

UT05. Redes multiplexadas: CAN bus de datos

Terminología, definiciones...

- **Bus de datos:**

sistema de transmisión de información, datos, en formato digital, de manera secuencial y serial por un número limitado de líneas

- **CAN bus:**

protocolo de comunicaciones basado en una arquitectura de bus para la transferencia de mensajes en tiempo real, desarrollado por la casa Bosch para su uso en automóviles

- **Multiplexado:**

El multiplexado consiste en unir diferentes Unidades de Control Electrónicas con un número restringido de cables, permitiendo enviar a las diferentes UCEs los datos que proceden de una de ellas.

- **Red de datos:**

mapa de las conexiones multiplexadas que se localizan por zonas o áreas donde se establece el intercambio de información.

- **Nodo:**

punto de enlace o conexión a una red multiplexada por parte de uno de sus componentes para el intercambio de información.

- **Bit:**

«binary digit», número en binario, representa una información individual, por ejemplo apagado»/«encendido» o bien «0»/«1».

- **Byte:**

conjunto de 8 BITS, también llamado OCTETO.

- **Kbit/s:**

velocidad de transmisión de datos, 1000 bits por segundo = 1Kbit/s

Sistema decimal	Sistema binario	Sistema hexadecimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

Los dos posibles valores que puede tener un bit (0 o 1) son en realidad valores de tensión.

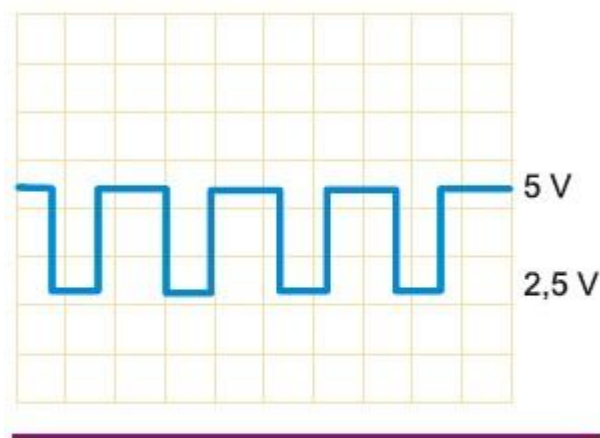


Figura 3.10. Ejemplo de señal cuadrada.

COMPONENTES DE LAS REDES MULTIPLEXADAS

- **Emisores y receptores:** Unidades de control.
- **Canal de comunicación:** El canal de comunicación puede ser un bus de datos, un cable de fibra óptica o el aire si se trata de una red de transmisión inalámbrica.
 - ✓ Bus de datos: Cable de 0,6mm². Monoalámbricos o Bialámbricos (trenzados)
 - ✓ Cables de fibra óptica: Transportan luz, cuentan con un recubrimiento reflectante transparente y una protección de color negro para facilitar que la luz rebote y avance por sus paredes.
- **Protocolo de comunicación:** Es el lenguaje empleado en la comunicación, se trata de un conjunto de reglas determinadas previamente y que deben conocer tanto el emisor como el receptor.

CLASIFICACIÓN DE LAS REDES MULTIPLEXADAS

Las redes multiplexadas utilizadas en el vehículo se clasifican según:

- La velocidad de transmisión de datos.
- El tipo de señal empleada.
- El protocolo de datos empleado.

Velocidad de transmisión de datos:

Se mide en Kilobits por segundo. Varía según las necesidades del sistema.

Van de 10kbps a 1 Mbps.

Tipo de señal:

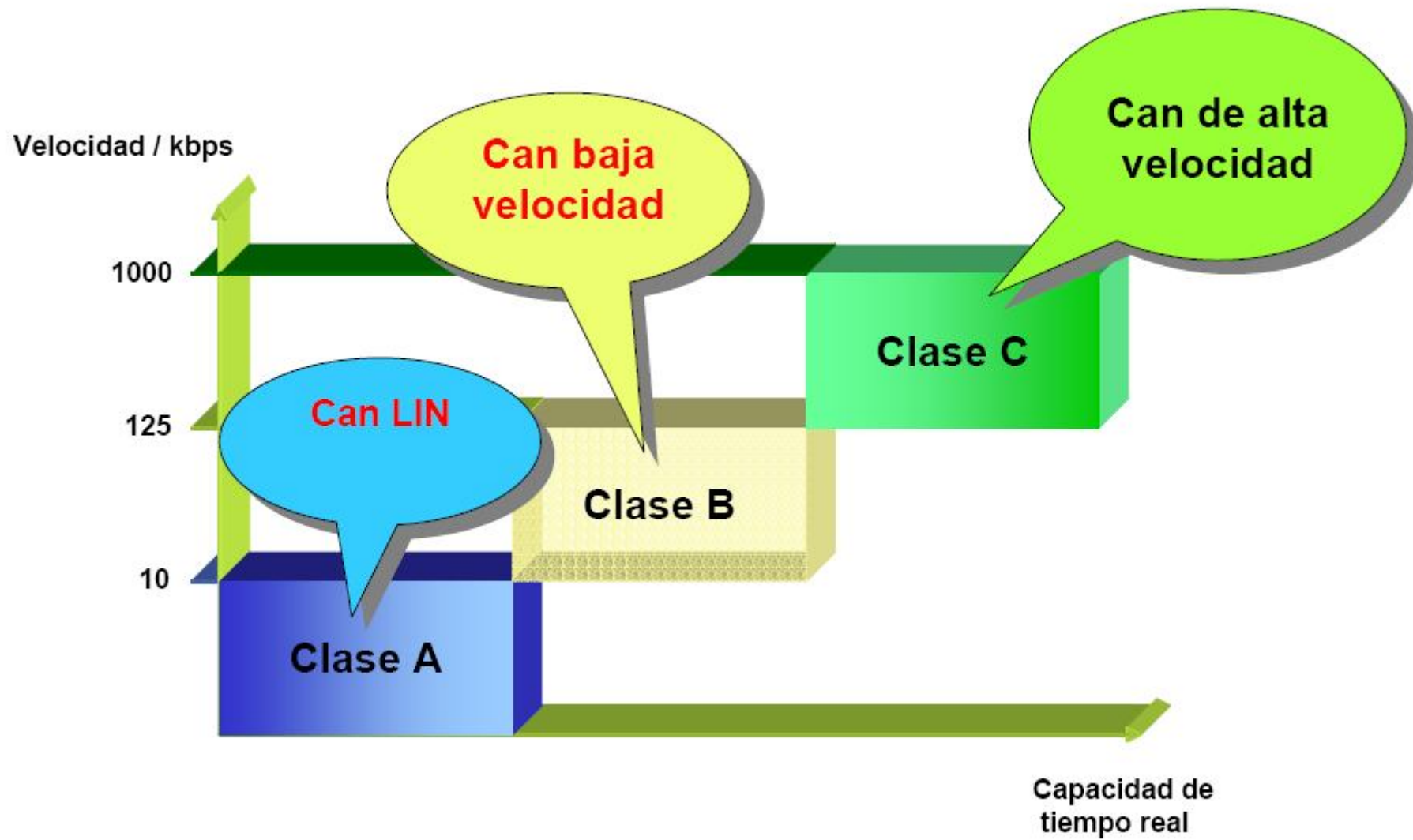
- Eléctrica: En forma de señal eléctrica cuadrada a través de un bus de datos. (CAN, VAN, LIN, Flex Ray)
- Luminosa: Mediante fibra óptica: Infotainment (dvd, manos libres, radio...) Most bus.
- Ondas de radio: Bluetooth y wifi. En investigación. (se emplean en navegador o manos libres)

Protocolos de comunicación:

Can, Van, Lin, Most

Protocolos de comunicación

- Can bus: Alta velocidad de comunicación de datos.
- Lin bus: Extensión del CAN. Velocidad de transferencia muy inferior. Ej. Climatizador
- Most bus: Sistema de transmisión de datos mediante fibra óptica. Velocidad de transmisión de datos mas de 20 veces superior al CAN, Usos: Audio, televisión.
- Van Bus: Utilizado por PSA, similar al CAN. Prestaciones inferiores.
- Flex Ray: Reciente aparición, mejora al Can sobre todo en velocidad.



3.6. Topología de redes

Las unidades de control se encuentran interconectadas a través de sistemas de buses de diferentes maneras. La topología de la red nos indica cómo es esta interconexión, siendo las más empleadas las siguientes:

- En anillo.
- En estrella.
- Tipo bus.

En anillo

En la estructura de anillo la información sigue un camino circular hasta que llega a la centralita a la que va dirigida. Un error en una centralita afecta a toda la red. La red más utilizada en vehículos con estructura de anillo es la red de fibra óptica MOST.

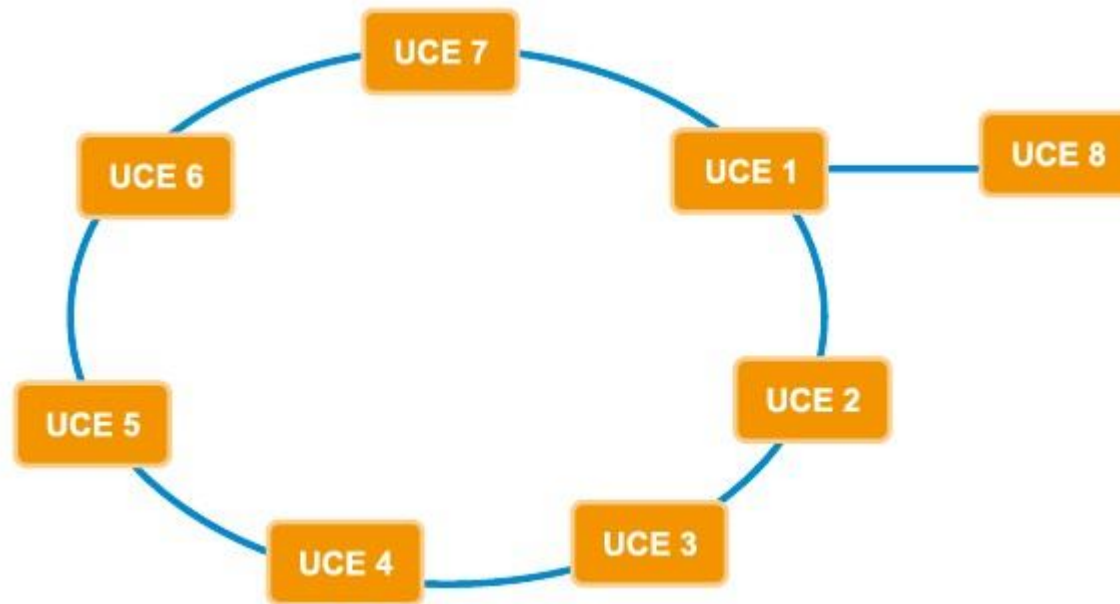


Figura 3.17. *Ejemplo de red multiplexada con topología en anillo.*

■ ■ ■ En estrella

Todas las unidades de control están unidas a una centralita principal, siendo esta la que gestiona toda la información. Un error en la centralita principal afecta a toda la red.

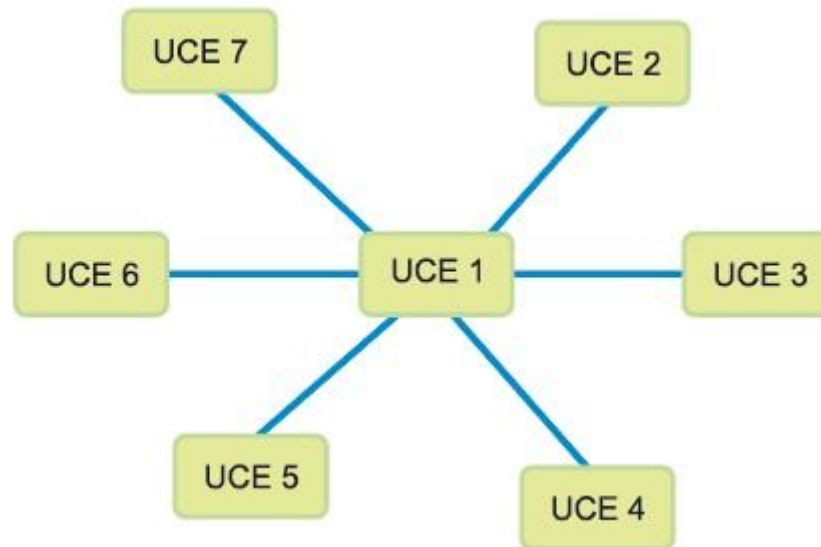


Figura 3.18. Ejemplo de red multiplexada con topología en estrella.

■ ■ ■ Tipo bus

Es la empleada en las redes más comunes, como son CAN o VAN, y todas las centralitas se comunican a través de un bus de datos.

