

81  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“APLICACION DE UN SISTEMA CAN  
PARA VEHICULOS AUTOMOTORES”

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**RODRIGO SANTOS FERNANDEZ**

ASESOR: ING. RODOLFO PETERS LAMEL



MEXICO, D. F.,

1999

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**PASINACION**

**DISCONTINUA.**

## AGRADECIMIENTOS:

**A MIS PADRES:** Por su cariño, apoyo y ejemplo incansable. Me han llevado a lograr mis metas, que estoy seguro, también son las suyas.

**† A LA ABUELA:** Por su alegría, su compañía... como quisiera que siguieras aquí.

**A MIS HERMANOS:** Por sus consejos, su experiencia, su amistad y principalmente por estar conmigo.

**A NANCY:** Por el amor, sencillez y entusiasmo que me demuestra día con día.

**AL ING. RODOLFO PETERS:** Por transmitirme su profesionalismo, dirección y conocimientos que siempre caracterizan su trabajo

**A LA UNAM:** Que junto con sus profesores me dieron la oportunidad de formar parte de la máxima casa de estudios.

**A MIS AMIGOS:** Porque siempre han estado ahí; espero que siempre sigan.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.
2. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA CAN.
3. OBJETIVOS DE UN SISTEMA CAN.
4. TÉCNICAS DE MANEJO DE INFORMACIÓN
5. CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO DE UN SISTEMA CAN.
6. DISPOSITIVOS DE CONTROL.
7. COSTO - BENEFICIO.
8. CONCLUSIONES.
9. GLOSARIO DE TÉRMINOS.
10. BIBLIOGRAFÍA.

# INTRODUCCIÓN

Desde principios de los ochenta, más y más sistemas electrónicos penetraban dentro de las aplicaciones automotrices. En una primera fase, estos sistemas operaban independientes el uno del otro. Luego, en una segunda fase, se volvió evidente, que interacciones intensivas entre sistemas sencillos ofrecerían mejoras funcionales. Por consiguiente, la electrónica automotriz desarrolló una arquitectura, ya bien conocida en sistemas automotrices en general: Control Distribuido de Tiempo Real.

El sistema de Control Distribuido de Tiempo Real requiere una comunicación poderosa para enlazar subsistemas remotos, por tanto los requerimientos son los que predominan en la transmisión en lugar de la transferencia de datos. Como consecuencia se desarrolló el protocolo de comunicación CAN (Controller Area Network) que soporta eficientemente dichas aplicaciones. Con el fin de ser factible en sistemas automotrices, los costos de implementación debían de ser menores a los que ya se conocían en los sistemas automotrices en general.

## HISTORIA:

En el año de 1981 en la Robert Bosch GmbH, se debía de implementar una comunicación en tiempo real entre tres microcontroladores; uno para controlar al motor, otro para controlar la transmisión automática y un tercero para el control antiderrapante de frenos. El primer intento fue tomar la interfaz serial UART, estándar entre microcontroladores en esa época. Rápidamente fue evidente que UART no soportaba comunicaciones multimaestras, y que se debía de desarrollar un nuevo protocolo de comunicación.

A principios de 1983, Bosch tuvo la oportunidad de seguir un periodo de tres meses de estudio de información en ingeniería. Dentro del conocido "Robert-Bosch-Kolleg", los participantes fueron sacados de sus deberes cotidianos y tomaron cursos de días completos presentados por selectos profesores de universidades. Después de este programa a mediados de 1983, Bosch formó un grupo de proyectos para desarrollar un protocolo de comunicación para sistemas distribuidos de tiempo real. Además del trabajo de desarrollo técnico, era esencial una estrategia de marketing para el éxito de dicho proyecto. Dentro de la compañía se ganó la atención de la alta gerencia. Cada seis meses el estado de CAN era reportado a varios miembros de la mesa directiva de Robert-Bosch, para que las decisiones necesarias fueran tomadas rápidamente evitando barreras jerárquicas. Grupos de ingenieros clave dentro de varias divisiones de la compañía estaban muy involucrados en el proyecto. A partir de 1984, se les informó a los clientes importantes acerca del desarrollo, teniendo en cuenta lo que esto pudiera provocar: que la competencia copiara ideas y se inmiscuyeran en compañías automotrices.

Una pieza clave de la estrategia de mercado fue el involucrar a los mayores fabricantes de semiconductores de los Estados Unidos en 1985. Empezando por contactos existentes, se contactó a "Intel Corporation" como al inventor del microprocesador. Antes de que cualquier decisión fuese tomada, Intel preguntó a un consultor: Prof. Lawrence de Fachhochschule Wolfenbütel (Universidad de Austria), para asesorarlos en cuanto a la competitividad del protocolo CAN, y fue él quien dio nombre al protocolo: Controller Area Network. En otoño de 1985, se firmó un acuerdo del protocolo CAN entre Robert Bosch e Intel Corporation. En ese momento se conjuntaron esfuerzos por una implementación en silicio del protocolo. Hoy encontramos acuerdos como este en varias compañías fabricantes de semiconductores. La primera implementación de silicio fue a mediados de 1987, dos meses antes del tiempo al que se comprometió en 1984.

En la conferencia de SAE en la primavera de 1986, en Detroit, se publicó CAN por primera vez. La presentación en Estados Unidos se considera crucial para la aceptación de CAN de parte de los fabricantes de automóviles europeos. Además, abrió una discusión entre

fabricantes de carros de Estados Unidos y el comité SAE que está generando bastantes frutos.

También en 1986, un esfuerzo de estandarización fue puesto en marcha por la ISO (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION). Se tuvieron discusiones técnicas intensivas a un alto nivel de competitividad, comprometiendo a compañías automotrices de todo el mundo. Después de varios años, no se ha alcanzado ningún estándar. Mientras se competía por el estándar ISO con discusiones interminables, la penetración de CAN en las aplicaciones provocaba más que un sentimiento de desaliento por el estándar, de triunfo. En el campo de sistemas electrónicos complejos, la estandarización clásica parecía haber perdido su valor, como controlador de la innovación tecnológica. Hoy, la aceptación del mercado crea una estandarización inherente, lo cual puede posiblemente llevar a una estandarización con ISO. En 1991, el primer automóvil comercial fue equipado con CAN, enlazando cinco unidades de control electrónico teniendo una velocidad de transmisión de 500 kbits/s.

En un periodo de cuatro años, la especificación y el trabajo en silicio del protocolo de comunicación CAN fue desarrollado y comercializado. Fue un esfuerzo de equipo, cuyos nombres principales se enlistan a continuación con el fin de reconocer la contribución y agradecerles su cooperación:

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| 1. Wolfgang Borst      | 5. Uwe Keincke      |
| 2. Wolfgang Botzenhard | 6. Martin Litschel  |
| 3. Siegfried Dais      | 7. Helmut Schellind |
| 4. Otto Karl           | 8. Jan Unruh        |



Además de los ingenieros de Intel Corporation involucrados en el programa CAN y al Profesor Horst Wettstein de la Universidad de Karlsruhe el cual también tuvo grandes contribuciones.

Es ahora que las compañías fabricantes de semiconductores, comités de automóviles como SAE u OSEK de iniciativa en Europa y grupos de usuarios como CAN in Automation (CiA), los cuales están completando el desarrollo del tan efectivo protocolo en cuanto a sus aplicaciones, lo cual están llevando a CAN el dispersarse en tan variados campos

**IMPORTANTE:**

Las figuras, dibujos y gráficos contenidos en este documento se presentan en su formato original, con la finalidad de no provocar confusión debido a la traducción al español, perdiendo su verdadero significado. Cualquier duda acerca de algún significado se puede hacer referencia al glosario de términos que se encuentra al final de este documento.

## DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA CAN

CAN es un sistema de comunicaciones, de bus serial, el cual tiene capacidad de multimaestros. Esto es, todos los nodos CAN pueden transmitir y recibir datos y varios nodos pueden solicitar el bus simultáneamente.

Todos y cada uno de los nodos deberán contener una interfaz, un controlador CAN y un microcontrolador (excepto por los SLIOs los cuales no cuentan con microcontrolador propio, ver capítulo 6). Estos nodos se comunicarán entre sí por medio de un “bus” (medio de transmisión) de información el cual cuenta con dos cables, generalmente par trenzado, por donde se efectúa el cien por ciento de las comunicaciones de CAN.

Algunas de las principales ventajas de CAN es su bajo costo, ya que sustituye no solo a un cableado complejo, de difícil instalación, mantenimiento y compostura sino también reemplaza una gran cantidad de sensores y actuadores que se encontraban duplicados, triplicados o más, dentro del sistema eléctrico y electrónico del automóvil. Por consiguiente, y al no existir una comunicación entre dispositivos, sensaban o realizaban varias veces el mismo proceso, lo cual se elimina con el sistema de CAN. Otras ventajas del sistema son: confiabilidad, funcionalidad, manejo de errores, facilidad de mantenimiento, capacidad de crecimiento entre muchas otras que iremos mencionando a lo largo de esta tesis.

Lo primero que se debe de entender en un sistema de comunicación de dispositivos “inteligente” como lo es CAN, es que los mensajes de datos que se transmiten a través de la red no contienen una dirección ni del receptor ni del transmisor como se realiza en la mayoría de los sistemas de comunicación, como Ethernet y otros.

