

EL SISTEMA DCC: El protocolo DCC.

Santiago Rubio

La aplicación del control digital al modelismo ferroviario, data de los años 80 del siglo pasado. Entre los primeros equipos que permitían la conducción simultánea de varios trenes, se encuentra el creado por Lenz en 1980, para varios fabricantes (Arnol y Roco entre otros). A partir de 1985 Lenz comercializa su propio sistema "Digital Plus by Lenz", que no dejara de mejorar y que a partir de 1995, servirá de base a la NMRA (National Model Railroad Association), para sus normas de modelismo digital: DCC (Digital Command Control).

La llegada de la tecnología digital a nuestras maquetas, ha supuesto un importante hito en el modelismo ferroviario, permitiendo de una parte mejorar el realismo de su manejo y de otra simplificar su montaje y cableado. Montajes que en analógico requerían un elevado número de componentes y complejos cableados se ven drásticamente simplificados y especialmente si asociamos la posibilidad de control por software.

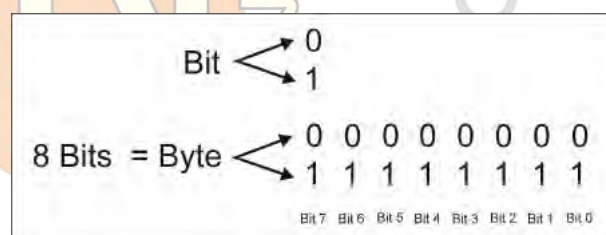
Hablamos de sistemas analógicos, cuando los valores ó magnitudes que pueden tomar las variables ó señales del sistema son de tipo continuo, como por ejemplo la temperatura. Por el contrario, hablamos de sistemas digitales cuando las magnitudes de la misma se representan a través de valores discretos en lugar de continuos; como un interruptor que sólo puede estar abierto o cerrado.

A pesar de su aparente limitación estos dos estados que convencionalmente se representan por "0" y "1" y gracias a la lógica binaria, pueden ser utilizados para múltiples operaciones y funciones.

En los sistemas digitales, como los ordenadores, estos dos estados en que se basa toda la lógica del sistema se representan utilizando dos niveles de tensión eléctrica ("bajo" y "alto") claramente diferenciados.

Los estados de una señal digital, son capaces de representar la cantidad mínima de información que puede transmitirse es lo que en informática y comunicaciones se conoce como "Bit".

Una secuencia de 8 bits, se conoce "Byte" ó palabra y es un concepto que manejaremos habitualmente. Un Byte permite codificar, de forma "comprensible" para los sistemas informáticos y digitales, 256 valores (un numero decimal entre 0 y 255). Son estos valores en su forma binaria o decimal los que utilizaremos para programar los descodificadores a través de sus Variables de Configuración (CV) que más adelante trataremos.



Los bits de un byte se consideran de derecha a izquierda, de forma que el bit situado más a la derecha se considera el bit "menos significativo" y, en general, se denomina como bit 0, mientras que el situado más a la izquierda se considera como el bit "más significativo" y se le suele denominar bit 7 (algunos fabricantes como Lenz numeran los bits de 1 a 8, en lugar de 0 a 7).

Para convertir un número binario en decimal, se debe sumar el producto de cada dígito binario, comenzando por la derecha, multiplicado por 2 elevado a la potencia correspondiente a su posición en el dígito binario, comenzando por 0.

Esto es más fácil si consideramos que cada "bit" posee un "peso" específico dentro del byte (ver

tabla siguiente). Este “peso” es lo que utilizaremos para “traducir” un número binario a decimal: multiplicaremos el valor de cada bit por su peso y sumaremos los resultados.