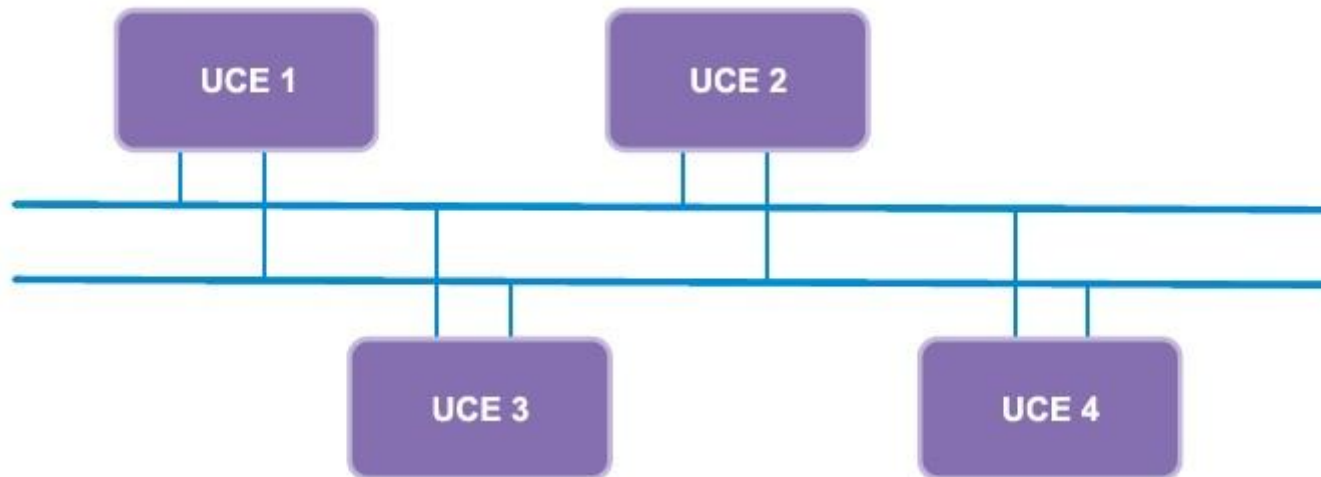


Figura 3.19. Ejemplo de red multiplexada con topología de buses.

Para profundizar en la estructura tipo bus diferenciaremos, en primer lugar, una centralita maestra de una centralita esclava. La centralita maestra está conectada al bus directamente y la esclava está conectada a una maestra, que a su vez conecta con el bus principal. Una red multimaestra es aquella en la que todas las centralitas son maestra, es decir, envían y reciben datos directamente del bus, como ocurre en las redes CAN y VAN.

La red LIN, sin embargo, tiene una estructura maestro-esclavo, ya que unas centralitas dependen de otras. En este tipo de estructura una misma centralita puede ser maestro y esclava a la vez, ya que puede depender de otra centralita y al mismo tiempo que una tercera dependa de ella.



Figura 3.20. Estructura de red maestra-esclava.

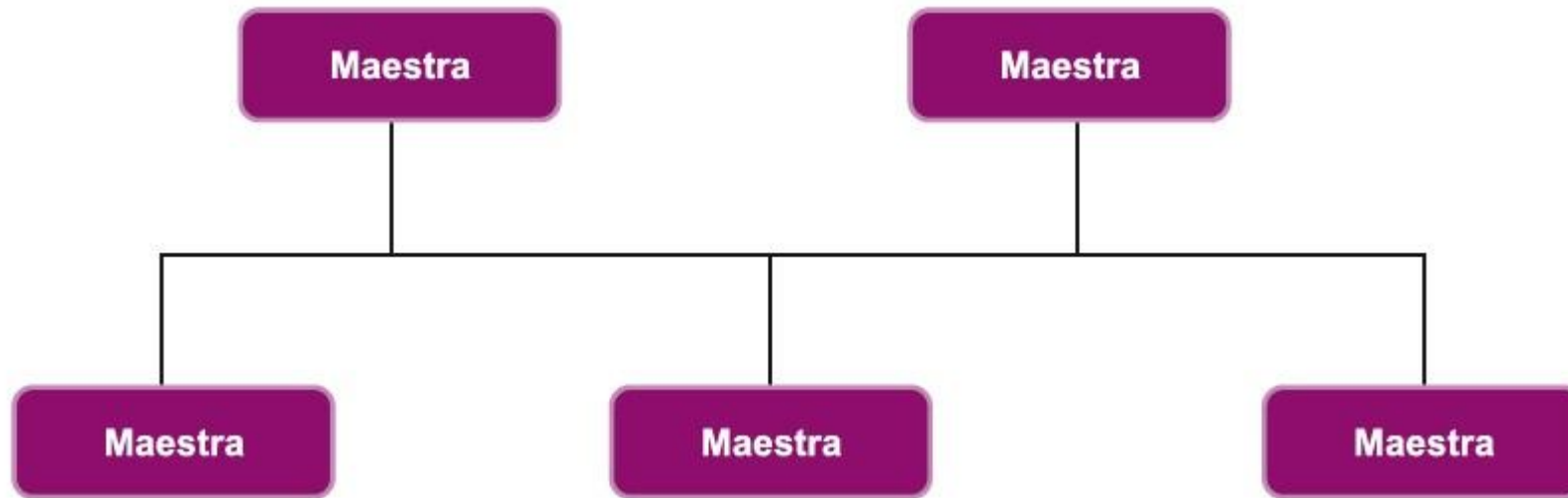
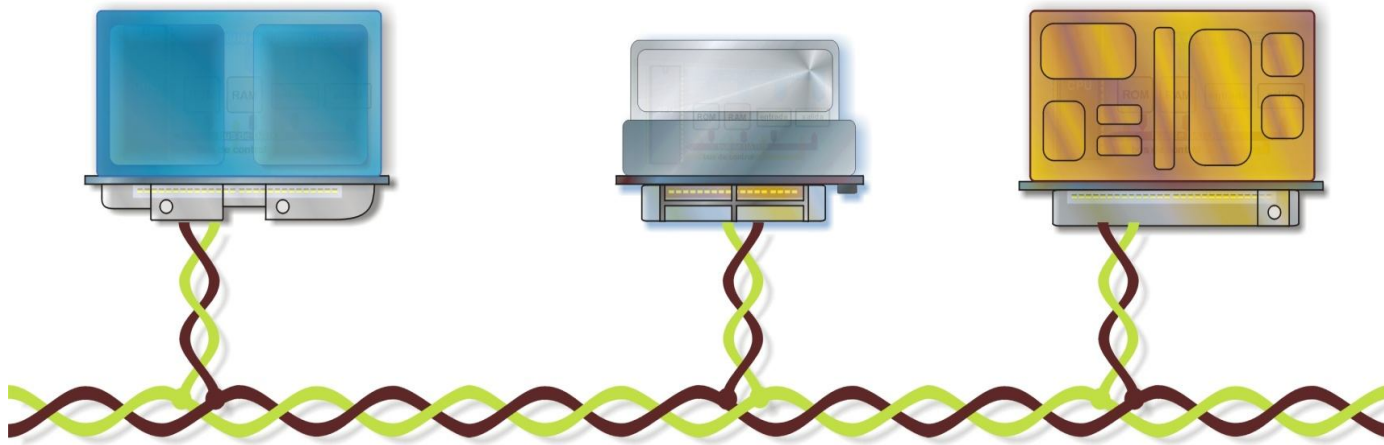


Figura 3.21. Estructura de red multimaestra.

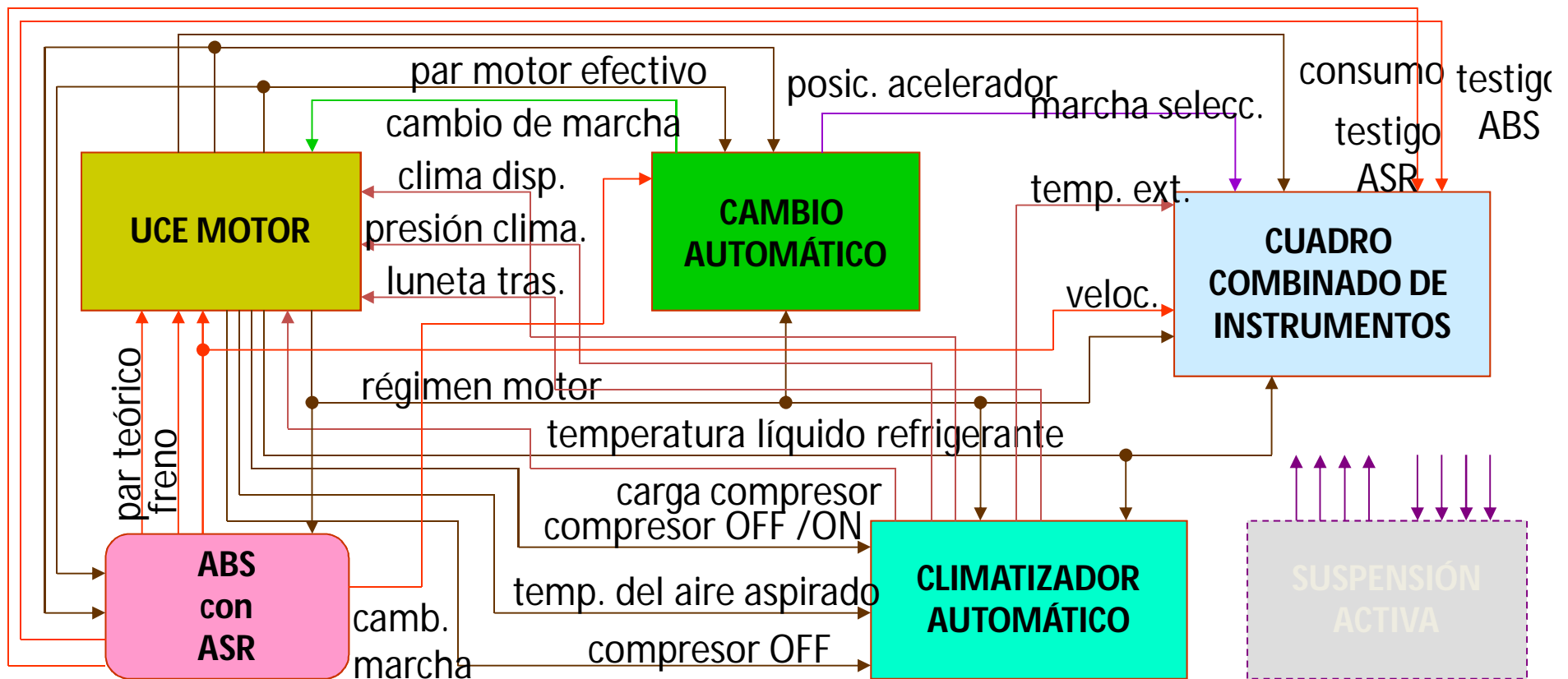
Dentro de un mismo vehículo coexisten redes con distinta topología y todas ellas se interconectan entre sí mediante una centralita denominada pasarela o gateway.