CAN, en lugar de este direccionamiento, cuenta con un “identificador” el cual etiqueta el contenido del mensaje, y esta etiqueta es única a través de la red. Todos los demás nodos en la red reciben este mensaje y cada uno de ellos ejecuta una prueba de aceptación en el identificador para determinar si el mensaje, y por consiguiente su contenido, es relevante para ese nodo en específico.

Si el mensaje es relevante, será procesado, de otra forma será ignorado.

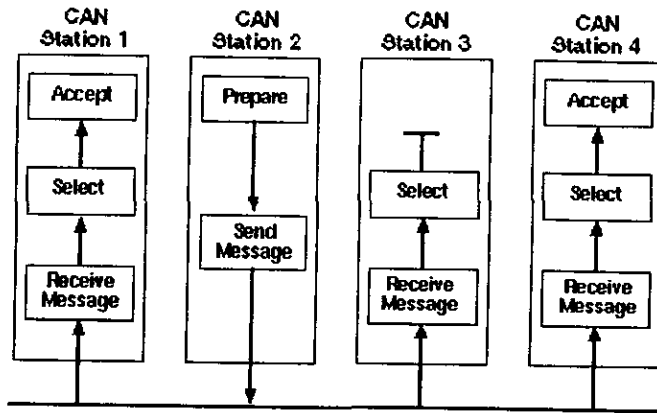
Para entender mejor el concepto de transmisión de CAN podemos realizar una analogía comparándolo con una estación de radio la cual transmite información para los conductores acerca del tráfico vial en algunos caminos, entonces cada uno de los conductores tiene que decidir si el mensaje es importante para él o no, dependiendo del camino que vaya a utilizar.

Empecemos primero por describir como funciona la red, las dos clases que existen de CAN y posteriormente algunas de las características más importantes del sistema como lo son los identificadores, la codificación de bits, el bus físico etc. Estas características se explicarán con mayor detalle y claridad en los siguientes capítulos.

### COMO FUNCIONA LA RED CAN

Si el CPU de una estación específica desea mandar un mensaje a una o más estaciones entonces tiene que pasar el dato a transmitir y su identificador al chip CAN asignado (“Ponte listo”). Esto es todo lo que el CPU tiene que hacer para iniciar un intercambio de datos. El mensaje es construido y transmitido por el chip CAN. Tan pronto como el chip CAN recibe la alocaión de bus (“Manda mensaje”), todas las demás estaciones se convierten en receptoras de este mensaje (“Recibe mensaje”). Cada estación en la red CAN, que ha recibido el mensaje correctamente, realiza una prueba de aceptación para determinar

si el dato recibido es relevante para la estación ("Selección"). Si el dato es significativo para la estación, el dato es procesado ("Aceptado"), de otra manera es ignorado.



Transmisión y filtrado de Aceptación en los nodos de CAN

### CLASES DE CAN:

CAN ha existido en dos formas, una clase básica denominada Basic CAN y la forma con filtro de aceptación, denominada Full CAN. En Basic CAN existe una fuerte vinculación entre el microcontrolador y el controlador CAN, donde todos los mensajes emitidos en la red tienen que ser chequeados individualmente por el microcontrolador. Esto provoca que el microcontrolador se encuentre "amarrado" chequeando mensajes en lugar de procesarlos, lo cual tiende a limitar la razón de baudios la cual es de 250 kbits / s. La introducción de un filtro de aceptación el cual dejará afuera los mensajes irrelevantes, utilizando identificadores y presenta al microcontrolador solo aquellos mensajes que son de interés, se le denomina Full CAN. Philips es el líder productor de Basic CAN mientras que Intel y Siemens del Full CAN.

#### IDENTIFICADORES:

El identificador es una característica del protocolo que simplifica el arbitraje en el bus. El identificador único determina la prioridad del mensaje. Mientras más bajo sea el valor numérico del identificador, más alta es su prioridad.

El mensaje con mayor prioridad está garantizado de ganar acceso al bus como si fuera el único mensaje que está siendo transmitido. Los mensajes con menor prioridad, serán transmitidos automáticamente en el siguiente ciclo del bus, o en el subsecuente ciclo si es que todavía existen otros mensajes de mayor prioridad esperando para ser mandados.

Los nodos pueden aceptar varios mensajes de diferente prioridad, simplemente comparándolos con una tabla de los identificadores aceptables para ese nodo.

#### CODIFICACIÓN DE BITS:

La codificación de bits en el protocolo CAN se lleva a cabo mediante la codificación de no regreso a cero "NRZ" (non return to zero) para comunicación de datos en un bus diferencial de dos cables. El uso de codificación NRZ asegura mensajes compactos con un mínimo número de transiciones, lo cual aumenta la velocidad de transmisión y disminuye la posibilidad de error respectivamente.

#### EL BUS FÍSICO:

El bus es de dos cables y generalmente par trenzado, terminando con una resistencia de 120 ohms al final de la línea. Cable par plano (tipo teléfono) también funciona adecuadamente pero genera más ruido, y es más susceptible a fuentes externas de ruido. El cable par

trenzado tiene un gran rechazo a la interferencia electromagnética con lo que logramos que existan menor cantidad de errores de transmisión.

#### ROBUSTOSIDAD:

CAN operará en ambientes severos y el extensivo mecanismo de comprobación de error asegura que cualquier error de transmisión será detectado.

El estándar ISO especifica como recomendable que los chips de bus de interfaz sean diseñados para que la comunicación continúe aún a pesar de que:

- Cualquiera de los dos cables del bus este roto.
- Cualquiera de los cables sea cortocircuitado a Vcc.
- Cualquiera de los cables sea cortocircuitado a tierra.

Inclusive, y dependiendo de la configuración del sistema, si dos cables están rotos en la misma localidad, se pueden realizar algunas operaciones en cada subsistema creado de manera limitada.

#### FLEXIBILIDAD Y EXPANSIÓN DE LA RED:

Como resultado de un esquema de direccionamiento de orientado-a-contenido se alcanza un alto grado de sistema y flexibilidad de configuración. Es muy sencillo añadir estaciones a la red de CAN existente sin hacer ninguna modificación de hardware o de software, siempre que las nuevas estaciones sean únicamente receptoras. Debido a que el protocolo

de transmisión no requiere direcciones físicas para los componentes individuales, soporta el concepto de electrónica modular permitiendo recepción múltiple y la sincronización de procesos distribuidos: mediciones necesarias como información para varios controladores

pueden transmitirse por la red, de manera tal que no es necesario que cada controlador tenga su propio sensor.

#### ARBITRAJE EN EL BUS CAN:

En cualquier sistema, algunos parámetros cambian más rápidamente que otros. Por ejemplo, un parámetro que cambia rápido en los automóviles puede ser las RPM del motor, un parámetro que cambia lentamente puede ser la temperatura de su radiador.

Por tanto, los parámetros que cambian rápidamente y que deben de ser transmitidos frecuentemente, deben de tener una mayor prioridad.

Para abastecer la comunicación de datos en tiempo real, se necesita no solo de una razón rápida de transmisión de datos, sino también un mecanismo rápido de asignación de bus para negociar con situaciones en donde más de un nodo puede estar tratando de transmitir al mismo tiempo.

Para determinar la prioridad del mensaje, CAN usa el conocido método establecido de Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detect (CSMA/CD) pero ampliando la capacidad de arbitraje de bitwise no destructivo para proveer resolución de colisión y para entregar máximo uso de la capacidad del bus.

## ARBITRAJE DE BITWISE NO DESTRUCTIVO:

El arbitraje de bitwise no destructivo es quien determina las “reglas del juego” para tener acceso al bus, ya que define quien entra primero y quien espera para volver a intentar acceder después.

La prioridad de un mensaje de CAN esta determinado por el valor binario de su identificador. El valor numérico de cada identificador de mensaje, y por consiguiente la prioridad del mensaje, esta asignada durante la fase inicial del diseño del sistema.

El identificador con el valor numérico más bajo es el de la prioridad más alta. Cualquier conflicto de bus se resuelve por arbitraje de bitwise de acuerdo con el cableado y mecanismo, por el cual un estado dominante (lógico 0) sobrescribe un estado recesivo (lógico 1).

El resultado general es el mismo como si el mensaje de máxima prioridad fuera el único mensaje siendo transmitido. Tan pronto como un transmisor de más baja prioridad pierde control del bus vía el mecanismo de arbitraje, automáticamente se convierte en un receptor del mensaje con la prioridad máxima y no tratará de retransmitir hasta que el bus se encuentre libre nuevamente.

## BENEFICIOS:

- El arbitraje de bitwise no destructivo provee alocaación del bus en base a las necesidades, y beneficios de eficiencia de entregas que no se pueden ganar ni por “Token Ring” (fixed time schedule allocation) ni por “Ethernet” (destructive bus allocation).
- Teniendo solamente la máxima capacidad del bus como un factor limitante de velocidad, CAN no se colapsará o bloqueará. Se negocian solicitudes de transmisión, en orden de prioridad, con mínimo retraso, y



con la máxima posibilidad de utilización de la capacidad disponible del bus.