BYTE								
Bit	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
“peso”	128	64	32	16	8	4	2	1
Decimal = (bit7 x 128) + (bit6 x 64) + (bit5 x 32) + (bit4 x 16) + (bit3 x 8) + (bit2 x 4) + (bit1 x 2) + (bit0 x 1)								
Ejemplos								
00000000 = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0								
10010110 = 128 + 0 + 0 + 16 + 0 + 4 + 2 + 0 = 150								
11111111 = 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 255								

Convertir un número decimal a binario es algo más complicado, pero habitualmente no lo vamos a necesitar. En cualquier caso para los que no quieran hacer cálculos, la calculadora científica de Windows permite transformar un número binario a decimal y a la inversa de forma sencilla y rápida.

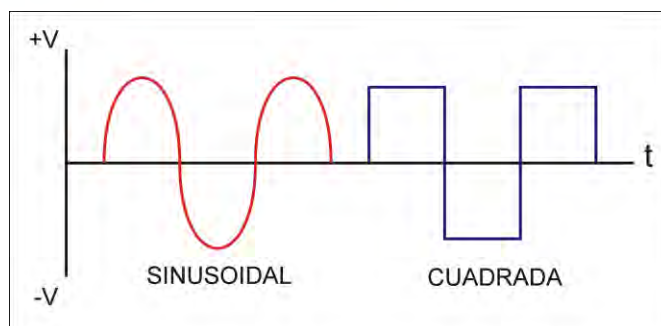
En el control “analógico” tradicional, las vías son alimentadas por un transformador cuyo voltaje de salida es posible variar de forma continua y en función del cual los motores adquieren más o menos velocidad. Como consecuencia todas las locomotoras que se encuentren en la misma vía reaccionaran de forma parecida, con pequeñas diferencias, dependientes de las características de sus motores y sistemas de transmisión.

Por el contrario, en un control digital las vías son alimentadas por una corriente de voltaje constante, sobre la que se superpone una codificación generada por la central digital. En la locomotora el decodificador, reconoce dichas señales, las interpreta (descodifica) y en función de las mismas suministra corriente al motor con el voltaje y polaridad necesarios para que se desplace según las órdenes recibidas desde la central.

La posibilidad de “modular” una corriente eléctrica, para que pueda transmitir información además de energía es conocida y utilizada desde hace mucho tiempo y de hecho, en modelismo ferroviario, se han utilizado sistemas que utilizaban esta propiedad. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas continuaban manejando señales de tipo analógico que producían problemas de rendimiento y capacidad, que limitaban su uso, por ello el sistema actual opta por una estrategia diferente: utilizar señales digitales.

Se utiliza corriente alterna pero, a diferencia de la corriente alterna a la que estamos acostumbrados, y cuya polaridad varía en el tiempo de forma progresiva, generando lo que se conoce como corriente de onda sinusoidal, se utiliza un tipo de corriente alterna cuya polaridad cambia de forma “brusca” generando una corriente de onda cuadrada.

Una onda de este tipo, permite ser modificada (modulada) en la amplitud o anchura de los pulsos y, con los sistemas adecuados, esta modificación de la anchura de los pulsos puede ser utilizada para transmitir información, de una forma parecida a lo que sucede con las ondas de radio.



Las posibilidades de transmitir información por este sistema son muchas, pudiendo utilizarse múltiples "protocolos" ó idiomas diferentes que, por desgracia suelen, resultar incompatibles entre sí.

Por ello la NMRA (=National Model Railroad Association, que agrupa a las asociaciones de modelismo americanas) decidió seleccionar uno de estos protocolos o lenguajes, concretamente el conocido como DCC (=Digital Command Control), originalmente desarrollado por Lenz, como estándar.

Dicho estándar define una serie de parámetros "obligatorios", que todos los fabricantes deben necesariamente cumplir y que definen: La forma de la señal eléctrica enviada a la vía, es decir, como se traduce, en forma de señal eléctrica, un cero y un uno.

- Cómo se codifican las órdenes en binario y como se envían.
- Qué órdenes pueden intercambiarse entre el control y los receptores, qué significado tienen y qué información compone cada orden (también denominado "paquete" de información)
- para poder ser considerados DCC, unos "recomendables" pero no obligatorios y una serie de parámetros "libres" que permiten cierto juego a los diferentes fabricantes para implementar posibilidades no contempladas en el estándar DCC.