CAN BUS

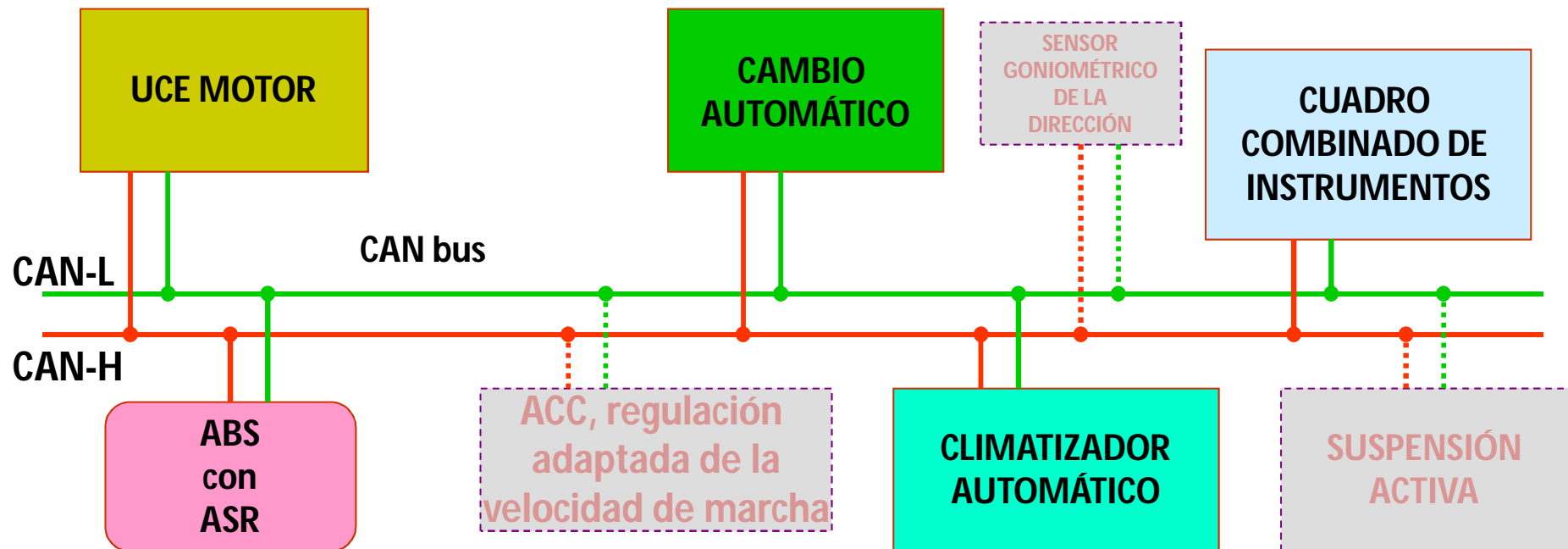
antes de aplicar CAN...

el intercambio de información entre unidades de control, como son UCE motor, cambio automático y unidad de ABS con ASR, cuadro combinado de instrumentos y climatizador automático, se realiza punto a punto, son conexiones eléctricas dedicadas unidireccionales...



la comunicación aplicando el bus CAN

la necesidad de intercambio de información ha crecido a tal magnitud que los cables conectados a las Unidades de Control tenían una longitud de varios kilómetros y se contaban por centenas los conectores requeridos. Esto produjo un aumento de los problemas acerca del costo del material, tiempo de la producción y fiabilidad. La solución a este problema era la conexión de los sistemas de mando a través de un bus de datos.



Introducción al CAN bus de datos

La red multiplexada CAN es la más extendida en la actualidad. Desarrollada por Robert Bosch en 1980.

- el CAN es un protocolo de comunicaciones entre UCEs
- basado en el bus serie con arquitectura multimaestro
- aplicaciones en tiempo real con hasta 1 Mbps de transmisión de datos
- alta inmunidad al ruido,
- detecta y corrige errores, discrimina a las UCE con problemas
- mensajes son difundidos por toda la red, "broadcast" (radiodifusión)
- acceso al bus queda priorizado por el identificador del mensaje
- el identificador del mensaje esta asignado a un nodo
- codificación NRZ para la transmisión de mensajes
- utilización del bit de relleno para sincronización
- número de nodos no limitado por el protocolo
- acceso al bus según protocolo CSMA/CD+CR

3.7.1. Tipo de señal transmitida por una red CAN

Los buses utilizados en las redes CAN son bialámbricos, es decir, constan de 2 cables, llamados *CAN High* y *CAN Low*.

Por cada cable del bus circula una señal cuadrada que varía entre dos valores, y siempre se cumplirá que ambas señales cuadradas son simétricas. De esta forma, la diferencia de tensión entre las dos líneas del bus solo puede tomar dos valores, representando cada uno de ellos un bit. El bit dominante o bit 0 representa la mayor diferencia de tensión entre señales. El bit recesivo o bit 1 representa la menor diferencia de tensión entre señales. Dicha adjudicación de bits está definida por la norma ISO.



Figura 3.28. Señal de CAN Bus. El bit dominante (0) se da cuando la señal H y L se separan. El bit recesivo (1) cuando las₁₉ señales se juntan.

TIPOS DE REDES CAN

- Alta velocidad (Can High Speed o HS): 500kbps a 1Mbps.
- Baja velocidad (Can Low Speed o LS): 250kbps

En una línea CAN de alta velocidad la transmisión del protocolo de datos tarda aproximadamente 0,25 milisegundos (ms) y cada unidad de control intenta transmitir sus datos entre 7 y 20 milisegundos, dependiendo de la unidad de control de que se trate. Por ejemplo, la centralita de ABS transmite cada 7 ms normalmente, y la de gestión del motor cada 10 ms. Los valores de tensión suelen oscilar entre 1,5 y 2,5 V en el cable CAN-L y entre 2,5 y 3,5 V para el CAN-H.

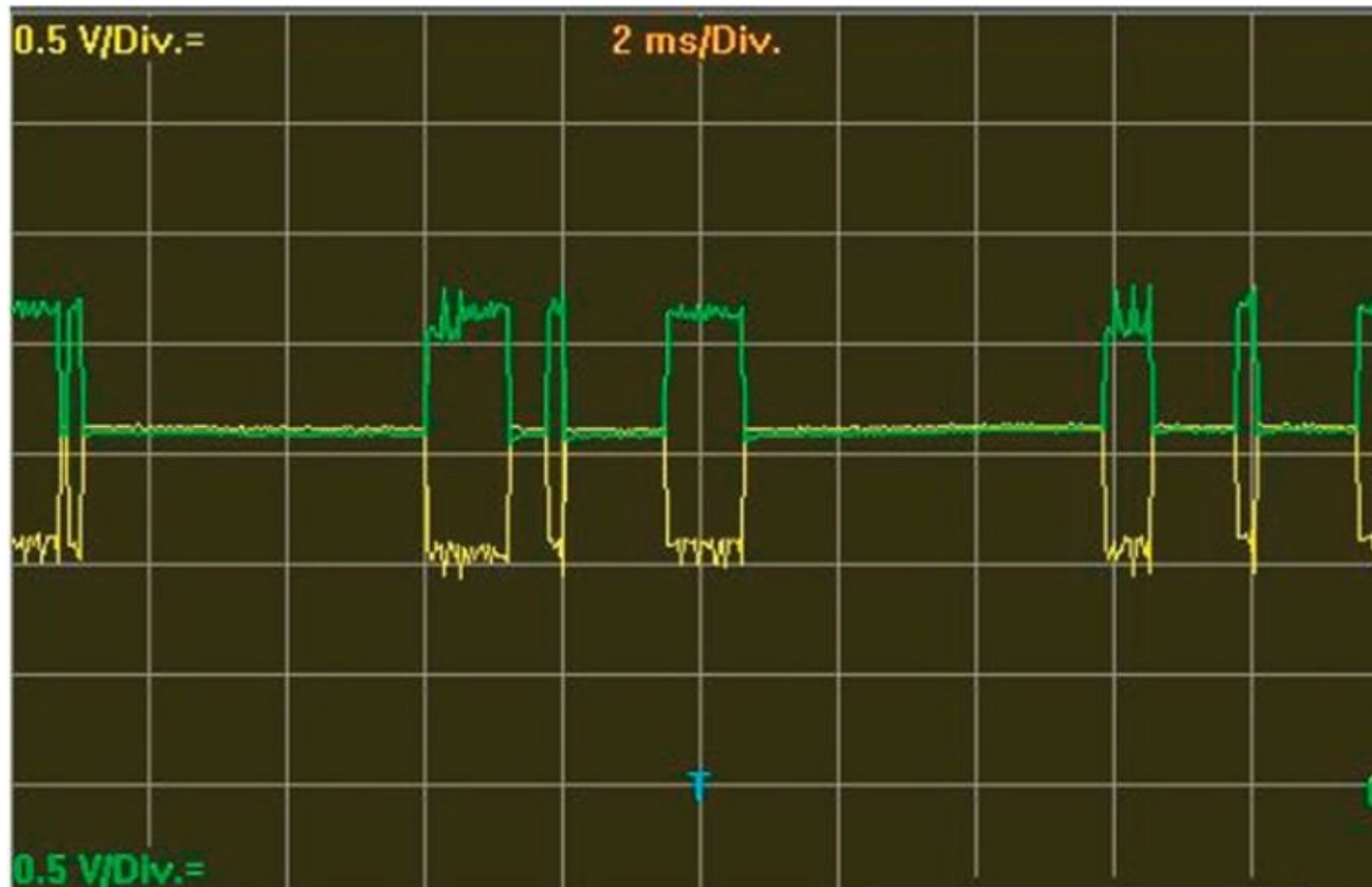


Figura 3.32. Imagen de osciloscopio de una señal CAN High Speed.

El más claro ejemplo de una línea CAN LS (baja velocidad) es el sistema CAN Confort. Originalmente esta red estaba constituida por una unidad de control central y dos o cuatro unidades de control de puertas. Posteriormente se le fueron añadiendo dispositivos tales como asientos eléctricos, climatización, aparcamiento asistido, etc.

En un principio, la velocidad de transmisión del sistema CAN Confort era de 62,5 Kbits/s, pero actualmente es frecuente encontrar vehículos con velocidades de transmisión de 100 Kbps, cuya transmisión del protocolo de datos tarda aproximadamente 1 milisegundo (ms). Cada unidad de control intenta transmitir sus datos cada 20 milisegundos.



Figura 3.34. Señal CAN Low Speed separados los dos canales

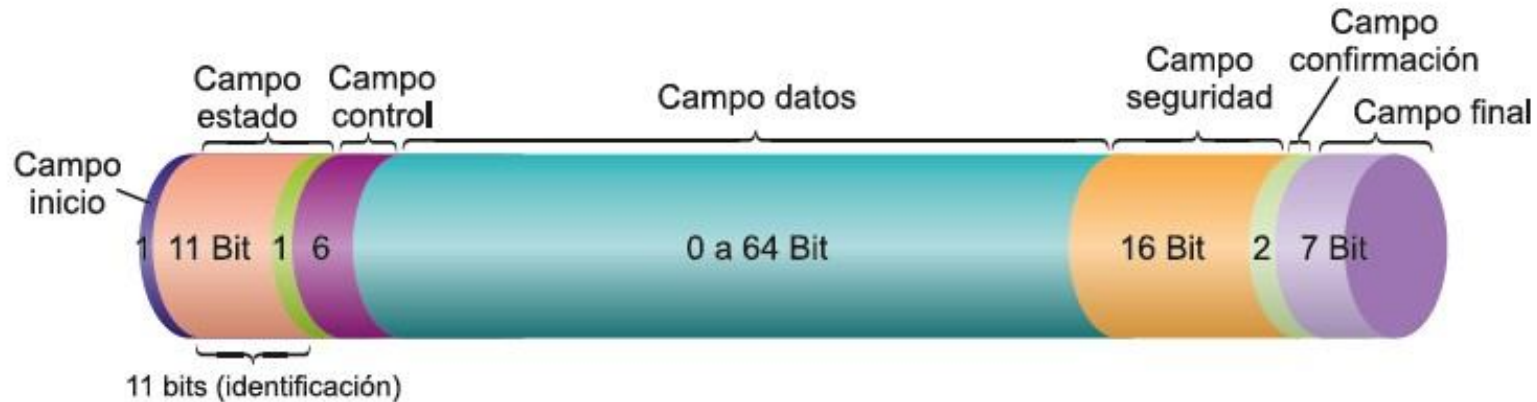
PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN CAN BUS

Los mensajes o tramas de datos son series de bits en forma de ceros y unos que se agrupan en campos. Para poder leer estos mensajes hay que conocer los campos que los forman, que son los siguientes:

- Campo de comienzo.
- Campo de estado.
- Campo de control.
- Campo de datos.
- Campo de aseguramiento.
- Campo de confirmación.
- Campo de fin de la trama.
- Separador de tramas.