#### FORMATO DE MENSAJE DE CAN:

##### MARCOS DE MENSAJE:

En un sistema CAN, los datos se transmiten y se reciben en un marco de mensaje. Los marcos de mensaje cargan el mensaje de un nodo de transmisión a uno o más nodos de recepción y estos deciden si son relevantes para ellos o no

El protocolo del CAN estándar (versión 2.0A) soporta mensajes con identificadores de 11 bits. El protocolo del CAN extendido (versión 2.0B) soporta mensajes con identificadores de 11 y de 29 bits.

##### MANEJO DE ERRORES DE CAN:

CAN cuenta con 5 mecanismos para comprobar errores dentro del formato de mensaje. Estos pueden ser a nivel de bus o a nivel de bit y con ellos se asegura la consistencia de los mensajes. En el caso de que cualquiera de los 5 mecanismos detecte un error, levantará una bandera de error y la transmite a toda la red. De esta manera todos los receptores y el transmisor sabrán que existe un error y el mensaje se aborta. El transmisor volverá a procesar el mensaje y lo enviará nuevamente.

En caso de que algún nodo se encuentre defectuoso, CAN no se colapsará ni bloqueará, ya que cuenta con un mecanismo para prevenir este tipo de situaciones, el nodo puede llegar hasta auto - apagarse cuando detecta su falla.

## OBJETIVOS DE UN SISTEMA CAN

Muchos de los vehículos actuales tienen un gran número de sistemas electrónicos de control. Este crecimiento se debe en su mayoría al deseo del cliente de mayor seguridad y comodidad así como del gobierno por mejorar el control de emisiones y reducir el consumo de combustible.

Si además consideramos los futuros desarrollos para optimizar la generalidad de los vehículos, se vuelve necesario el sobrepasar las limitaciones del control de enlace de dispositivos convencionales. Esto se puede realizar únicamente colocando los diferentes componentes del sistema en red, utilizando un sistema de comunicación serial de datos. Es por esto que Robert Bosch desarrolló CAN (Controller Area Network) el cual ya se estandarizó por ISO 11898 y también ha sido implementado en silicio por varios fabricantes de semiconductores

Dicho de otra manera, el principal objetivo de CAN en la industria automotriz es reducir el número de dispositivos como sensores y cables además de aumentar el control del vehículo y la velocidad de transmisión de la información así como de respuesta. CAN no trata de alcanzar el cielo como la torre de Babel, simplemente pretende reducir el alto costo del control que requieren ahora los automóviles además de aumentar su calidad y confiabilidad.

## APLICACIÓN DE CAN:

Ya que se ha probado que los chips CAN son principalmente confiables y además de bajo costo, se utiliza en muchos campos, tales como:

1. Automóviles: Actualmente CAN se utiliza en varios sistemas de vehículos tales como Mercedes-Benz clase E y C, Jaguar XK8, BMW etc.
2. Control Industrial: Muchos esfuerzos se han realizado para desarrollar la capa 1 (Capa de Aplicación) para aumentar la habilidad de CAN. Mientras tanto, se han desarrollado subdivisiones de CAN tales como DeviceNET, CANKingdom, CAL (CAN Application Layer), CANopen etc. Estas aplicaciones de CAN usan varias técnicas para engrandecer las características de CAN, proveyendo una mayor confiabilidad al dispositivo.

Su especificación de diseño básico, la cual consta de una inmunidad a interferencia electromagnética y la habilidad para detectar errores, ha provocado que CAN se utilice no solo en el área automotriz sino también en la industria.

## SITUACIONES DONDE CAN ES LA SOLUCIÓN:

CAN es ideal para situaciones donde los microcontroladores necesitan comunicarse ya sea entre ellos o con periféricos remotos. Tenemos por ejemplo que en el hogar tenemos el uso del carro; CAN fue originalmente utilizado para permitir el intercambio de información de sistemas como la administración del motor o la caja de velocidades siendo estas misiones críticas de sistemas de control en tiempo real.

Todos estos sistemas utilizan Full CAN para filtrar los mensajes no deseados por medio del controlador CAN y así reducir la carga en el CPU. De cualquier manera, la aparición de los

controladores Full CAN de bajo costo han permitido que actividades de tiempo crítico como el sistema de puertas (elevadores de ventanas, control de espejos etc.) puedan convertirse en parte de la red.

El entero cableado convencional ha sido substituido por dos redes de cable de CAN en donde inclusive dispositivos como las luces de frenos son nodos adicionales.

Una de las grandes ventajas de CAN, es eliminar aquellos sensores los cuales sensan lo mismo para diferentes dispositivos. Por medio de la red CAN, se puede transmitir esta información y solo necesitar de un sensor en lugar de varios. Por ejemplo, un nodo puede estar transmitiendo la velocidad de las llantas, este dato lo puede recoger simultáneamente la unidad de ABS, el tablero o panel y el sistema de administración del motor.

Desde el punto de vista de un diseñador, una gran atracción del protocolo de CAN es que todo el protocolo esta implementado en un chip y un programador. Toda las técnicas de detección de errores de transmisión y recepción se llevan a cabo transparentemente por el chip controlador CAN en hardware.

#### USO DE LA RED CAN EN VEHÍCULOS.

Existen cuatro aplicaciones principales para la comunicación serial en vehículos, cada uno con diferentes requerimientos y objetivos.

1. Red de controladores para el tiempo del motor, transmisión y frenos.
2. Red para equipo electrónico el cual va a hacer el vehículo más confortable para los usuarios, por ejemplo el aire acondicionado, control de iluminación etc.

3. En un futuro cercano las comunicaciones seriales también se usarán en el campo de la comunicación móvil con el fin de enlazar componentes como el autoestéreo, teléfono de carro, auxiliares de navegación etc. Los cuales se comunicarán directamente a un panel central ergonómicamente diseñado.
4. Por último la comunicación de vehículo a vehículo y de vehículo a estación central, la cual dependerá del crecimiento de la comunicación serial.

**NOTA:** Bajo costo, operabilidad en un ambiente eléctrico rudo, capacidades altas de tiempo real y facilidad de uso, son unas de las cualidades más apreciadas de CAN, las cuales son características semejantes para el caso de los automóviles y de la industria.

La red CAN, como en una red de computadoras, tiene protocolos de transmisión similares, que están definidos por ISO/OSI (International Standard Protocol/Open System Interconnection) en su modelo de 7 capas. A diferencia de estas, CAN utiliza el simplificado modelo de 7 capas en el cual solamente dos fueron definidos, la capa de enlace de datos y la física. Esta simplificación permite al protocolo ser más “abierto” que una red de computadoras, es decir, da al usuario la libertad de desarrollar su propia aplicación, por lo que, muchos protocolos de alto nivel tales como Device Net, SDS (Smart Distributed System), CAL (CAN application layer), CANopen, CANkingdom, etc. fueron establecidos en base a esta tecnología.

Por otro lado, CAN ofrece una tremenda detección de error y la habilidad para aislarlo. Esto reduce significativamente la carga de trabajo del microcontrolador en cuanto a checar la señal de CAN en el bus. El nodo que falla se determina a si mismo y retransmite la señal en cuanto detecta la falla en la transmisión.

INDUSTRIA AUTOMOTRIZ:

La industria automotriz está haciendo un uso extenso de CAN en los modelos de automóviles que se están desarrollando. Fabricantes como BMW, Mercedes-Benz, PSA, Renault, Fiat, Volvo y Saab son solo algunos ejemplos de modelos donde CAN juega un rol importante en la conexión de distintos componentes electrónicos. También existen vehículos los cuales ya están a la venta e incluyen CAN.

La sociedad de ingeniería automotriz (SAE) ha desarrollado un estándar llamado SAEJ1939 el cual esta dirigido a la industria de los camiones y trailers. El sistema busca dar capacidad de "plug and play" a los vehículos. La idea es utilizar un "gran libro rojo" para incluir identificadores de CAN para diferentes propósitos. BMW ha creado su propio estándar llamado CAN11, el cual tiene un gran parecido con el estándar de 11 bits.

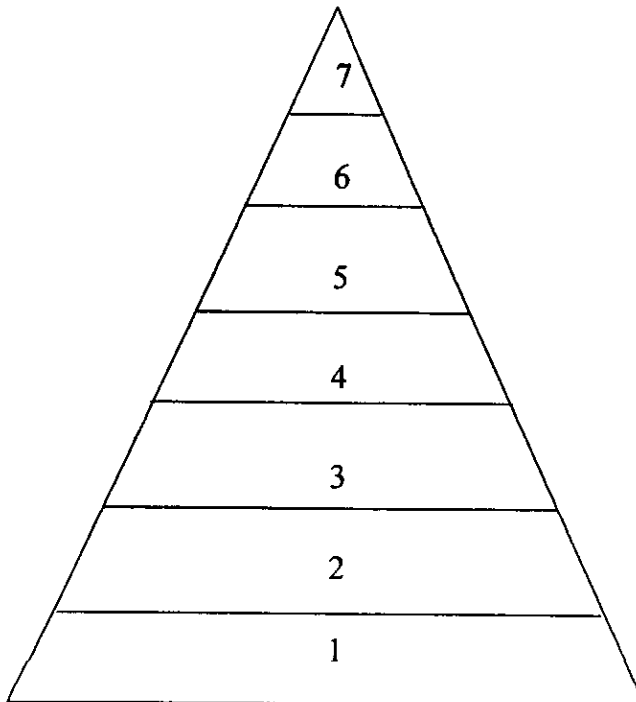
CAN como protocolo de comunicación serial diseñado específicamente para vehículos cuenta con una gran versatilidad, funcionamiento y facilidad de implementación además de una enorme confiabilidad. Mejora el desempeño del automóvil, impulsa, fortalece y promueve el diseño de nuevos dispositivos los cuales no se podían desarrollar ya que se encontraban con muchas limitantes. CAN logra dar un paso adelante en materia de comunicaciones, consolidando una nueva etapa la cual se encontró tan funcional que va creciendo cada día más expandiéndose no solo en el ramo automotriz sino también en el industrial. Si la tendencia continua como hasta ahora, pronto veremos a CAN implementado hasta en nuestros propios hogares.