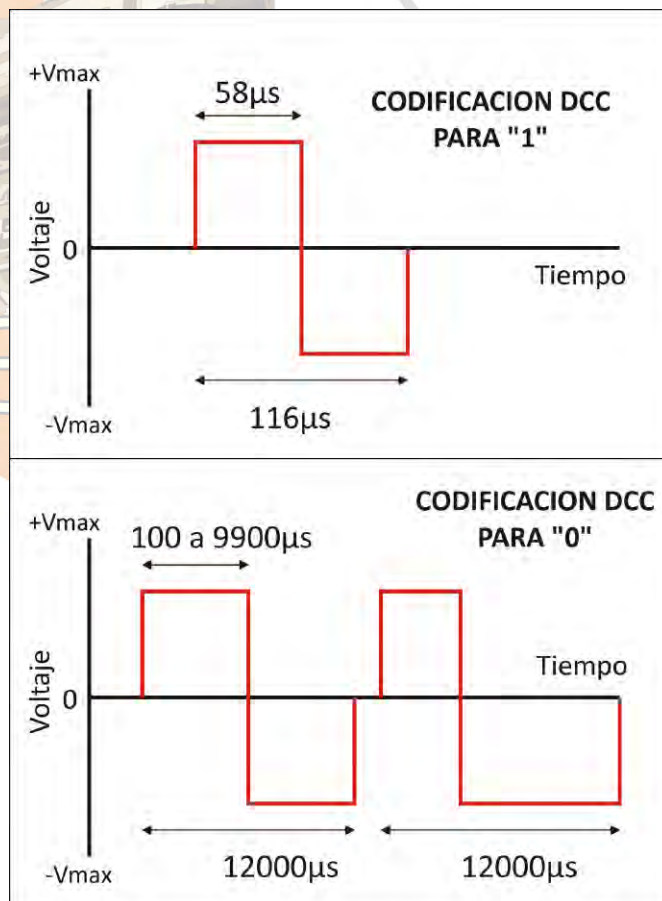
Además existen una serie de normas o definiciones "recomendadas" que los fabricantes pueden utilizar para dotar a sus sistemas de más prestaciones sin salirse del estándar.

La señal eléctrica del sistema DCC es, como ya hemos anticipado, una onda cuadrada bipolar cuyos valores pico de tensión dependen de la escala (en N se establece entre +14V y -14V), codificándose los valores alto y bajo (0 y 1) mediante un cambio en la amplitud ó duración de los pulsos (cambio de frecuencia); de forma que (con una cierta tolerancia) un bit 1 se identifica con un pulso corto y un bit 0 con uno largo, de la siguiente forma:

- Un bit con valor 1 se codifica con una transición entre los máximos valores positivo y negativo, con una duración de 116 μ s, en la que el pulso positivo y el negativo tienen la misma duración.
- Un bit con valor 0 se codifica igualmente con una transición entre los máximos valores positivo y negativo, pero con una duración de cada pulso entre 100 y 9900 μ s, en la que el pulso positivo y el negativo pueden tener diferente duración, pero sin que la duración total exceda los 12000 μ s.

Hay que añadir que esta norma está recogida también por las normas NEM europeas (NEM 670 que corresponde al Standard NMRA S 9.1)

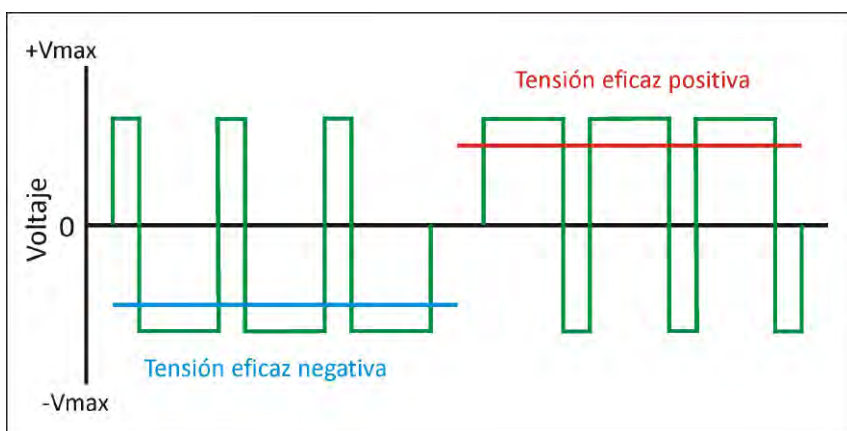
Dado que en el sistema DCC pues, las vías están PERMANENTEMENTE BAJO TENSION ALTERNA y que es el decodificador instalado en