CAN 2.0A o “CAN estándar”
CAN 2.0B o “CAN extendido”

TRANSMISIÓN ESTÁNDAR



TRANSMISIÓN EXTENDIDA

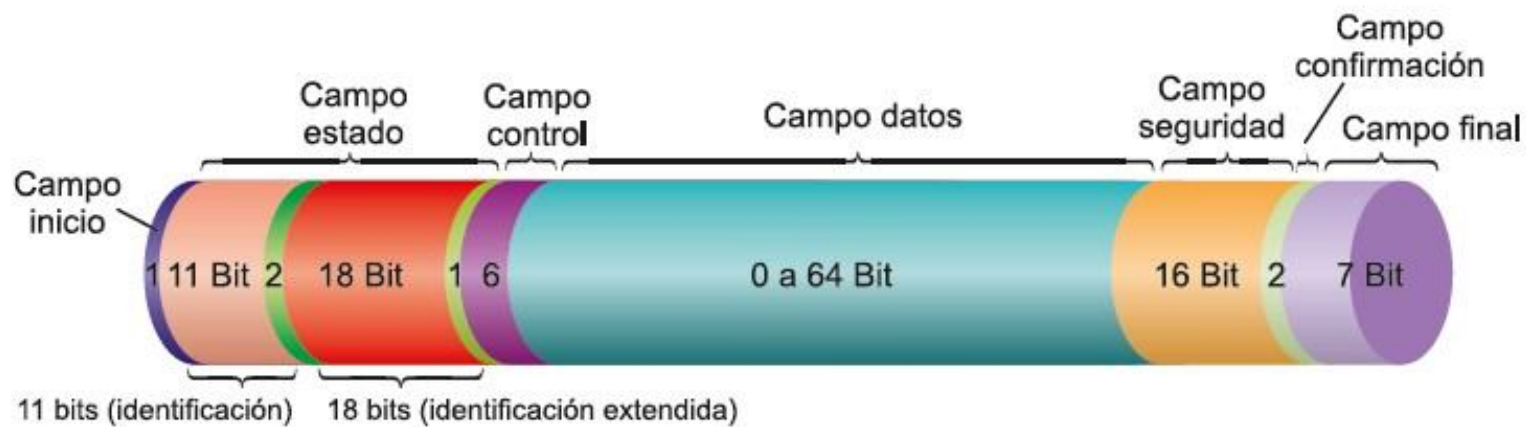
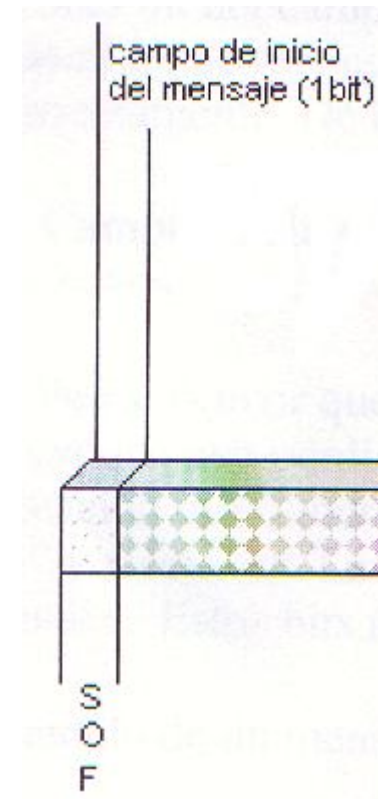


Figura 3.39. Campo de control con un formato de transmisión estándar y con un formato de transmisión extendido.

❶ Inicio de la trama o campo de comienzo

1 bit dominante para sincronizar las unidades conectadas al bus indicando el comienzo de la transmisión del mensaje.



② Campo de Arbitraje o de estado

Determina la prioridad del mensaje

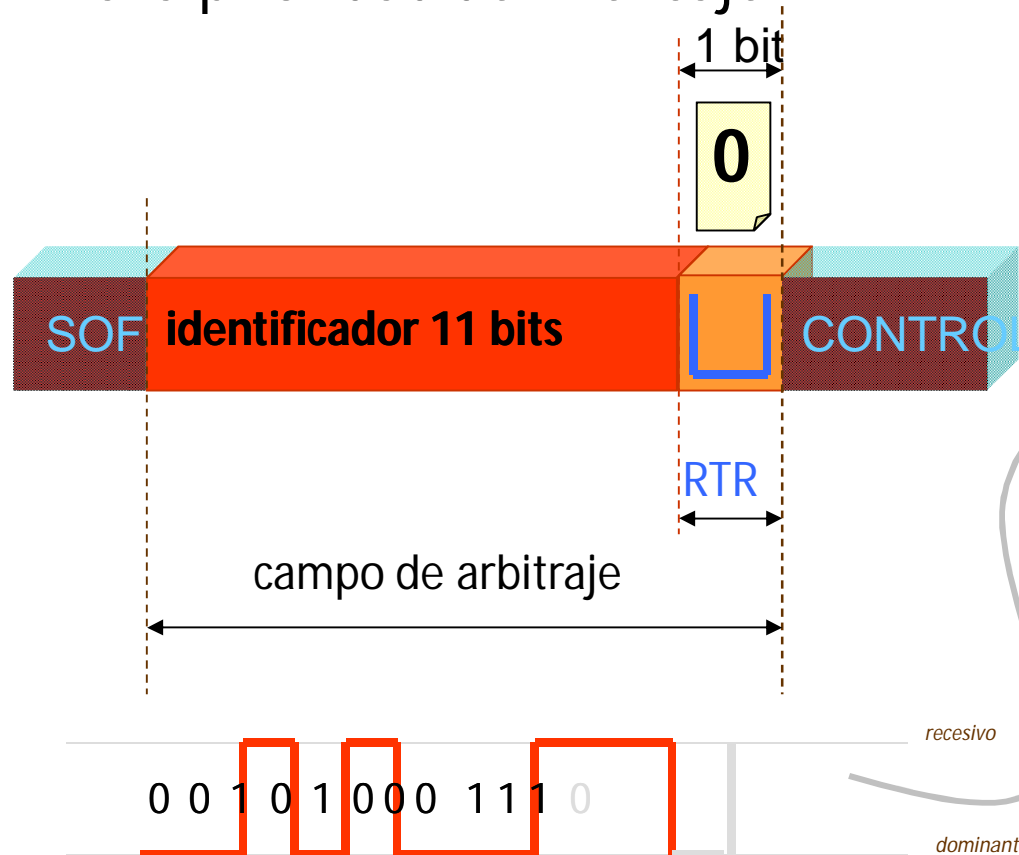


tabla de 11 bits

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
.
.
.
0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
.
1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0
.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

$$2^{11} = 2048$$

¿cuantos identificadores se pueden crear con 11 bits?

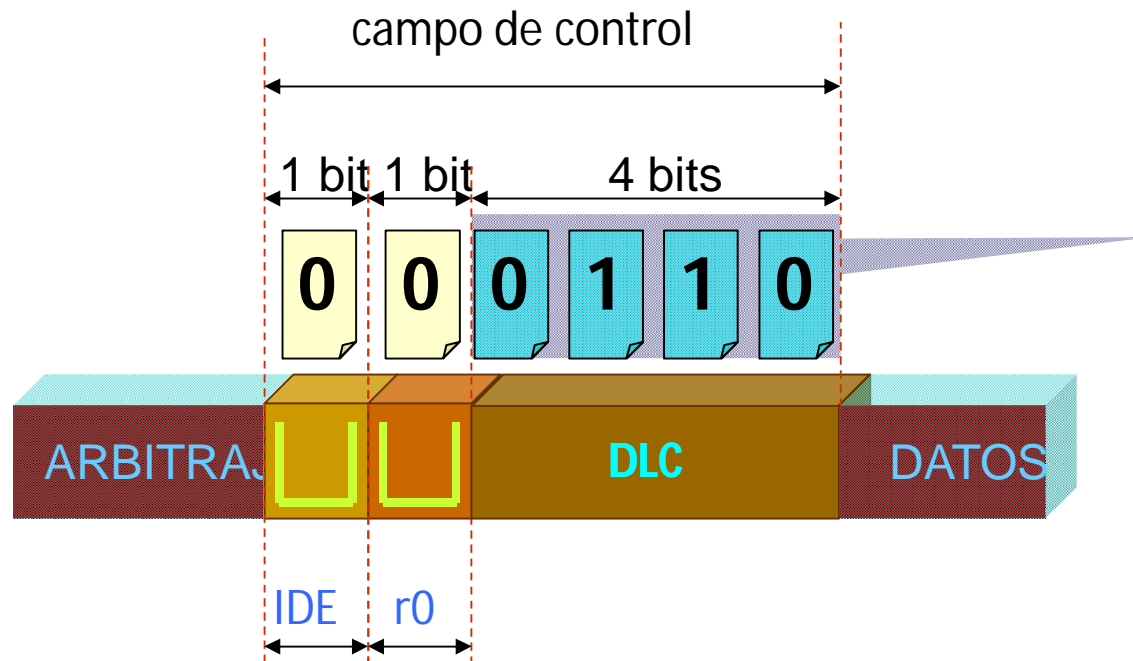
identificadores diferentes

RTR = bit de Solicitud de Transmisión Remota { Remote Transmission Request }

.- dominante en TRAMA DE DATOS (0)

.- recesivo en TRAMA DE SOLICITUD DE DATOS (1)

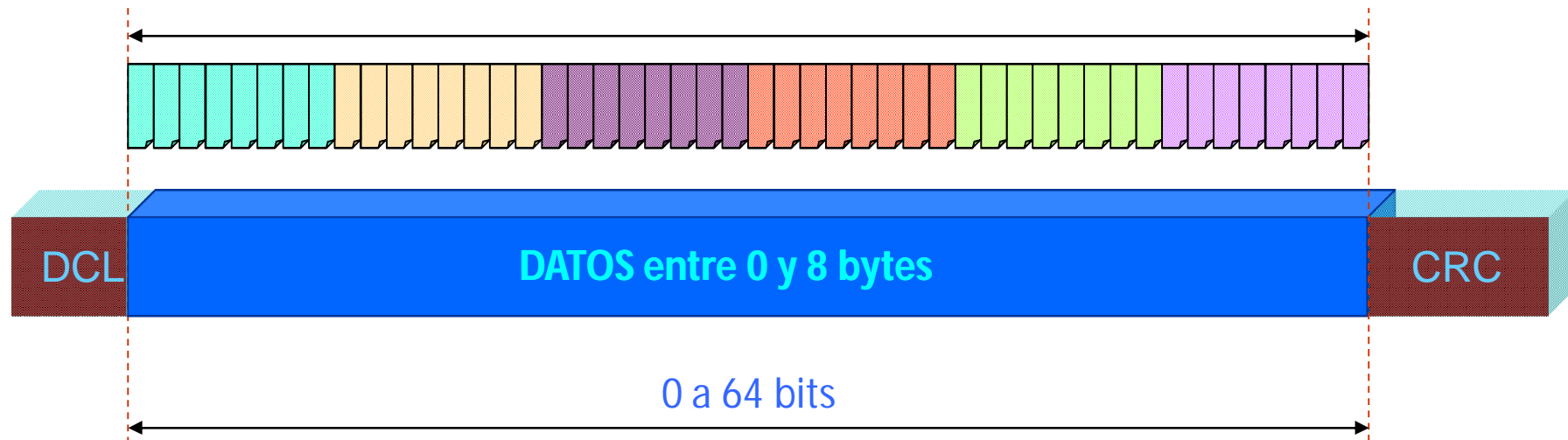
③ Campo de Control



6 x 8 = 48 bits
tiene el campo Datos

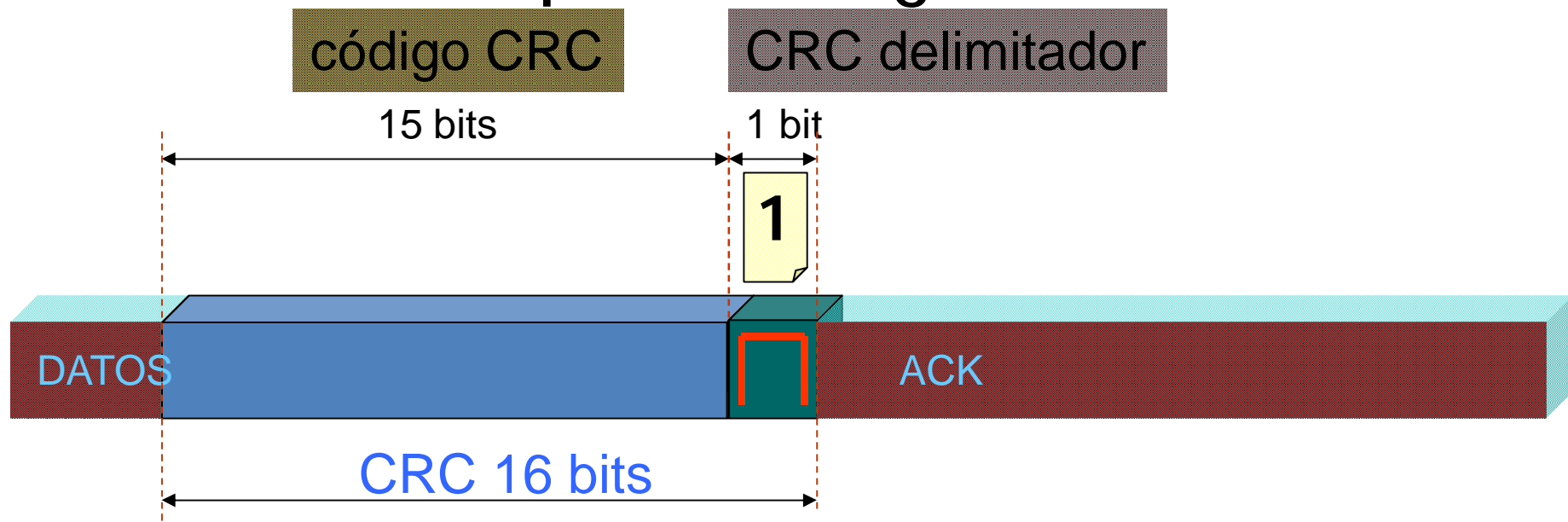
El campo de control consta de 6 bits, el primero IDE, bit identificador de la extensión, es dominante cuando el formato del mensaje es estándar y será recesivo cuando el formato del mensaje sea extendido. r0, bit reservado para ampliaciones futuras. Los 4 bits del campo DLC, código de la longitud de datos, indica el número de octetos de información que contiene el siguiente campo, el campo de datos, de esta manera el receptor sabe si ha recibidos todos los datos.