# TÉCNICAS DE MANEJO DE INFORMACIÓN

CONCEPTO DE CAN:

PROTOCOLO DE RED

Generalmente, una red de computadoras hace uso completo del modelo de 7 capas de la Organización internacional de estandarización / Interconexión con Sistemas Abiertos "ISO/OSI" (International Standard Organisation/Open System Interconnect) las cuales son:



1. **CAPA DE APLICACIÓN:** El sistema operativo de la red. Es donde se lleva a cabo la interface hombre – máquina.
2. **CAPA DE PRESENTACIÓN:** Sirve como traductor para estaciones de diferente formato, por ejemplo, el archivo de Apple Macintosh puede ser transferido a una PC IBM compatible.
3. **CAPA DE SESIÓN:** Coordina el intercambio de información entre estaciones, particularmente cuando la razón de baudios es diferente o la de paquetes no está ordenada.
4. **CAPA DE TRANSPORTE:** Separa la información en segmentos más pequeños y asigna el checksum a cada segmento para checarlas de errores.
5. **CAPA DE RED:** Define cómo la información de la red pasa de un nodo a otro y empaqueta la información.
6. **CAPA DE ENLACE DE DATOS:** Maneja el intercambio de datos. Asigna y añade checksum a todo el paquete para checarlo de error. Este checksum será extraído por el receptor para verificar si el dato es correcto comparando el checksum recibido y el computado.
7. **CAPA FÍSICA:** Maneja la transmisión física de la señal, en formato digital. Por ejemplo para convertir una señal de TTL estándar en una señal de red la cual puede tener diferencias en representación del voltaje.

De lo anterior, es obvio que algunos de estas capas no son necesarias en control de bajo nivel, como lo son la de presentación y la de sesión. Estas capas definitivamente ayudan a mejorar la confiabilidad del sistema, pero también incrementan el costo así como la complejidad del mismo.



El protocolo CAN elimina estas capas y solo implementa 3 capas de este modelo; Capa de Enlace de Datos, Capa Física y por supuesto la de Aplicación. La Capa de Red, se incluye en la de Enlace de Datos para reducir la complejidad.

Como se eliminó la Capa de Sesión, solo puede existir una razón de baudios en una red CAN. Por lo tanto las técnicas de transmisión sincrona NRZ y CSMA/CD-NDBA se pueden usar para mejorar la velocidad y la confiabilidad del sistema.

La capa de enlace de datos se implementa en el control lógico de enlace "LLC" (logical link control) y en el control de acceso medio "MAC" (medium access control) las cuales son subcapas de un controlador CAN. El LLC provee el filtrado de aceptación, notificación de sobrecarga y la administración de recuperación. El MAC es responsable de encapsular los datos (y desencapsular) codificar el marco (stuffing y de-stuffing), administración de acceso medio, detección de error, señalización de error, ACK.

#### FORMA DE TRABAJAR DE CAN:

Para entender mejor como trabaja CAN se deben de entender los siguientes puntos:

1. TRANSMISIÓN DE BANDA – BASE: A diferencia de la técnica de transmisión de banda ancha la cual codifica la información antes de enviarla, la técnica de transmisión de banda – base transmite la información en su formato original. Esta técnica es sencilla y de bajo costo, la desventaja es que no puede manejar muchos datos con alta velocidad. Por lo tanto solo es conveniente para transmisiones de bajo nivel. Por condiciones de bajo costo CAN utiliza esta técnica.
2. CABLE PAR TRENZADO: CAN usa cable par trenzado, denominado CAN-High y CAN-Low, para la señal de transmisión. El propósito de esto es no filtrar la

interferencia que puede actuar sobre el bus. Es una técnica probada para transmisiones de corta distancia. Esta técnica no es buena para largas distancias debido a las pérdidas.

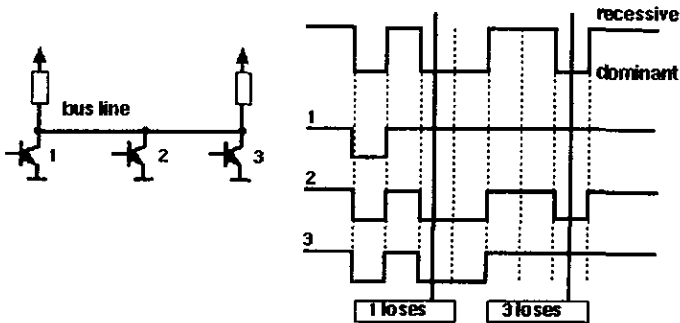
3. CSMA/CD - NDBA: A diferencia de la técnica convencional de transmisión serial (RS-232), en CAN, un nodo siempre sensorá la disponibilidad del bus y solo intentará la transmisión cuando el bus este libre. De esta manera permite que más de un nodo pueda ser escogido y comunicar en el bus. En algunas circunstancias, dos o más nodos pueden estar transmitiendo exactamente al mismo tiempo. En este caso los nodos son capaces de detectar la colisión y decidir el siguiente paso. La técnica de NDBA se utiliza en CAN en donde nodos con los identificadores más bajos continuarán transmitiendo sin error y los otros escucharán hasta la siguiente transmisión posible, es entonces cuando reintentarán transmitir.

#### ARBITRAJE DE BITWISE NO DESTRUCTIVO (NDBA):

Para que el dato pueda ser procesado en tiempo real debe de ser transmitido rápidamente. Esto no solo requiere de un camino para la transferencia de datos arriba de 1 Mbit/seg. sino que también necesita de una alocaión de bus rápida cuando varias estaciones desean mandar mensajes simultáneamente.

En procesamiento de tiempo real la urgencia de que los mensajes se intercambien a través de la red puede diferir grandemente: una dimensión de cambio rápido (RPM) debe de transmitirse más frecuentemente y por consiguiente con menos retrasos que otras dimensiones (temperatura del motor) las cuales cambian relativamente lento.

Las prioridades se especifican durante el diseño de la red, estas se encontrarán en cada identificador y en forma de valores binarios y no se pueden cambiar dinámicamente. El identificador con el número binario más bajo es el de más alta prioridad.



### Principio de Arbitraje de Bitwise no Destructivo

Conflictos de acceso al bus se resuelven por arbitraje de bitwise en los identificadores involucrados por cada estación observando el nivel del bus bit por bit.

De acuerdo con el mecanismo “wired and”, por el cual el estado dominante (Cero lógico) sobrescribe un estado recesivo (Uno lógico), la competencia por el bus allocation la pierden todas aquellas estaciones con transmisión recesiva y observación dominante. Todos los “perdedores” automáticamente se convierten en receptores del mensaje con la prioridad más alta y no reintentan de transmitir hasta que el bus este disponible nuevamente.

Cuando se escribe un bit recesivo en el bus, los dos cables se establecen en 2.5 V, cuando se escribe un estado dominante, un cable se lleva a 5 V (CAN H) y el otro a 0 V (CAN L).

Cuando un nodo empieza a transmitir su respectivo mensaje, cada bit del identificador se escribe en el bus y también es leído por cada nodo. Si un nodo escribe un bit recesivo pero lee un dominante, sabe que otro nodo con un identificador más bajo (más alta prioridad) está accediendo al bus. Dejará de transmitir su mensaje y continuará recibiendo el mensaje más importante. Esta técnica se le conoce como NDBA.

#### CAPA FÍSICA:

CAN puede utilizar varios tipos de medios físicos tales como el par trenzado, fibra óptica etc. Siempre y cuando los nodos puedan escucharse ellos mismos y a los otros, CAN debe de funcionar. El mensaje se lleva a cabo usando diferentes voltajes y es de esto que CAN cuenta con inmunidad al ruido y tolerancia a fallas.

El uso de diferencia de voltajes permite que la red CAN funcione aún cuando uno de los cables se encuentre dañado, o en medios extremadamente ruidosos.

#### SINCRONIZACIÓN:

Cuando cualquier nodo recibe un marco de mensaje (envío de mensaje) o un marco remoto (solicitud de envío de mensaje), es necesario por el receptor de sincronizarse con respecto al transmisor.

Debido a que no existe una señal de reloj explícita que pueda usar el sistema de CAN como referencia de tiempo se utilizan dos mecanismos que mantienen la sincronización.

El primero es la alta sincronización y ocurre dentro de cada controlador receptor cuando ocurre un cambio de bit recesivo a dominante durante el tiempo de bus libre. El único

tiempo en donde sucede esta alta sincronización, es en el SOF el cual veremos más adelante..

Alta sincronización reinicia el tiempo lógico de bit interno de cada controlador.