cada locomotora en encargado, en función de las órdenes recibidas, de alimentar con un voltaje mayor o menor el motor de la locomotora, resulta, en principio, imposible hacer circular una locomotora analógica.

Sin embargo, existe una posibilidad real aunque poco recomendable, de hacer funcionar UNA UNICA locomotora analógica en un sistema digital DCC. Esta se basa en el concepto de "tensión eficaz" de la corriente alterna y a ello se debe el que la norma permita que en el caso de los bits "0", la duración de la semionda positiva ó negativa sea diferente.

La diferente duración de la semionda positiva ó negativa del bit "0" permite generar una corriente eficaz cuyo voltaje y polaridad podemos modificar, permitiéndonos así controlar la velocidad y sentido de UNA locomotora analógica sin interferir con el funcionamiento de las locomotoras dotadas de decodificador.

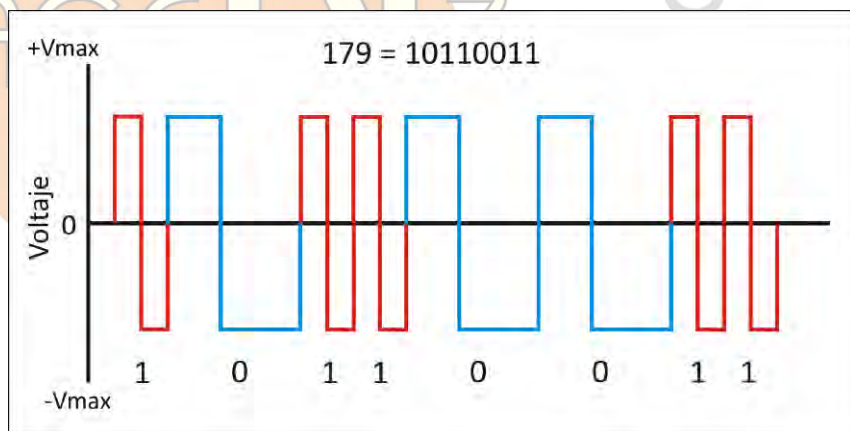


Esta posibilidad, disponible a través de la dirección "0", no es sin embargo muy recomendable, pues debido a las características de la corriente se generan sobre el motor muchos efectos indeseables (calentamiento, vibraciones, ruidos) que pueden "acabar" con él. Circunstancia que no sucede en las locomotoras digitales, dado que el motor no es

alimentado directamente con la corriente de vía, sino que esta es previamente transformada y filtrada por el decodificador en una corriente, también pulsante, pero regular y de alta frecuencia que evita estos efectos (y que es similar a la generada por los conocidos controladores analógicos de corriente pulsante diseñados para mejorar el rendimiento de los motores). De hecho la mayoría de fabricantes incorporan en los decodificadores la posibilidad de modificar las características de la corriente de salida del decodificador para mejorar el rendimiento de los diferentes tipos de motores.

Así pues vemos como la corriente que hemos generado puede contener información, de forma que, por ejemplo el número 179 = 10110011 se representaría por la secuencia de pulsos de la derecha.

Con esto podemos ya enviar instrucciones a través de las vías, sin embargo, para garantizar el control, dichas instrucciones deben poder ser reconocida sin errores por el decodificador al que van dirigidas y éste, además debe saber que lo que ha recibido no contiene errores. Para ello a los bits que contienen las instrucciones propiamente dichas, se les añaden otras señales de control. La secuencia de ordenes propiamente dicha, se denomina "paquete".