④ Campo de Datos



Consta de un máximo de 64 bits (8bytes) que contienen la información.
Pero si el mensaje tiene cuatro bytes se envían únicamente 4.

⑤ CRC, Código de Redundancia Cíclica o campo de aseguramiento

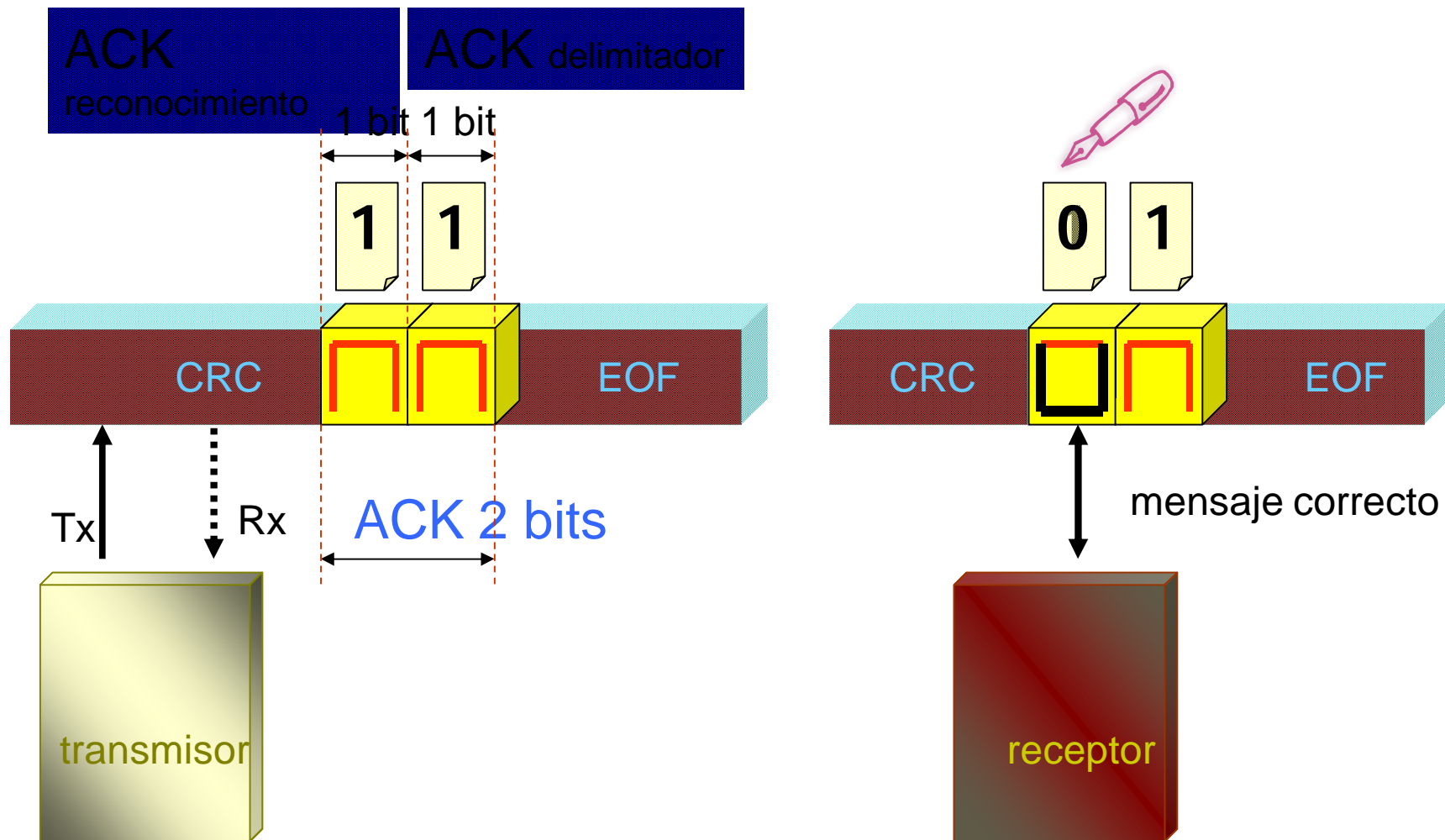


Chequeo Cíclico Redundante, 16 bits, incluye 1 bit CRC delimitador

RECESIVO

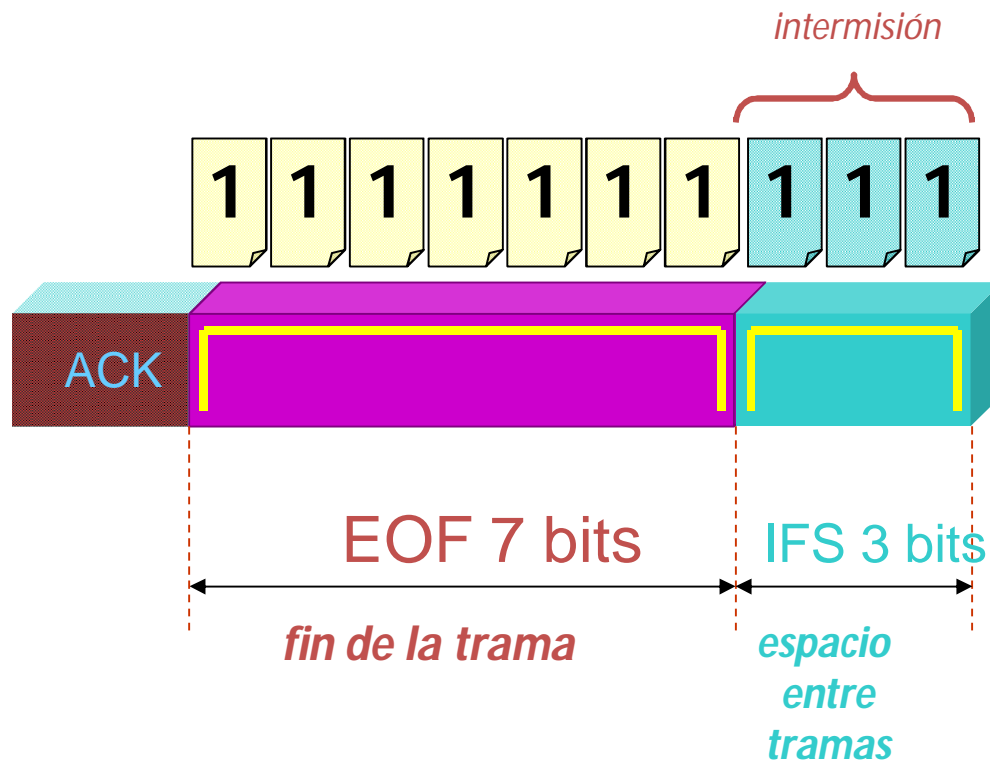
- Este campo es el resultado de una serie de cálculos realizados a partir de los componentes anteriores.
- La centralita receptora calcula el campo de aseguramiento y comprueba que coincide con el campo de aseguramiento enviado por la centralita emisora. Si detecta error envía una trama de error compuesta por una señal de error y un limitador, el cual está formado por 8 bits recesivos.

⑥ ACK, campo de reconocimiento o confirmación



Formado por 2 bits, estos bits enviados como recesivos, y las receptoras tras calcular el campo de aseguramiento concluyen que han recibido bien el mensaje cambiando el primer bit por un 0 dominante

⑦ EOF, fin de la trama / IFS, espacio entre tramas



Fin de trama: 7 bits con los que se finaliza el mensaje.

Separador de tramas: Tres bits recesivos seguidos de un tiempo de bus parado.

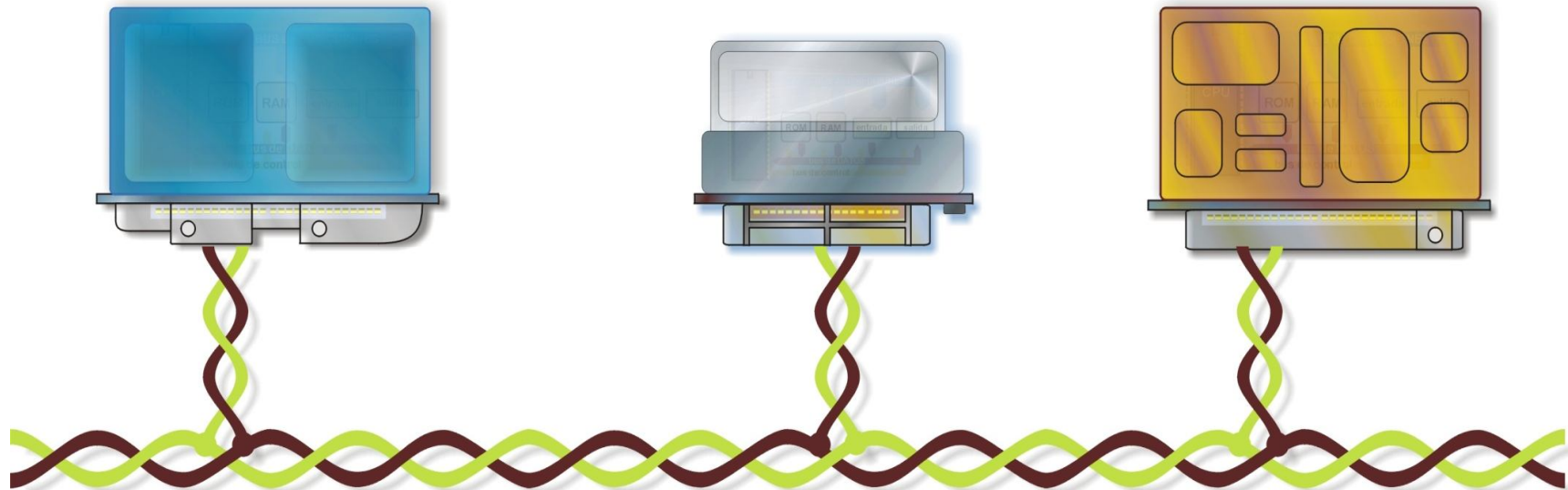
Sabías que...

A veces en los mensajes se producen largas cadenas de ceros o unos, y esto provoca una desincronización entre centralitas. En el protocolo CAN se introduce un bit diferente después de cinco bits iguales, que la centralita descartará. A este bit se le denomina bit Stuffing. Por ejemplo, en la trama 001111101100 el bit 0 que ocupa el octavo lugar será descartado por la centralita.

Componentes físicos del CAN-Bus

Buses de datos

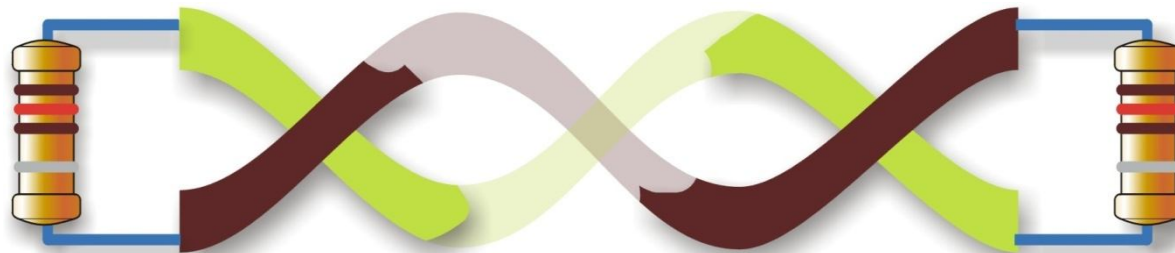
El CAN-Bus de datos es un bus compuesto por dos cables entrelazados, conectados en paralelo a todas las unidades de control del sistema CAN que corresponde. Cables CAN Hight y CAN Lo cuyas señales eléctricas son leídas como la diferencia de tensión entre ambas.