En sistemas ideales simplemente con la alta sincronización bastaría, sin embargo existen ocasiones en donde se necesita de una sincronización adicional. A esta se le denomina *resincronización* y *también solo ocurrirá en un cambio de nivel recesivo a dominante*.

Un bit SOF se puede recibir ya sea durante el tiempo de bus libre, si se suspende una transmisión y al final del espacio de INTERframe.

#### EFICIENCIA DE ALOCACIÓN DE BUS:

La eficiencia del sistema de alocación de bus esta determinada principalmente por la capacidad de un sistema de bus serial. Generalmente distinguimos a los sistemas de bus en las siguientes clases:

1. ALOCACIÓN MEDIANTE ARREGLO DE TIEMPO: La alocación de bus se realiza secuencialmente para cada participante con una duración máxima sin importar si el participante necesita el bus en ese momento o no.
2. ALOCACIÓN DE BUS EN BASE A LA NECESIDAD: La alocación de bus se da a un participante en base a la solicitud de transmisión. Por ejemplo el sistema de alocación solo considerará participantes que deseen transmitir (CSMA, CSMA/CD). Para CAN, la alocación de bus se negocia únicamente con los mensajes a ser transmitidos. Esto quiere decir que los procedimientos especificados por CAN se clasifican como alocación en base a la necesidad.

3. ACCESO AL BUS NO DESTRUCTIVO: Con métodos de este tipo la alocaación de bus se hace a solo una estación ya sea inmediatamente o dentro de un tiempo especificado siguiendo un solo acceso de bus (por una o más estaciones). Esto asegura que cada acceso de bus por una o más estaciones lleva a una alocaación no ambigua de bus (ejemplos: token slot, token passing, round robin, bitwise arbitration).
  
4. ALOCACIÓN DE BUS DESTRUCTIVA: Acceso simultaneo por más de una estación causa que todo intento de transmisión sea abortado y por consiguiente no hay una alocaación de bus. Para poder procesar todas las solicitudes de transmisión de la red CAN, el protocolo CAN debe implementar un método de alocaación de bus que garantice que nunca habrá ambigüedades en la alocaación de bus aún cuando existan accesos de bus simultáneos desde estaciones diferentes. El método de arbitraje de bit utilizando únicamente el identificador de los mensajes a ser transmitidos resuelve cualquier colisión entre las estaciones que quieran transmitir y esto lo realiza a más tardar dentro de 13 (formato estándar) o 33 (formato extendido) periodos de bit para cualquier periodo de acceso de bus. A diferencia de otros métodos, el método (CSMA/CD) no destructivo de resolución de conflictos asegura que ninguna capacidad de bus se usa sin transmitir información útil.

El acceso al bus no destructivo puede ser clasificado en:

- Control de acceso de bus centralizado.
  
- Control de acceso de bus descentralizado.

El acceso depende de si los mecanismos de control están presentes en los sistemas solo una vez (centralizado) o más de una vez (descentralizado). Un sistema de comunicación con una estación designada (inter alia para control de acceso de bus centralizado) debe de proveer una estrategia que tome efecto en el

caso de una falla en la estación central. Este concepto tiene la desventaja que la estrategia para administración de fallas es difícil y costosa de implementar y además de que la sustitución de la estación central por una estación redundante puede consumir mucho tiempo. Por estas razones y para solucionar el problema de la confiabilidad de la estación maestra (por consiguiente de toda el sistema de comunicación), el protocolo CAN implementa el control de bus descentralizado.

En resumen se puede decir que CAN implementa un sistema de alocaión de bus tráfico – dependiente, que permite por medio de un acceso de bus no destructivo con control de acceso al bus descentralizado, un alto porcentaje de datos útiles utilizando el porcentaje más bajo posible de datos en el bus para cuando hablamos del porcentaje de bus ocupado para todas las estaciones. La eficiencia del procedimiento de arbitraje del bus aumenta por el hecho de que el bus se utiliza solamente por aquellas estaciones con solicitudes de transmisión pendientes.

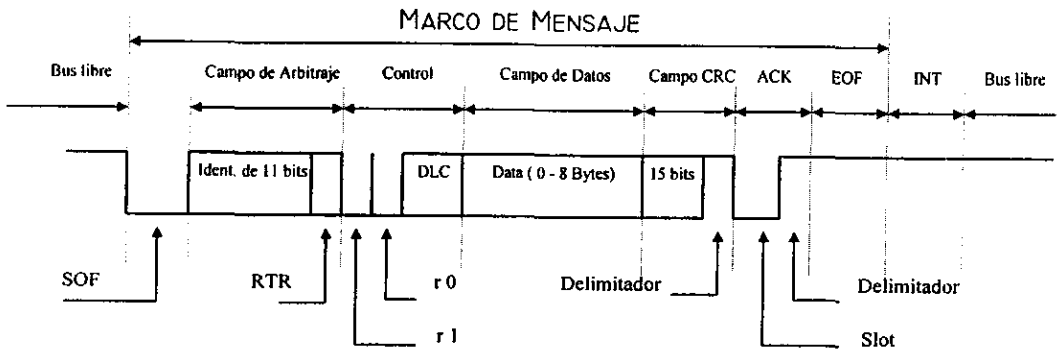
Estas solicitudes son manejadas en el orden de importancia del mensaje para todo el sistema. Esto prueba especialmente ventajas en situaciones de sobrecarga.

#### FORMATO DEL MARCO DE MENSAJE:

Como ya se mencionó anteriormente, existen dos tipos de formatos de marco de mensaje de CAN, el estándar (2.0A) y el extendido (2.0B). Son formatos muy parecidos entre sí con la diferencia de que el identificador del formato extendido es de 29 bits en lugar de 11. Debido a este cambio se tienen que realizar otras modificaciones. A continuación se explica el formato 2.0A, el cual fue el primero en desarrollarse, posteriormente se explica el 2.0B mostrando las diferencias entre estos dos y su compatibilidad:

FORMATO 2.0A:

Un nodo CAN produce un marco de mensaje cuando el nodo desea transmitir datos o si quiere solicitar datos de otro nodo.



Marco de Mensaje para el formato estándar ( CAN especificación 2.0 A)

El marco de mensaje en este tipo de formato consiste en siete diferentes campos de bit:

- EL CAMPO DE INICIO DE MARCO "SOF" (Start of Frame) el cual indica el comienzo de un marco de mensaje. Este requiere de un alta sincronización junto con todos los nodos, de manera que si existen dos o más nodos intentando transmitir simultáneamente, estos comiencen exactamente al mismo tiempo.
- EL CAMPO DE ARBITRAJE, el cual contiene un identificador de mensaje y un bit de solicitud de transmisión remota "RTR" (Remote Transmission Request). Este indicará si es un marco de datos para transmitir o un marco de solicitud de que se le transmitan datos, el cual no tendrá ningún byte de datos (marco remoto (remote frame)). El RTR es como una pregunta, el nodo con la respuesta contestará en una segunda comunicación.



El número del identificador con el dato solicitado se envía con el RTR, es decir, el nodo no mandará su número de indentificador sino el número del identificador del cual solicita el dato. Como todos los nodos leen el bus en todo momento, el nodo con el identificador coincidente reconoce su número y manda un marco de mensaje con el dato solicitado.

En el caso de que dos marcos, uno de transmisión y uno de solicitud de transmisión con el mismo identificador, el nodo de transmisión ganará la alocaación del bus ya que este transmitirá un bit dominante RTR mientras que la solicitud de transmisión un recesivo. De esta manera el nodo del marco remoto recibirá los datos inmediatamente.

- UN CAMPO DE CONTROL conteniendo 6 bits. Dos bits dominantes (r 1 y r 0) que están reservados para usarse en un futuro (formato 2.0 B). Un código de longitud de dato "DLC" (Data Length Code) de cuatro bits. El DLC indica el número de bytes en el campo de datos que sigue, este puede ser desde 0 hasta 8 bytes,.



No. of Data Bytes	Data Length Code (DLC)			
	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
0	d	d	d	d
1	d	d	d	r
2	d	d	r	d
3	d	d	r	r
4	d	r	d	d
5	d	r	d	r
6	d	r	r	d
7	d	r	r	r
8	r	d	d	d

Tabla de DLC

Un campo de datos puede contener desde cero hasta ocho bytes. Desde luego se pueden transmitir mensajes más largos por medio de la segmentación. En algunos casos tiene sentido el enviar cero datos, por ejemplo cuando se quiere indicar un evento con ningún dato ( 0 RPM).

Byte 1 Byte 2 Byte 3 Byte 4 Byte 5 Byte 6 Byte 7 Byte 8

min. length of Data Field = 0 Byte



max. length of Data Field = 8 Byte

Dibujó del campo de datos

- UN CAMPO DE CHEQUEO REDUNDANTE CÍCLICO "CRC" (Cyclic Redundancy Check), utilizado como un marco de chequeo de seguridad para detectar errores. Este campo es de una longitud de quince bits y un bit delimitador recesivo.

Los receptores calculan el CRC de la misma manera que el transmisor. El CRC calculado por el transmisor se envía dentro del marco de mensaje. El receptor calcula, en base al marco de mensaje el CRC y lo compara con el recibido.

