponibles y la dirección cero no se utiliza para la creación de redes, las direcciones uno a quince están disponibles. Con la dirección de frame largo, 5 bits están disponibles para este propósito, por lo tanto, las direcciones 1 a 63 son posibles.

*Tradicionalmente se limitaba a dieciséis dispositivos por guirnalda, se amplió a 64 con el lanzamiento de la versión 5 de la especificación HART.*

### Una vez más, ¿por qué el rango de direccionamiento extendido no se utiliza en las aplicaciones típicas de HART?

Cada dispositivo HART puede administrar cuatro variables HART, nombradas de una manera poco

imaginativa como primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias.

Cuando una dirección de dispositivo HART se establece en cero, el dispositivo transmite la variable principal a través del lazo de 4-20 mA, y las variables de campo restantes están disponibles como información codificada digitalmente enviada en codificación FSK o C8PSK.

Pero cuando la dirección del dispositivo es diferente de cero, el modo multidrop del HART se habilita y la corriente del sistema se fija, generalmente a un valor de 4 mA. Posteriormente, el host del sistema comienza a interrogar a los dispositivos HART secuencialmente. En este modo, las cuatro variables HART se transmiten digitalmente, y debido al uso de cableado en guirnalda empleado en estas aplicaciones, se puede ahorrar una cantidad significativa de cableado.

En el modo multidrop, la disponibilidad de los dispositivos incluidos en la guirnalda depende de la integridad de todos los dispositivos conectados y del cableado correspondiente. Si alguno falla, la guirnalda se interrumpe.

Esto sería todo un problema para una guirnalda de dieciséis dispositivos, y uno realmente serio en instalaciones que utilizan hasta 63 dispositivos. Los problemas de temporización pueden llegar a ser problemáticos porque la velocidad de transferencia de datos permanece fija en 1,2 kbps cuando se utiliza la codificación FSK o 9,6 kbps si hubiera algún caso de aplicaciones de codificación C8PSK.

Los problemas adicionales incluyen la conexión a tierra, la longitud del cable y los problemas de EMC, entre otros.

Esta es la razón por la que la mayoría de los multiplexores RS-485 HART fueron diseñados para ser utilizados como interfaces punto a punto. Además, es la explicación para el uso del esquema tradicional de direccionamiento de frame corto en estos dispositivos.

## ¿Por qué estas historias son importantes en la era HART IP y Ethernet APL?

El protocolo de comunicación HART ha recibido un importante impulso debido al desarrollo de la tecnología HART IP y, más recientemente, de la inminente tecnología de capa física avanzada Ethernet APL.

HART-IP ofrece la posibilidad de integrar el protocolo HART tradicional en un mensaje IP, que por lo tanto se puede enviar a través de TCP o UDP al destinatario correspondiente.

Con HART-IP, los datos HART se pueden transferir a velocidades de transferencia de datos de hasta 1 Gbps. Ese nivel de mejora hace que el aumento de diez veces ofrecido por C8PSK parezca definitivamente insignificante.

HART IP abre nuevas aplicaciones para el uso de dispositivos HART, inicialmente mediante el uso de multiplexores compatibles con HART IP.

Los multiplexores compatibles con HART IP realmente deben considerarse como puertas de enlace HART a Ethernet, ya que no ejecutan interrogaciones secuenciales a los dispositivos de campo conectados a ellos. Pueden realizar operaciones de consulta simultáneas, en paralelo, a sus dispositivos conectados, ofreciendo así un tiempo de respuesta drásticamente mejorado. Y liberan al protocolo HART de las limitaciones de los multiplexores RS-485 HART al ofrecer velocidades de transferencia de datos Ethernet estándar, que, en aplicaciones industriales típicas, oscilan entre 100 Mbps y 1 Gbps.

Ethernet APL permite el uso de redes TCP/IP a nivel de campo, lo que hace que la instalación y puesta en marcha de un dispositivo de campo Ethernet APL sea tan fácil como realizar las mismas operaciones utilizando un dispositivo de campo de 4-20 mA.

En las presentaciones de la tecnología Ethernet APL, se ha hecho hincapié en afirmar que, para

tener éxito, Ethernet APL tendrá que ser tan simple como 4-20 mA.

*Ethernet APL permite el uso de redes TCP/IP a nivel de campo, lo que hace que la instalación y puesta en marcha de un dispositivo de campo Ethernet APL sea tan fácil como realizar las mismas operaciones utilizando un dispositivo de campo de 4-20 mA.*

## La preocupación de los usuarios

Mi preocupación es que el mismo argumento se utilizó en la era de Profibus DP/Foundation Fieldbus hasta que se hizo obvio que los diagnósticos de campo de capa física eran necesarios, al menos para el trabajo de puesta en marcha y mantenimiento.

La solución vino con el desarrollo de dispositivos de diagnóstico de capa física de bus de campo, que se volvieron omnipresentes en instalaciones de bus de campo IEC 61158-2 medianas a grandes.

Los proveedores de estos dispositivos generalmente incluían un osciloscopio digital en sus productos, ya que las perturbaciones comunes de la capa física podían detectarse por la forma de onda de la señal de bus de campo.

Los ingenieros de instrumentación se familiarizaron con esta característica, y una cantidad significativa de tiempo de capacitación certificada se centró en gran medida en la comprensión de la capa física del bus de campo y el esquema de codificación Manchester.

## Ethernet APL es diferente, aún más si se usa con HART IP

Pero Ethernet APL emplea un método de codificación mucho más sofisticado y complejo que FSK o C8PSK. Y dado que utiliza la pila TCP/IP estándar, el direccionamiento funciona automáticamente.

Permítame, el lector o la lectora, hacerle una pregunta: ¿cuándo fue la última vez que requirió un diagnóstico de capa física de su conexión Ethernet doméstica u oficina (y más recientemente, SOHO)? La respuesta muy probablemente será "nunca". Esa es una ventaja clave de Ethernet APL. Dado que extiende el uso de Ethernet conmutado al campo, su promesa es hacer que la conexión de un dispositivo de campo Ethernet APL a la red industrial de una planta sea tan fácil como un dispositivo de campo de 4-20 mA a un puerto de E/S de IA correspondiente de su sistema de control o conectar su computadora portátil a una red Ethernet.

Y no necesitará comprender el método de codificación subyacente o la forma de onda de la señal Ethernet APL, como no necesita comprender su confiable conexión Ethernet diaria. ❖

## Posdata

*Terminaré esta nota con una pregunta a todos los lectores interesados en estas tecnologías: ¿qué expectativas tienen de los últimos desarrollos HART, HART IP y Ethernet APL?*

*Todavía puede hacer que sus voces se escuchen y contribuir a la próxima revolución "Ethernet to the field", que se espera que esté en el lugar principal durante los próximos años.*

Phoenix Contact patrocina este artículo. Las opiniones expuestas en este artículo son estrictamente personales. Toda la información requerida y empleada en este artículo es de conocimiento público.