Los dos conductores de cobre se encuentran retorcidos entre sí, dotándoles de inmunidad contra las EMI, emisiones electromagnéticas y frecuencias parásitas, como las procedentes del vano motor



los cables del CAN-Bus se denominan CAN-High y CAN-Low, cierran por los extremos con resistencias de 120 ohm, para evitar reflejos de la señal



■ ■ ■ Resistencias de terminación

También denominadas elementos finales. Se encuentran en los extremos del bus de las redes CAN *High Speed*, alojadas en dos centralitas principales. Estas resistencias cierran el circuito eléctrico y evitan perturbaciones indeseadas en los datos transmitidos debido a fenómenos de reflexión: impiden que el mensaje rebote al llegar al final del bus. El valor de estas resistencias será diferente en cada vehículo, ya que dependerá del número de centralitas conectadas a la red y de la longitud de los cables, pero normalmente se generaliza con un valor de $120\ \Omega$. La resistencia total de la red será de $60\ \Omega$. En casos especiales puede haber una resistencia central de $66\ \Omega$. El resto de componentes conectados al bus cuentan con una resistencia de $2,69\ \text{k}\Omega$.

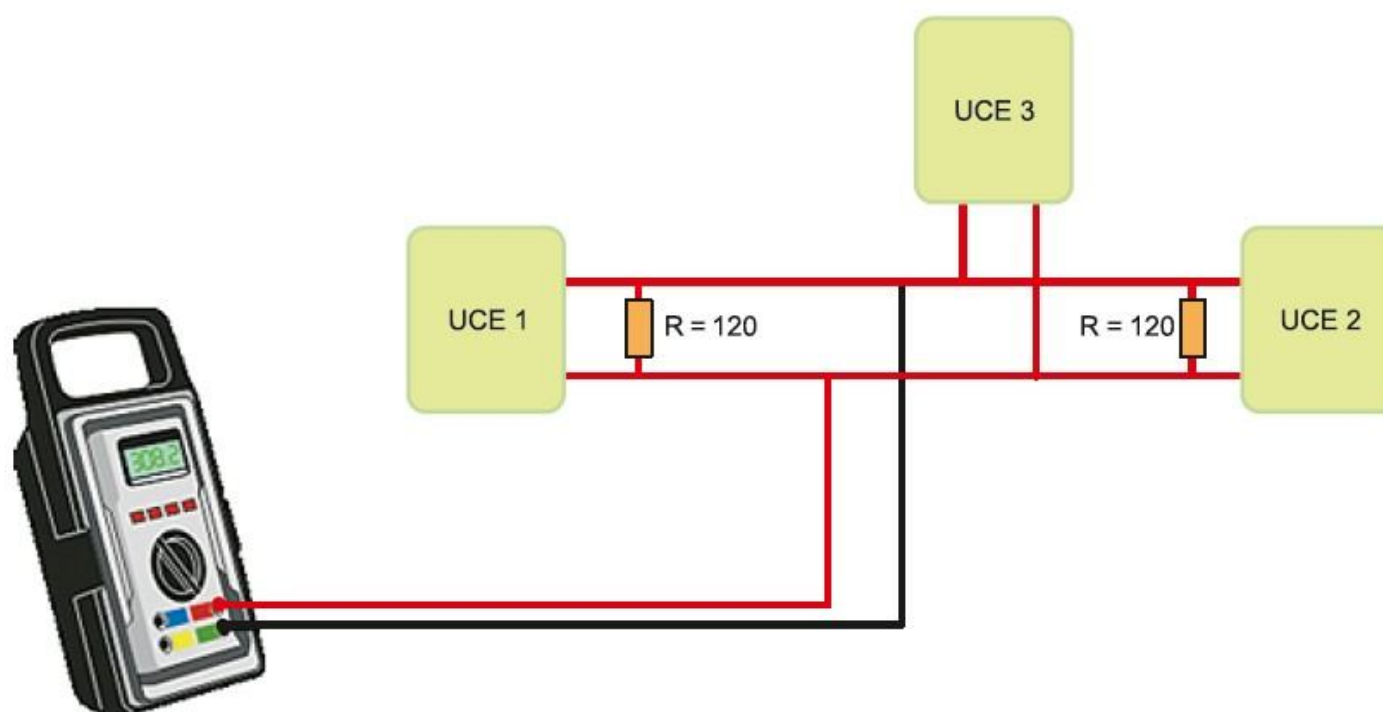


Figura 3.44. Medición de una red CAN HS. El valor de la resistencia total del circuito será de 60 ohmios.

En las redes CAN *Low Speed* las resistencias se encuentran en las diferentes unidades de control y no son consideradas, por tanto, resistencias de terminación. Estas resistencias no se podrán comprobar con un polímetro como ocurre en los buses de CAN HS, ya que para medirlas habría que acceder a cada centralita.

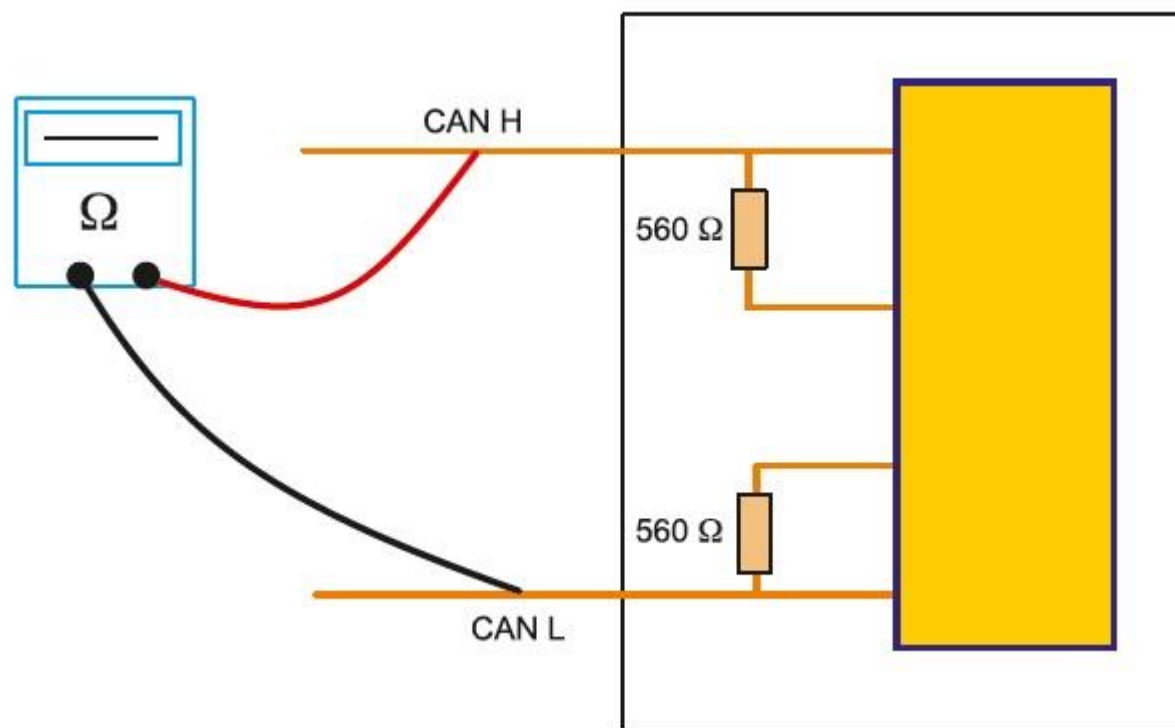


Figura 3.45. Medición de una red CAN LS. Es imposible obtener un valor de resistencia total de la línea ya que las resistencias no están en los extremos del bus sino en cada centralita.

Unidades de control electrónico

El numero de centralitas utilizado depende de cada vehículo. Todas las centralitas cuentan con un transceptor y un controlador.

- **Controlador**

Es el elemento encargado de la comunicación entre el microprocesador de la unidad de control y el trasmisor-receptor. Trabaja acondicionando la información que entra y sale entre ambos componentes.

- **Transmisor / Receptor**

El trasmisor-receptor es el elemento que tiene la misión de recibir y de transmitir los datos, además de acondicionar y preparar la información para que pueda ser utilizada por los controladores. El trasmisor-receptor es básicamente un circuito integrado que está situado en cada una de las unidades de control abonadas al sistema.