- EL CAMPO DE RECONOCIMIENTO "ACK" (Acknowledge) el cual consiste de dos bits. El primero es el bit Slot el cual se transmite como recesivo, pero es sobrescrito con bits dominantes por aquellos receptores que han recibido en ese

momento el dato correctamente (reconocimiento positivo). El segundo bit es un bit delimitador también recesivo.

- EL CAMPO DE FIN DE MARCO "EOF" (End of frame), consistiendo este de siete bits recesivos. Todo marco de mensaje, ya sea de transmisión o de solicitud de transmisión tiene que tener una bandera que lo delimite, esta "bandera" se le denomina EOF.

Siguiendo al (EOF) esta el campo de INTermission el cual consiste de tres bits recesivos y serán el mínimo número de periodos de bit separando mensajes consecutivos

Después del periodo de los tres bits de INTermission se reconoce al bus como libre o desocupado. El tiempo libre de bus puede ser de cualquier longitud, incluyendo el cero.

## FORMATO 2.0B:

Este formato provee de un identificador de veintinueve bits.

Evolucionó para proveer compatibilidad con otros protocolos de comunicación serial en aplicaciones automatizadas en E.E.U.U. Para abastecer esto, y además tener compatibilidad con la versión 2.0A, el marco de mensaje de la versión 2.0B tiene un formato extendido.

Las diferencias son:

- En la versión 2.0B el campo de arbitraje contiene dos campos de identificador de bit. El primero es de una longitud de once (11) bits para compatibilidad con la versión 2.0A. El segundo campo es de una longitud de dieciocho (18) bits para dar una longitud total de veintinueve (29) bits.

- La distinción entre estos dos formatos se realiza mediante un bit identificador de extensión “IDE” (Identifier Extension Bit). Este es transmitido como dominante en el caso del formato estándar (en el campo DLC corresponde a r1) y como recesivo en el caso del extendido. En el caso de que exista el mismo identificador para los dos formatos en una misma red, ya que un bit dominante sobrescribe un recesivo, el formato estándar ganará la colisión.
- Un bit de solicitud remota substituto “SRR” (Substitute Remote Request) también se incluye el campo de arbitraje. El bit SRR siempre se transmite como un bit recesivo.
- Todos los demás campos de la versión 2.0B son idénticos a los del formato estándar.

#### COMPATIBILIDAD ENTRE 2.0A Y 2.0B:

Controladores 2.0B son completamente compatibles con controladores 2.0A y puede transmitir y recibir mensajes en cualquier formato.

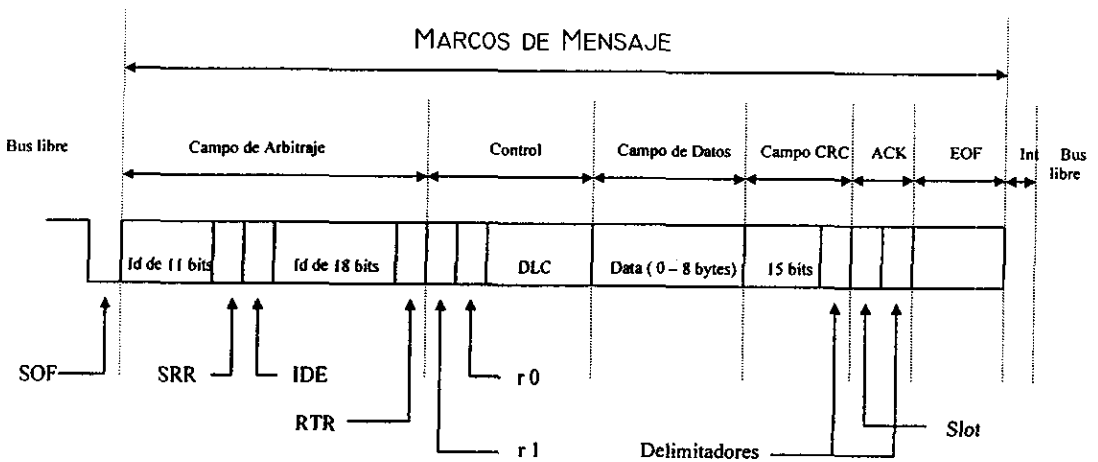
De cualquier manera note que existen dos tipos de controladores 2.0A:

- ⇒ El primero es capaz de recibir y transmitir mensajes únicamente en el formato 2.0A. Con este controlador la recepción de cualquier mensaje 2.0B activará una bandera de error.
- ⇒ El segundo (conocido como 2.0B pasivo) es capaz de mandar y recibir mensajes 2.0A. También avisarán de haber recibido un mensaje 2.0B, sin embargo, lo ignorarán.

El número de identificadores disponibles para los usuarios, en una sola red 2.0A es de 2.032. El número de identificadores disponibles para los usuarios, en una sola red 2.0B y dejando de lado la compatibilidad con los buses americanos excede los 500 millones.

El máximo número de nodos en un bus de CAN es teóricamente ilimitado, pero el número está determinado por las características de la capa física empleada. El límite de mensajes por segundo es de 2000 a 5000 en un bus con una razón de transmisión de 250 Kbits/s dependiendo del número de bytes por mensaje.

NOTA: El mensaje en el formato estándar siempre tendrá prioridad sobre el extendido en el dado caso de que sea el mismo identificador de formatos diferentes.



Marco de Mensaje para el formato extendido ( CAN especificación 2.0 B)

#### MARCO DE SOBRECARGA:

Un marco de sobrecarga es generado por un nodo si, debido a las condiciones internas, el nodo no se encuentra todavía disponible o listo para empezar la recepción del siguiente mensaje o si durante INTermision uno de los primeros dos bits es dominante. Otra razón por la cual se pueda dar un marco de sobrecarga es porque el último bit de EOF se transmita dominante, lo cual no es considerado como error por el receptor sin embargo puede perder la sincronización, debido a esto, se genera un marco de sobrecarga.

Con un marco de error se le solicita al transmisor que retrase el comienzo de la nueva transmisión. El marco de sobrecarga es idéntico al marco de error, la única diferencia es que el de sobrecarga no incrementa los contadores de error (vea encierro de falla) y no provoca una retransmisión del marco de mensaje. Cada nodo puede transmitir solamente 2 marcos de sobrecarga consecutivamente.

#### DETECTANDO Y SEÑALANDO ERRORES:

A diferencia de otros sistemas de bus, el protocolo CAN no utiliza mensajes de reconocimiento, en su lugar, señala cualquier error que ocurra.

Los pasos de CAN para manejar errores son los siguientes:

1. Se detecta un error local o global.
2. Se transmitirá una bandera de error (globalización del error).
3. En caso de error local, esta bandera de error se sobrescribirá por otra, a la cual le sigue el delimitador de error.

4. El mensaje será descartado por cada nodo.
5. Los contadores de error de cada nodo en el bus se incrementarán.
6. El mensaje de transmisión se repetirá automáticamente.

En el caso de que ocurra algún error, el cual sea detectado por cualquier nodo, se generará un marco de error. Un marco de error consiste en una bandera de error y un delimitador de marco de error. Los bits dominantes de la bandera de error sobrescriben el marco de dato alterado y provoca una retransmisión. Debido al mecanismo de globalización de error, en la cual se transmite a todos los nodos de que existe un error, puede existir una superposición de banderas de error. El delimitador consiste de ocho bits recesivos y permite a los nodos volver a empezar la comunicación limpiamente después de un error.

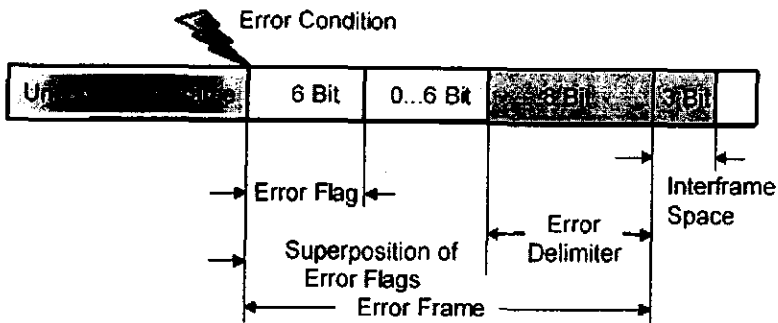


Figura de marco de error.

Para detección de error el protocolo CAN implementa 3 mecanismos a nivel de mensaje:

1. CHEQUEO REDUNDANTE CÍCLICO (CRC): El CRC protege la información en el marco de mensaje añadiendo bits de chequeo redundante al final de la

transmisión en el campo CRC. Esta información de bits se obtiene del marco de mensaje y se puede obtener desde el SOF hasta el final de campo de datos. Al final de la recepción estos bits son re-computados. Se compara la secuencia CRC recibida en el marco de mensaje contra la secuencia CRC re-computada. Si estas dos secuencias no son iguales existe un error CRC. El chequeo CRC se utilizará para checar únicamente, no para corregir.