Una secuencia de control básica DCC estaría formada por los siguientes elementos:

- 1.- **PREAMBLE.** Es una secuencia de al menos 10 bits con el valor "1". Sirve para "avisar" de que va a ser enviado un mensaje.
- 2.- **PACKET STAR BIT** (Bit de inicio del paquete). Es un bit de valor "0" que tras la secuencia del preambulo, indica el comienzo de las ordenes.
- 3.- **PAQUETE DE DATOS**, de tamaño variable entre 3 y 6 bytes está formado por
 - a. ADDRESS DATA BYTE (Byte de dirección). Conjunto de 1 ó 2 bytes con la "dirección" del decodificador al que van destinadas las instrucciones, de forma que estas sean obedecidas exclusivamente por este y no por el resto.
 - b. INSTRUCTION DATA BYTE (Byte de instrucciones). Conjunto de 1 a 3 bytes con las instrucciones propiamente dichas.
 - c. ERROR DATA BYTE (Byte de error). Es un código de control que permite al decodificador determinar si el paquete se ha recibido correctamente.
 - d. Además, cada uno de estos tres elementos se separan por un bit a "0"
- 4.- **PACKET END BIT** (Bit de fin de paquete), es un bit de valor "1" que indica el final de la secuencia.

La secuencia de órdenes (Instruction data byte) estándar DCC nos permite controlar una serie de parámetros de las locomotoras y accesorios, cuya descripción general es la siguiente:

- **Órdenes de sentido y velocidad.** Sirven para ordenar el sentido de marcha y velocidad de la locomotora. Se admiten diferentes formatos según el número mayor o menor de pasos de control admitidos por el sistema y que habitualmente son 14, 28 o 128. Cada uno de estos pasos equivale a un nivel de tensión que debe recibir el motor entre 0V y la tensión máxima, por lo tanto cuanto mayor sea el número de pasos menor será el "salto" de tensión y más fina la regulación de la velocidad. Existen, además, una serie de valores especiales que definen el sentido de marcha y la parada de emergencia.
- **Órdenes de función.** Sirven para indicar la activación/desactivación de las diferentes funciones de las que sea capaz el decodificador y que sirven para gobernar fumígenos, desenganchadores, sonidos, etc. salvo las luces. Estas poseen una función propia, independiente de las anteriores (que requiere 28 o 128 pasos) denominada F0 y que se caracteriza porque además del control manual que su encendido/apagado y programar diversos efectos, funciona automáticamente modificando las luces según el sentido de marcha.
- **Variables de Configuración.** Es una de las más importantes para nosotros y que veremos en detalle posteriormente. Aquí diremos que se trata de una serie de instrucciones que permiten modificar la programación de los decodificadores de las locomotoras para adecuarlos a la locomotora o a nuestros gustos. Instrucciones de Accesorios. Se utilizan para el control de los decodificadores de Accesorios, de los que hablaremos y que sirven para el gobierno de señales, desvios, desenganches, luces...
- **Reset.** Activa la parada de emergencia.

Por su parte los bytes de dirección permiten determinar a qué decodificador concreto van destinadas las ordenes anteriores, existen diferentes rangos de direcciones según se destinen a decodifica-

dores de locomotoras o de accesorios y además una serie de direcciones especiales, reservadas, algunas sin utilizar y otras que permiten funciones especiales. Entre estas, se encuentran direcciones que son reconocidas por todos los decodificadores (000000) que se utiliza para la parada de emergencia del sistema y direcciones que reconocen algún tipo de decodificador específico y que se utilizan para funciones especiales, como la creación de zonas de frenado automáticas.