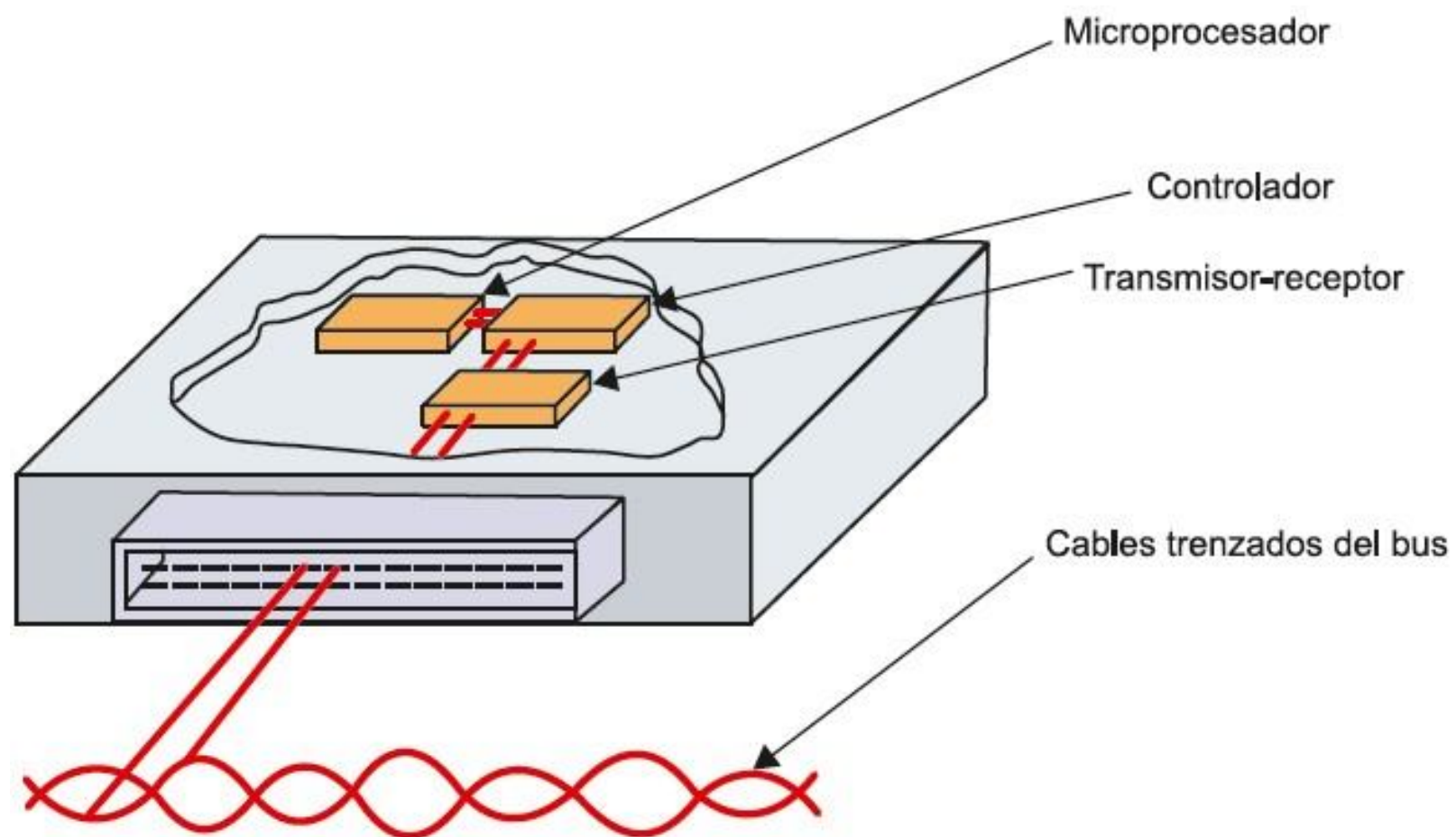


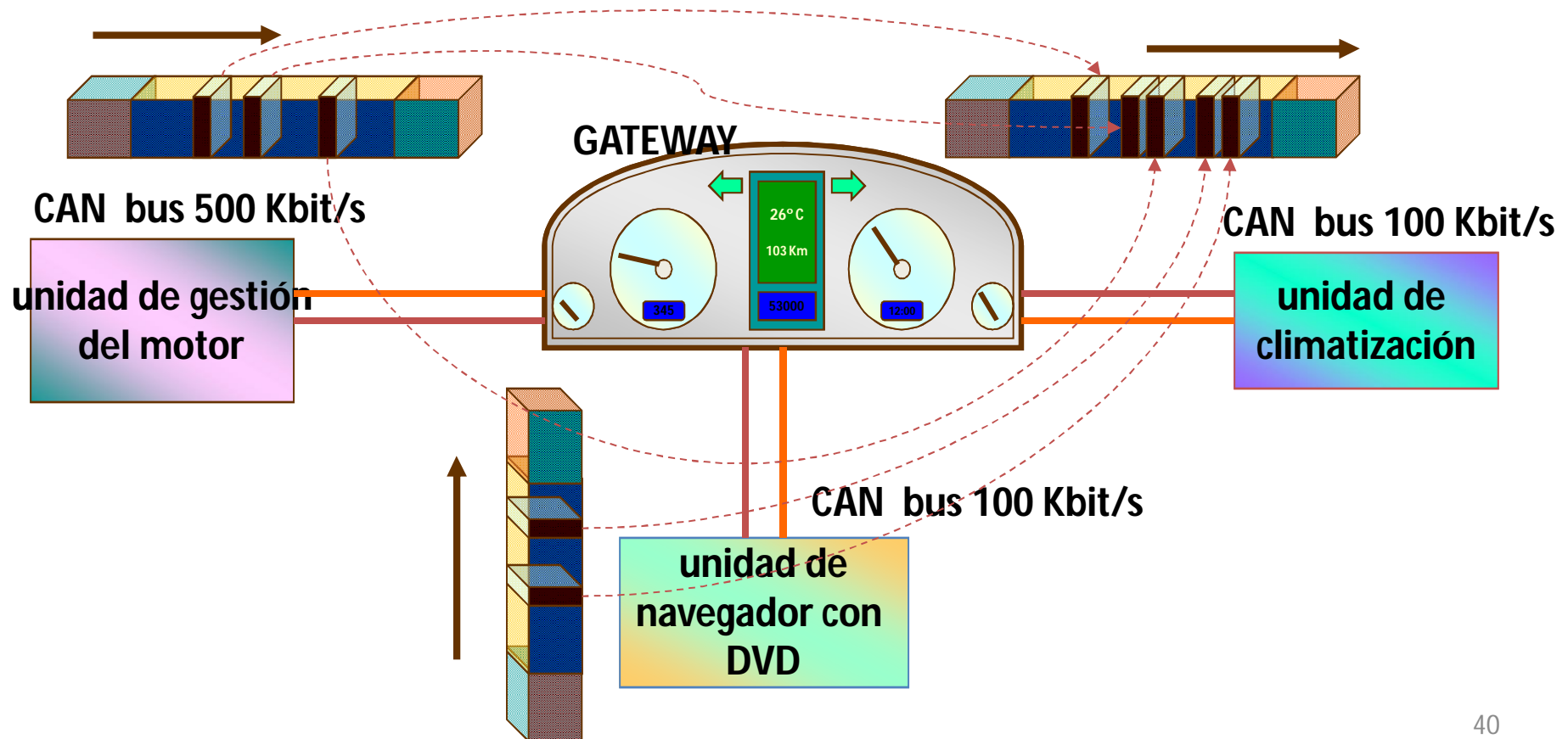
Figura 3.50. Centralita conectada a un bus CAN.

PROCESO

1. Los sensores y captadores envían la información a su centralita correspondiente.
2. El microprocesador de la centralita trata esta información y la envía al controlador. Este a su vez la pasa al transceptor.
3. El transceptor transforma la información digital recibida en señales eléctricas y la vuelca en el bus de datos.
4. El resto de centralitas reciben el mensaje y deciden si les interesa o no. Envían una confirmación de recepción del mensaje al bus de datos.
5. Las centralitas interesadas en el mensaje lo aceptan, lo procesan y deciden si ignorarlo o no.

Gateway

Los diferentes sistemas de buses de datos CAN Tracción y CAN Confort/Infotainment se intercomunican en el vehículo a través del gateway. El gateway puede estar contenido en una unidad de control, p. ej. en el cuadro de instrumentos o en la unidad de control para la red de a bordo. Convierte información parcial de diferentes identificadores (tramas) procedentes del CAN bus, para componer un nuevo identificador en otro CAN bus, construyendo un nuevo mensaje con los datos obtenidos.



FALLOS DE COMUNICACIÓN EN EL PROTOCOLO CAN BUS

Las redes CAN Low Speed cuentan con una célula de diagnóstico para detectar averías físicas del circuito. En el caso de cortocircuito a negativo, a positivo o entre ambas líneas, así como de circuito abierto, el transceptor de la centralita funcionará en modo degradado aislando la señal de una de las líneas, es decir, conmutando a función monoalámbrica. Únicamente en el caso de que ambos cables del bus estén afectados, bien por rotura o por derivación a masa de ambos, se interrumpirá la transmisión.

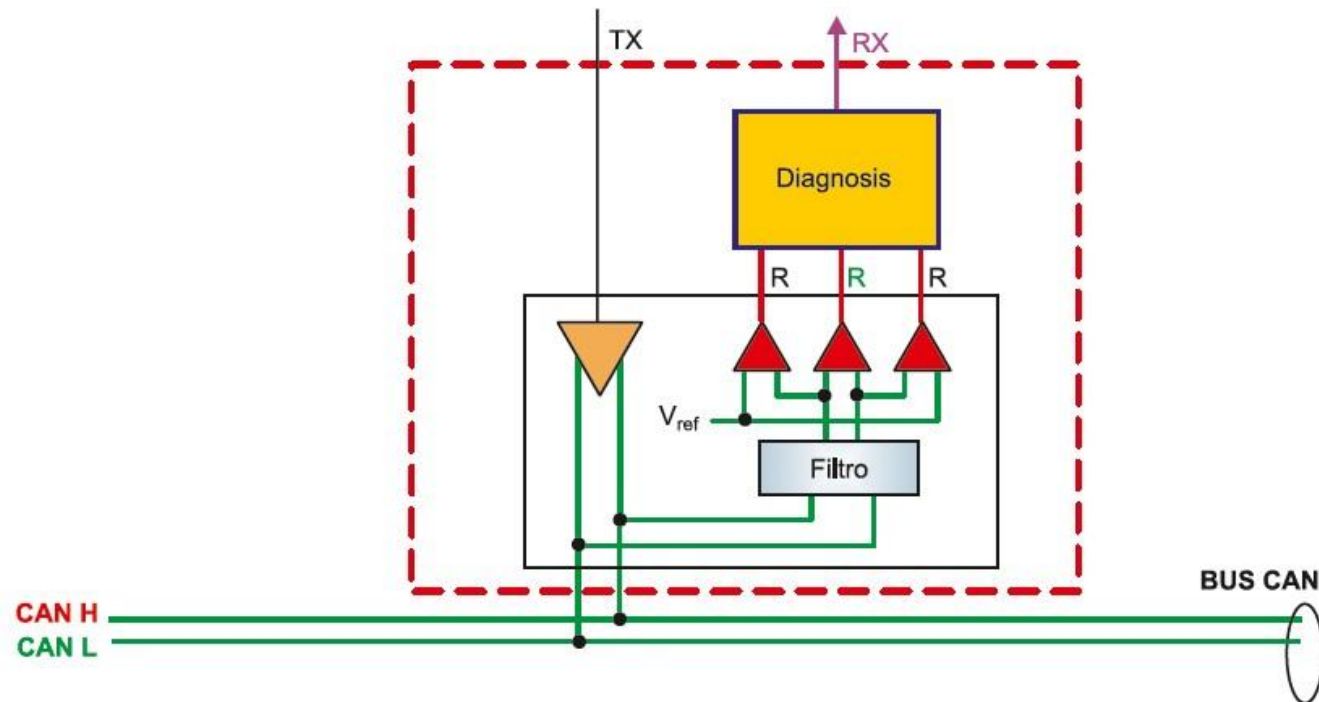


Figura 3.53. Interior de un transceptor conectado al bus de datos de una red CAN LS.

Las líneas CAN de alta velocidad, sin embargo, no funcionan en ningún caso en modo monoalámbrico, por lo que un cortocircuito entre CAN H y CAN L, un cortocircuito con positivo, con masa, o una interrupción de cualquier cable del bus implica la interrupción de la comunicación.

Cuando una centralita detecta un fallo envía al bus de datos un mensaje de error para que el mensaje le sea reenviado. Las centralitas, a su vez, poseen un contador de errores que, al alcanzar un número de detección de errores determinado consideran que se trata de un fallo del sistema y se desconectan del bus de datos. La centralita, pasado un tiempo, se intentará conectar de nuevo al bus. Este fallo del sistema queda grabado en la memoria de la centralita, al igual que el error producido por la no recepción de mensajes.

Pero, ¿cómo sabe la centralita que no ha recibido un mensaje o que dicho mensaje está incompleto? Gracias a los campos de control y aseguramiento de la trama del mensaje.

Para diagnosticar un cable de una red CAN utilizaremos los pines de la centralita o de la toma de diagnosis que nos indica el esquema del fabricante. En estos pines podremos, por ejemplo, comprobar la resistencia total del bus utilizando un polímetro, que suele ser de 60 ohmios (resultado de las resistencias de terminación de 120 ohmios colocadas en paralelo).

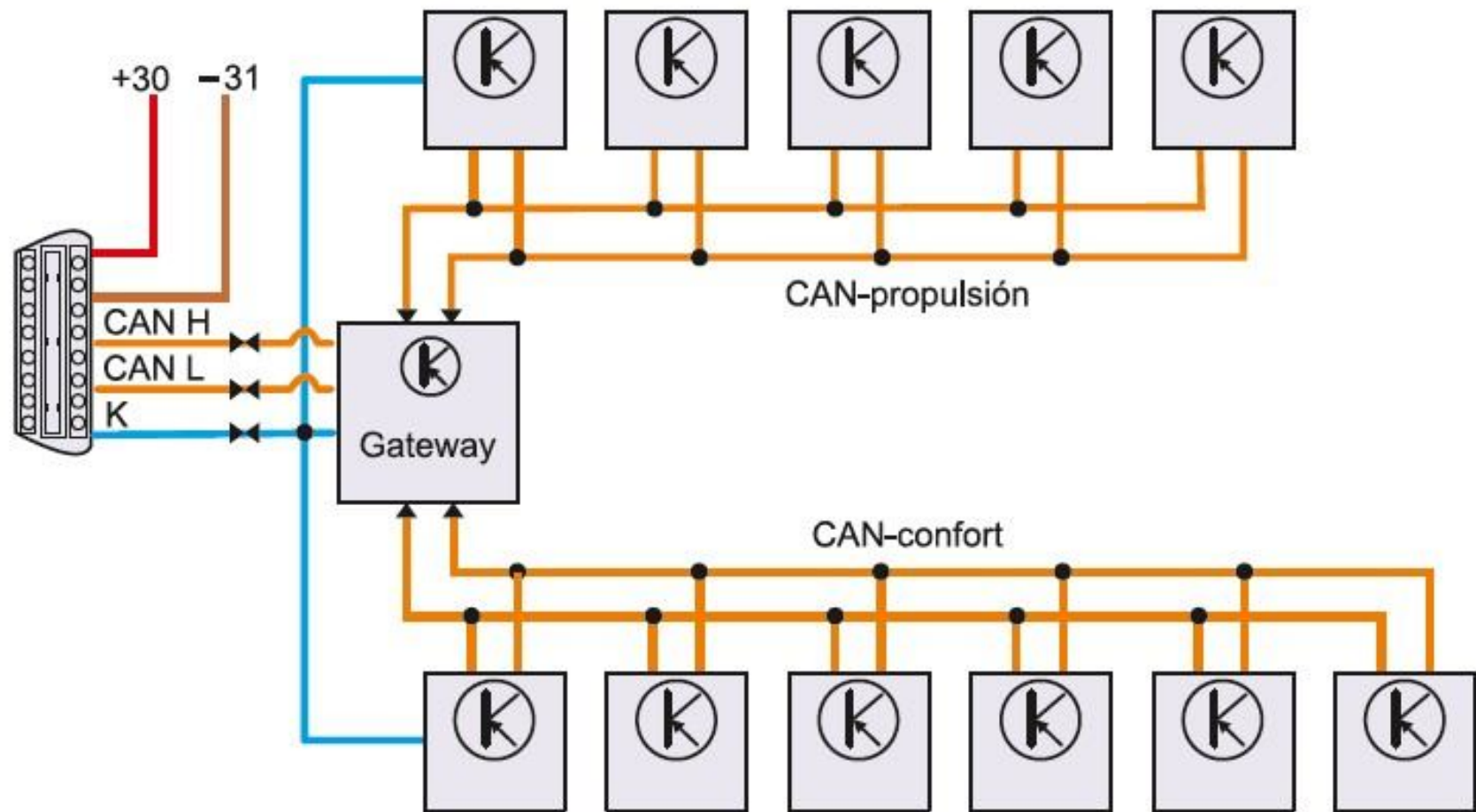


Figura 3.55. Ejemplo de red multiplexada con una línea K de diagnóstico que comunica la centralita Gateway con la toma de diagnosis.