2. **CHEQUEO DEL MARCO:** Este mecanismo verifica la estructura del marco transmitido checando el campo de bits contra el formato definido y el tamaño del marco. En otras palabras, existen ciertos valores de bit predefinidos los cuales se deben de transmitir en puntos específicos dentro de cualquier marco de mensaje, estos son EOF, delimitador ACK, delimitador CRC; los cuales deben de transmitirse como recesivos. Los errores detectados por chequeo de marco se les denomina errores de formato.
3. **ERRORES ACK:** Como se mencionó anteriormente, se da un reconocimiento positivo por parte de todos los receptores cuando reciben el marco. Si el transmisor no tiene el reconocimiento positivo del mensaje, se produce un error ACK, esto puede querer decir que ha habido un error de transmisión el cual solo lo detectaron los receptores, que el campo ACK se ha corrompido o que no hay ningún receptor.

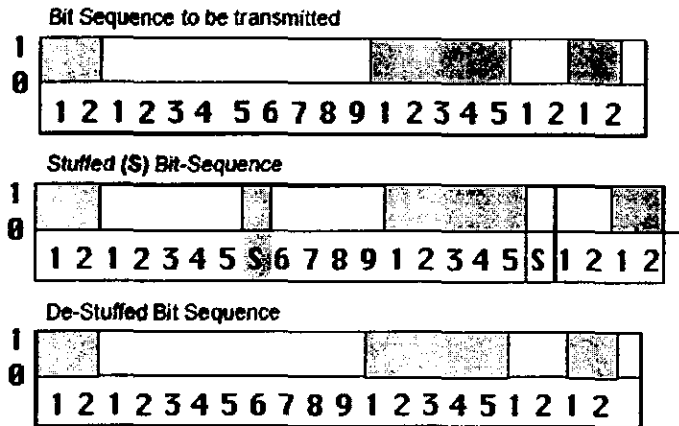
El protocolo CAN también implementa dos mecanismos para detección de error a nivel de bit:

1. **MONITOREO:** La habilidad del transmisor para detectar errores esta basado en el monitoreo de las señales de bus: cada nodo que transmite también observa el nivel del bus y por consiguiente detecta diferencias entre el bit transmitido y el que se lee en el bus. Esto permite detección confiable de todos los errores globales y errores locales al transmisor. La excepción a la regla será en el campo



del identificador, el cual se usa para arbitraje y en el ACK Slot, el cual requiere de un bit recesivo para sobrescribirlo con un bit dominante.

2. BIT STUFFING: La codificación de los bits individuales se prueba a nivel de bit. La representación de bit usada por CAN es la codificación NRZ, la cual garantiza máxima eficiencia de codificación de bit. La sincronización se genera por bit stuffing. Por ejemplo, después de cinco bits consecutivos del mismo valor el transmisor inserta un bit stuff con el valor complementario, el cual es removido por los receptores antes de leer el mensaje. Debido a esta regla, si cualquier nodo recibe o detecta seis bits consecutivos del mismo valor, se levanta una bandera de "Error de Stuff". Los bits de los campos donde no se aplica este método son: delimitador CRC, ACK Slot y el EOF, ya que estos son de forma definida, el marco de error y el de sobrecarga también son marcos de forma definida y por lo tanto tampoco se les aplica el bit stuffing.



Dibujo de bit stuffing.

Si se descubren uno o más errores por al menos en una estación (cualquiera) utilizando cualquiera de los 5 mecanismos anteriores, se aborta la transmisión por medio de una “Bandera de Error”. Esto previene que otras estaciones acepten el mensaje y asegura la consistencia de los datos a través de la red. En el caso de que se levante una bandera de error, existe un “Delimitador de Error” y solo después de este periodo, más el campo INT, los nodos CAN pueden transmitir nuevamente.

Después de que se aborta la transmisión de un mensaje erróneo, el transmisor automáticamente reintenta la transmisión (solicitud de repetición automática). Puede que otra vez haya competencia por la alocaión de bus. Como regla, la retransmisión debe empezar dentro de 23 periodos de bit después de la detección de error; en casos especiales, el tiempo de recuperación del sistema es de 31 periodos de bit.

Aún cuando el método descrito pueda ser muy efectivo y eficiente, en el caso de una estación defectuosa puede llevar a todos los mensajes (incluyendo los correctos) a que se aborten, por consiguiente bloqueando el sistema de bus si no existen mediciones de automonitoreo. El protocolo CAN entonces provee un mecanismo para distinguir errores esporádicos de errores permanentes y localizando fallas en estaciones (encierro de falla). Esto se hace con evaluación estadística de situaciones de error en estaciones, enfocándose a reconocer los errores propios de las estaciones y posiblemente entrando a un modo de operación en donde el resto de la red CAN no es negativamente afectada. Esto puede llegar hasta el grado de que la estación se autoapague para prevenir el abortar mensajes que son erróneamente reconocidos como incorrectos.

#### ENCIERRO DE FALLA:

Encierro de falla es un mecanismo el cual se entiende que es exclusivo de CAN y provee un método para discriminar entre errores temporales y fallas permanentes. Los errores temporales pueden ser causados por condiciones externas inadecuadas, cambios de voltaje

inapropiados etc. Fallas permanentes son generalmente causados por malas conexiones, cables defectuosos, transmisores o receptores defectuosos etc.

Para saber qué tipo de error se tiene CAN lo determina en base a un contador de errores, cada vez que se levanta una bandera de error, se añaden a los dos registros dedicados a la cuenta de errores dentro del controlador CAN en cada uno de los nodos de la red. Los errores de recibo se les da un peso de 1 y se acumulan en el registro de cuenta de errores de recibo. A los errores de transmisión se les da un peso de 8, y se acumulan en el registro de cuenta de errores de transmisión.

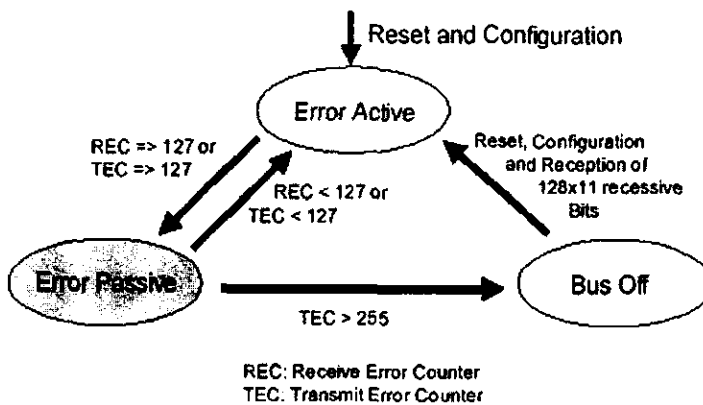
Mientras los errores sigan ocurriendo se seguirán incrementando estos registros. Los mensajes correctos decrementan los registros de cuenta de errores, y si no se detectan errores, los dos registros de errores vuelven a cero.

La cuenta de errores acumulada determina el estado de error de un nodo. Los nodos se pueden encontrar debido a la cuenta de errores en tres diferentes tipos de modo:

1. MODO DE ERROR ACTIVO: Normalmente los nodos se encuentran dentro de este modo de operación. En esta condición un nodo es totalmente funcional y ambos contadores de errores contienen cuentas de menos de 127. En el caso de encontrar algún error, estos levantarán su bandera de error, la cual consta de bits dominantes.
2. MODO DE ERROR PASIVO: Si la cuenta de cualquiera de los dos registros excede de 127, el nodo pasará del estado activo al estado de "alerta" denominado el modo de error pasivo. En caso de que el nodo se encuentre en este modo, pueden transmitir y recibir mensajes, pero esta restringido en relación a como activa la bandera de error en caso de que haya detectado uno. El modo de error pasivo únicamente puede enviar banderas de error en bits recesivos, de esta manera, no afectarán el nivel del bus y seguirá su cuenta de errores.

Para evitar que nodos defectuosos con alta prioridad bloqueen el bus, se les introduce un retraso de transmisión para aquellos que se encuentren en el modo de error pasivo. Después de una transmisión, el nodo debe de esperar 3 (IFS) + 8 bits recesivos antes de comenzar la transmisión.

3. MODO DE BUS APAGADO: Si una condición de error persiste, la cuenta de error de transmisión supera el valor de 255, el dispositivo se retirará de la red cambiándose al modo de bus apagado. Esto quiere decir que un dispositivo de falla permanente dejará de estar activo en el bus, pero la comunicación entre los otros nodos continuará funcionando.



Estados de nodos

Modo activo, pasivo y apagado

REGLAS DE ENCIERRO DE FALLA:

1. Cuando el receptor detecta un error, el REC se incrementará en 1, exceptuando cuando el error detectado fue un error de bit durante el envío de una bandera de error o una bandera de sobrecarga.
2. Cuando el receptor detecta un bit dominante como el primer bit después de enviar una bandera de error, el REC se incrementará en 8.
3. Cuando el transmisor envía una bandera de error, se incrementa en 8.

*Excepción 1: Si el transmisor se encuentra en modo de error pasivo y detecta un error ACK y por no detectar un bit dominante cuando envía la bandera de error.*

*Excepción 2: Si el transmisor envía una bandera de error porque ocurrió un error de stuff durante el arbitraje, el cual debió haber sido recesivo, fue enviado como recesivo pero monitoreado como dominante.*

4. Si el transmisor detecta un error de bit mientras que envía una bandera de error o un marco de sobrecarga, el TEC se incrementa en 8.
5. Si el receptor detecta un error de bit mientras está mandando una bandera de error o una bandera de sobrecarga, el REC se incrementa en 8.
6. Cualquier nodo tolera hasta 7 bits dominantes consecutivos después de haber mandado una bandera de error (activa o pasiva) o de sobrecarga. Después de detectar 14 bits consecutivos dominantes (en caso de bandera de error activa o sobrecarga) o detectando 8 bits consecutivos dominantes siguiendo una bandera de error pasiva, y después de cada secuencia adicional de 8 bits consecutivos

dominantes, cada transmisor incrementa el TEC en 8 y cada receptor incrementa el REC también en 8.