Todas estas órdenes recibidas por el decodificador, son mantenidas en la memoria interna del mismo hasta que son modificadas o anuladas por otra orden ó hasta que se corta la corriente del decodificador. Así teóricamente sería suficiente con transmitir la orden una vez para que el decodificador siguiera cumpliéndola indefinidamente. Sin embargo, en la realidad, la alimentación del decodificador es un tanto precaria; la suciedad, deficiencias en el trazado, la falta de amortiguación en las ruedas, etc genera irregularidades y microcortes (algunos no tan “micro”) de corriente que pueden hacer perder la información al decodificador y por tanto su programación.

Para evitar esto, la señal enviada a la vía no es única, sino que la central, de forma cíclica, y cada pocos milisegundos repite las últimas órdenes generadas, permitiendo así “restaurar” las posibles pérdidas de información del decodificador. Dado que las ordenes deben repetirse para TODOS los decodificadores, la central posee una memoria interna en la que va almacenando todas las direcciones de decodificadores usadas por nosotros y, generalmente de forma permanente hasta que las borremos.

Esto tiene una serie de implicaciones prácticas, positivas y negativas, que deberemos tener en cuenta. Puesto que la central no sabe que locomotoras están realmente en vía y que la memoria de la central no es volátil, las órdenes son emitidas para todas las direcciones memorizadas. Como consecuencia negativa, si existen 30 direcciones memorizadas se repetirán cíclicamente las instrucciones para las 30 con independencia de si la locomotora correspondiente esta en uso o no. Dado que cada transmisión requiere un tiempo conforme aumenta el número de direcciones disminuye la frecuencia con que las órdenes son reenviadas, con lo que si existen muchas locomotoras en memoria el tiempo desde que damos una orden hasta que esta es recibida por el decodificador aumenta y, a veces, de forma significativa. Por ello, es conveniente eliminar periódicamente direcciones de la memoria de la central y especialmente en sistemas de control por software, dado que en este caso se suman los tiempos necesarios para la transmisión de datos entre el ordenador, el software y la central.

Por otra parte, y como consecuencia positiva, esta repetición de órdenes permite que cuando una locomotora digital se encuentre en un tramo sin corriente, al restablecer esta, el decoder recupere su ultima programación y puede continuar la marcha de forma normal; siendo posible así y por ejemplo, aprovechar un sistema analógico de detención ante una señal por corte de corriente de la vía.

Este es uno de los inconvenientes de por el momento casi toda la información sea UNIDIRECCIONAL, es decir que la información se produce en la CENTRAL y es transmitida a los DECODIFICADORES pero no a la inversa. Existiendo como única excepción, común a todos los decodificadores, la capacidad de éstos para generar pequeñas sobretensiones y que se aprovecha cuando se modifica su programación para informar a la central de que dicha programación ha sido efectuada (es el motivo por el cual cuando programamos el decoder de una máquina podemos ver un pequeño parpadeo o una pequeña actividad en el motor).

No obstante existen ya sistemas capaces de BIDIRECCIONALIDAD, como el sistema propietario de “Zimo” (requiere que “todo” el sistema sea Zimo para poder funcionar) ó el sistema RailCom de Lenz (que aspira a convertirse al igual que el DCC en estándar). Esta bidireccionalidad, al permitir transmitir información desde el decoder de la locomotora, nos permitirá conocer no solo QUE vías están ocupadas sino también saber POR CUAL DE LAS LOCOMOTORAS y el ESTADO de dicha locomotora.

En este punto hay que hacer una aclaración, tanto el sistema RailCom, como el de Zimo, utilizan

el propio decodificador como receptor/emisor (de hecho la serie de decodificadores Lenz Gold ya llevan el software y varios de los decoders Zimo pueden programarse para que sean compatibles) permitiendo la comunicación bidireccional entre la central y el decoder de forma continua y en cualquier parte de la vía.

Esto los diferencia de sistemas como LiSSY, que requieren de un elemento emisor en la locomotora que transmita la información del decoder hacia los receptores, situados en posiciones fijas del trayecto, que son los encargados de transmitir la información a la central cuando el vehículo pasa sobre ellos.

Santiago Rubio Félix (Santiago)