Las averías más frecuentes que podemos encontrar en una señal CAN son el cortocircuito de uno de los cables o de los dos cables entre sí e interrupción de uno de los cables. Es importante conocer las señales obtenidas en el osciloscopio en cada uno de estos casos para identificar la avería a la mayor brevedad posible. Estas averías están representadas en los siguientes oscilogramas:

Cortocircuito entre las dos líneas CAN

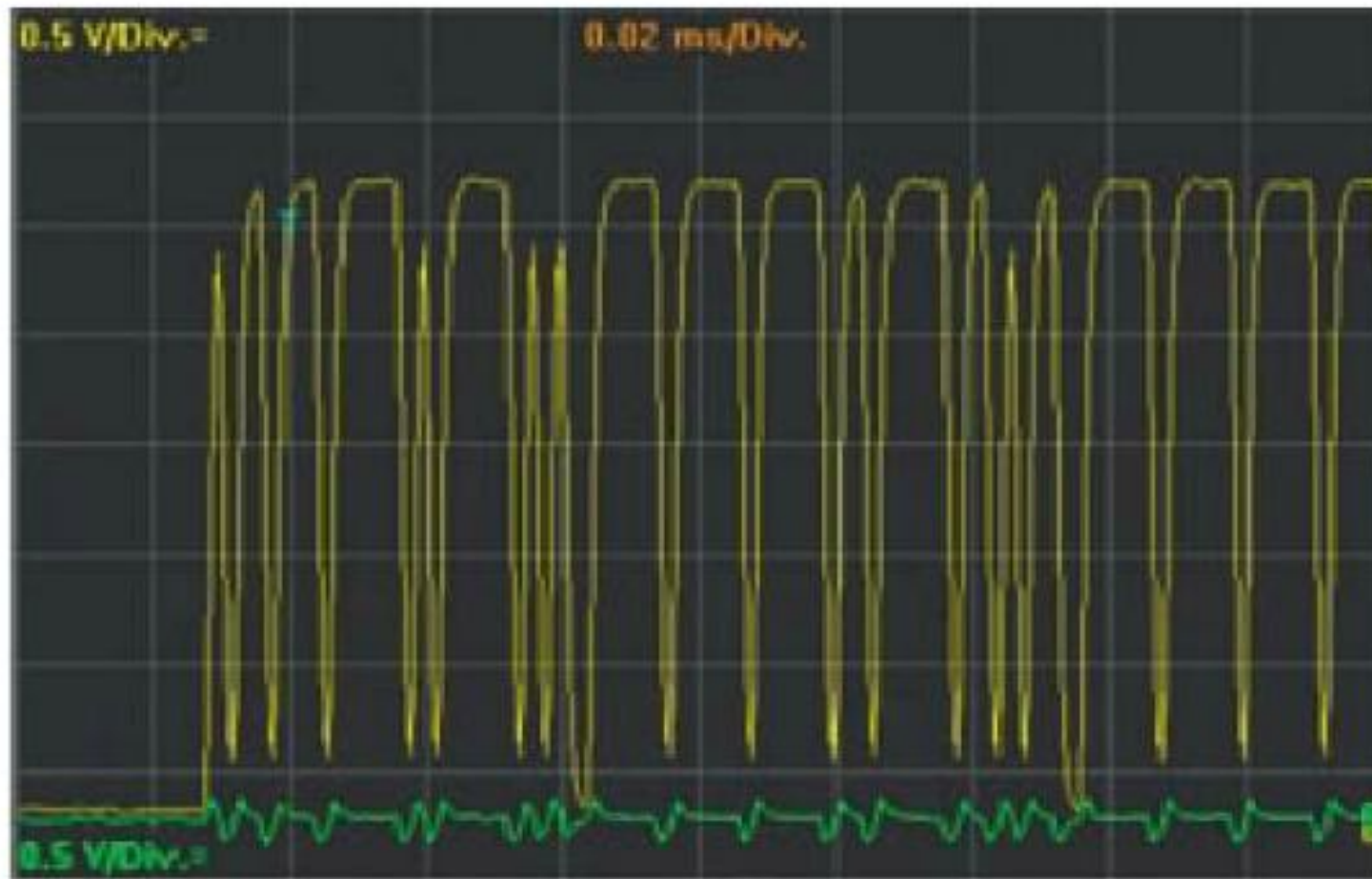


Figura 3.70.

- Cortocircuito de CAN *High* a positivo:



- Cortocircuito de CAN *Low* a masa:



Interrupción del CAN High



Figura 3.69.

- Cortocircuito de CAN *High* a masa:



- Interrupción del CAN *Low*:





Figura 3.71.

Cortocircuito de Can High a masa con resistencia



Figura 3.72.

Actividades resueltas

3.5. Comprobación de un red CAN Tracción.

Solución:

La comprobación puede ser bicanal o monocanal. La medición bicanal, como se puede observar en la Figura 3.59, consiste en medir utilizando los dos canales del osciloscopio. El cable negativo del aparato lo conectaremos al negativo de la centralita, y los cables positivos de cada canal se conectarán uno a la toma de Can High y otro a la toma de Can Low.

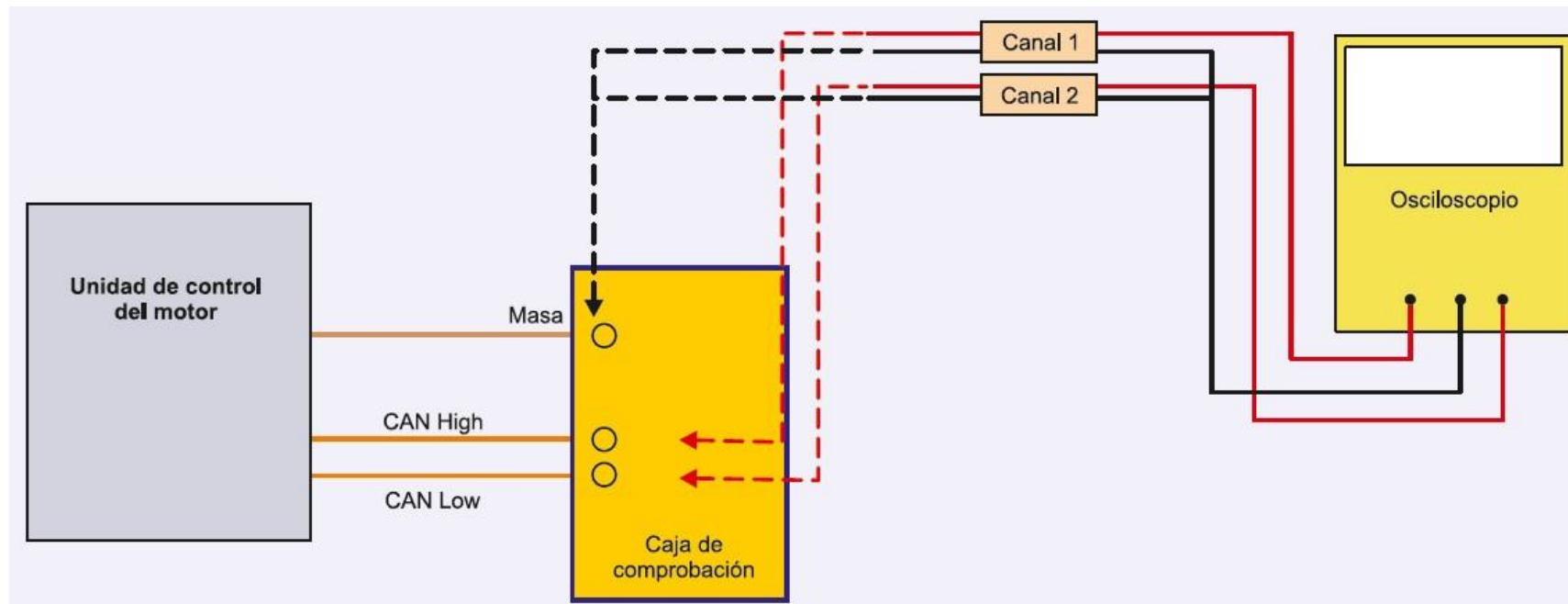


Figura 3.59. Medición empleando los dos canales del osciloscopio.

Señal obtenida

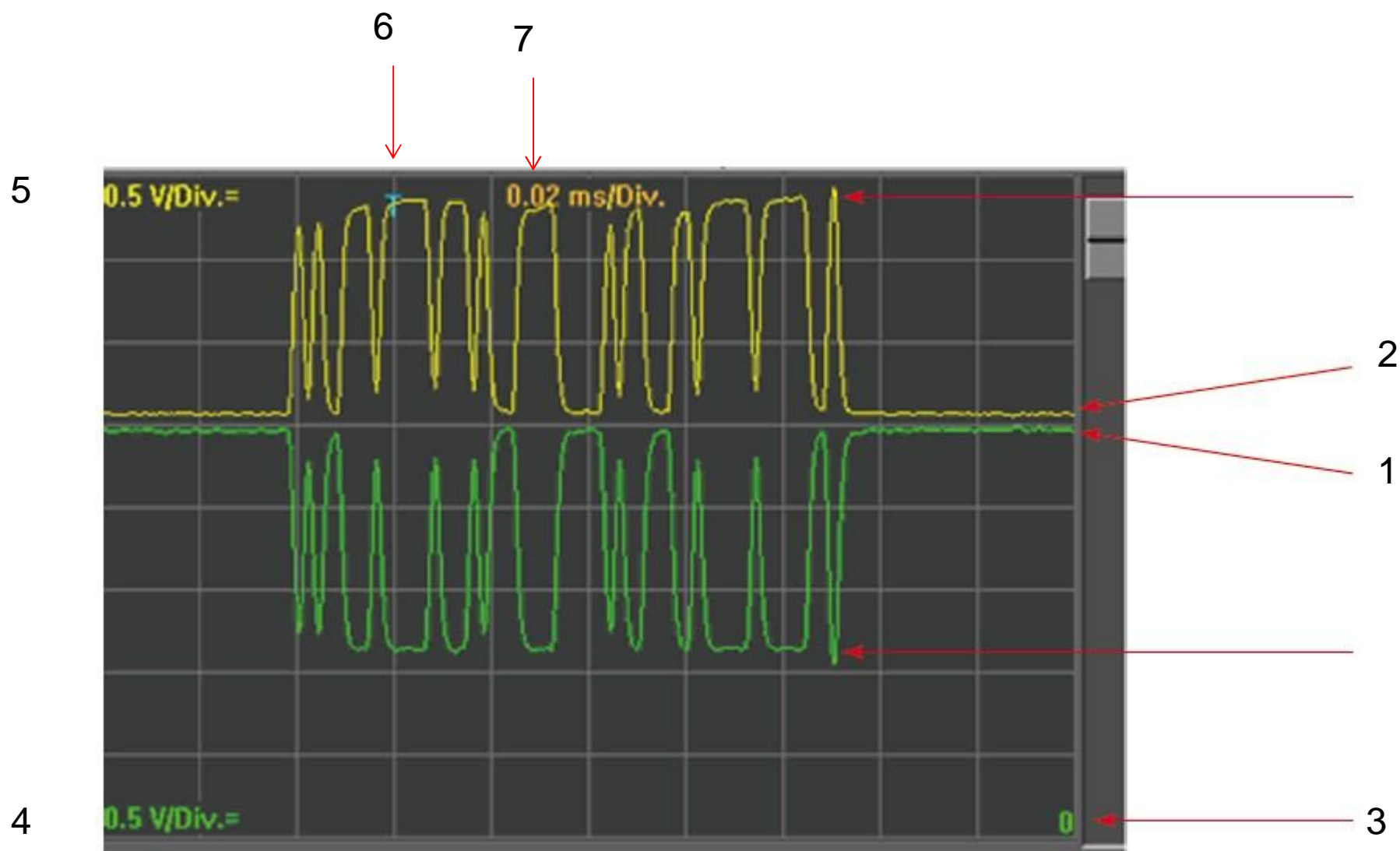


Figura 3.73.

1. Señal CAN *High*.
2. Señal CAN *Low*.
3. Marca la línea de 0 voltios.
4. Indica los voltios por división del canal 1.
5. Indica los voltios por división del canal 2.
6. TRIGGER del osciloscopio.
7. Indica los milisegundos por división.

De la gráfica anterior podemos sacar las siguientes conclusiones.

- El bit dominante tiene los siguientes valores:
 - a) 3,8 V cable CAN *High* y masa.
 - b) 1,2 V cable CAN *Low* y masa.
 - c) La diferencia entre ambos es de 2,6 V.
- El bit recesivo tiene los siguientes valores:
 - d) 2,6 V cable de CAN *High* y masa.
 - e) 2,4 V cable de CAN *Low* y masa.
 - f) La diferencia entre ambos es de 0,2 V.