7. Después de una transmisión exitosa de un marco (ACK dominante y sin error hasta el final de EOF), el TEC se decrementa en 1 a menos que ya se encuentre en 0.
8. Después de una transmisión exitosa de un marco (sin error hasta el ACK Slot), el REC se decrementa en 1, si se encuentra entre 1 y 127. Si el REC es 0 así permanecerá, y si era mayor a 127 entonces se le dará un valor entre 119 y 127.
9. Un nodo está en modo de error pasivo cuando el TEC es igual o excede 128 o cuando el REC es igual o excede 128. Una condición de error que provoque que un nodo se convierta en modo de error pasivo, causa que el nodo mande una bandera de error activa.
10. Un nodo se encontrará en modo de bus apagado cuando el TEC sea igual a 256.
11. Un nodo en modo de error pasivo se convierte en activo de nuevo cuando ambos, el TEC y el REC sean menores o iguales a 127.
12. Cuando un nodo que se encuentra en modo de bus apagado esta permitido que se convierta en modo de error activo cuando sus dos contadores de errores se coloquen en cero y después de 128 ocurrencias de 11 bits consecutivos recesivos han sido monitoreados en el bus.

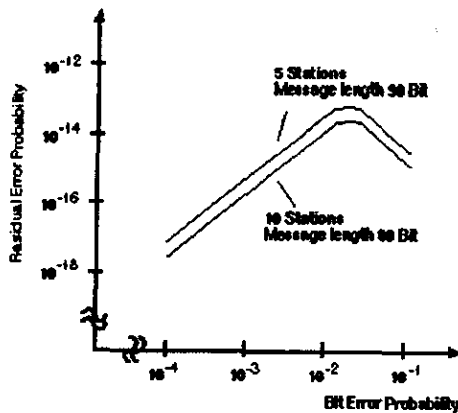
#### CONFIABILIDAD DE DATOS EN EL PROTOCOLO CAN:

La introducción a sistemas relacionados con seguridad en automóviles trajo consigo altos requerimientos para la confiabilidad de la transmisión de datos. El objetivo es

frecuentemente formulado como no permitiendo ninguna situación peligrosa para el conductor que ocurra como un resultado de intercambio de datos a través de toda la vida del vehículo.

Esta meta se alcanza si la confiabilidad del dato es suficientemente alta o la probabilidad de error residual es suficientemente baja. En el contexto de bus de sistema de datos, se entiende por confiabilidad como la capacidad de identificar datos alterados por fallas de transmisión. La probabilidad de error residual es una medida estadística del deterioro de la confiabilidad de los datos: especifica la probabilidad de que el dato sea alterado y que esta alteración permanecerá sin detectar. La probabilidad de error residual debe ser tan pequeña que en porcentaje ningún dato alterado se irá sin detectar a través de toda la vida del sistema.

Probabilidad de error residual como función de la probabilidad de error de bit.



Para calcular la probabilidad de error residual se requiere que los errores que ocurren sean clasificados y que todo el camino de la transmisión sea descrito por un modelo. Si nosotros determinamos la probabilidad de error residual de CAN como función de la probabilidad de

error de bit para longitudes de mensaje de 80 a 90 bits, para sistemas de configuración de, por ejemplo 5 a 10 nodos y con una razón de error de 1/1000, entonces la máxima probabilidad de error es aproximadamente  $0.02 \times 10^{-13}$ . Basado en esto es posible calcular el número máximo de errores indetectables para una red de CAN dada. Por ejemplo, si una red de CAN (formato estándar) opera a una razón de 1 Mbit/s, a un promedio de utilización de capacidad de bus de 50 por ciento, para un total de horas de operación de 4000 y con una longitud de mensaje promedio de 80 bits, entonces el total de mensaje transmitidos será de  $9 \times 10^{10}$ . El número estadístico de errores de transmisión sin detectar durante la vida de operación es por consiguiente menor a  $10^{-2}$ . Puesto de otra manera, con un tiempo de operación de ocho horas al día, 365 días al año y una razón de error de 0.7 s, un error no detectado ocurrirá cada mil años (promedio estadístico).

*NOTA: La probabilidad de errores no detectados es más alta para el formato extendido que para el estándar.*

#### PROBLEMA DE DOBLE RECIBO:

Si uno de los bits del 1 al 6 del EOF se detectan localmente como bits dominantes el nodo mandará una bandera de error para globalizar la falla.

Sin embargo, el punto en el cual el mensaje es considerado válido, es diferente para el transmisor que para el receptor.

- Transmisor: El mensaje es válido para el transmisor si no existe ningún error hasta el fin del EOF. Si el mensaje se encuentra alterado, la retransmisión proseguirá automáticamente.



- Receptor: El mensaje es válido para el receptor si no existe ningún error hasta el penúltimo bit del EOF.

Un receptor que lee un bit dominante en el séptimo bit del EOF, no tomará esto como un error, al no tomarlo como un error, aceptará el mensaje; por otro lado el transmisor que si lo considera un error transmitirá el mismo mensaje nuevamente, por lo cual el receptor recibirá el mismo mensaje dos veces.

El nivel dominante del bus puede ser resultado de lo siguiente:

1. Una bandera de error de un receptor reportando un error local en el penúltimo bit del EOF.
2. Una alteración en el último bit de EOF.

En el primer caso se aprecia que existen otros mensajes que no fueron afectados por el error local y por consiguiente ya aceptaron el primer mensaje.

En el segundo caso todos los receptores ya recibieron el primer mensaje. Después de la retransmisión del mensaje, han recibido el mismo mensaje dos veces.

## CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO

Al pensar en implementar un sistema de comunicación dentro de un automóvil, debemos de pensar en el ambiente que lo rodea, un ambiente de batalla, de uso rudo. Necesitamos que soporte las influencias externas y se mantenga trabajando con la misma confiabilidad. El sistema que cuenta con estas características se llama CAN.

CAN es adecuado para aplicaciones donde varios sistemas de microcontroladores tienen que comunicarse ya que provee de funcionalidades multimaestras y capacidades de tiempo real. Los principales campos de aplicación de CAN es en sistemas de control industrial, aunque CAN fue desarrollado para automóviles se encuentra que puede tener mayor aplicación en la rama industrial. Una de sus características únicas son los sistemas de detección de error y encierro de falla, lo cual hace a las redes CAN adecuadas para aplicaciones donde la seguridad es crítica tal como en los equipos médicos y de control.

De los principales campos de aplicación de CAN encontramos los siguientes:

1. MAQUINAS MÓVILES.
2. SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL.
3. SISTEMAS AUTOMATIZADOS EN CONSTRUCCIONES.
4. CAMPOS DE APLICACIÓN ESPECIAL.
5. TRANSPORTE PÚBLICO Y TRÁFICO.
6. AUTOS Y CAMIONES DE PASAJEROS.

Todos estos campos de aplicación arriba mencionados son campos que cuentan con un común denominador, el entorno que los rodea. Comentaremos rápidamente cada uno de estos profundizando en el tema que nos incumbe, los vehículos automotores.

## 1.- MÁQUINAS MÓVILES.

En varias máquinas móviles las redes CAN enlazan ECU's así como sensores y actuadores. CAN se usa desde hace ya varios años en máquinas de campo, de agricultura, sillas de ruedas etc. En el campo marítimo también se ha usado para sistemas de control y monitoreo en donde encontramos sistemas CAN ya instalados en más de 150 barcos.

La necesidad de muchos sensores y de un panel de control situado en un lugar lejano a estos sensores o a los actuadores, nos lleva a utilizar un sistema como CAN el cual utiliza un único cable de par trenzado como bus, simplificando la instalación y el mantenimiento.

## 2.- SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL:

Las redes CAN se utilizan mucho en cualquier tipo de red industrial, Estas redes están basadas en CAN sin embargo utilizan desarrollos propietarios. Estos desarrollos se han difundido mucho hoy en día y pueden ser CANopen, DeviceNet, Smart Distributed Systems, entre otros.

Los ejemplos típicos de estas redes es en sistemas de control para las máquinas textiles, máquinas de impresión así como máquinas empaquetadoras, procesadores de madera, fabricantes de semiconductores, centros de prueba de calidad etc.

Otro importante campo de aplicación es en la rama de automatización industrial en control de robots. Compañías importantes como ABB, Bosch, entre otras, ya implementan este sistema de comunicación para sus equipos.

RERS Robotics diseñó un sistema de control distribuido basado en CAN. El robot VME cuenta con una interfaz CAN por lo que además de la red interna este robot puede comunicarse con otros robots del mismo tipo.

En este campo de aplicación de CAN encontramos uno de los casos más comunes de enorme y variada presencia de ruido emitido por las muchas máquinas, lámparas, motores y demás componentes eléctricos y mecánicos que rodean a un sistema de comunicación. CAN utiliza un cable par trenzado, el cual también puede contar con un recubrimiento metálico el cual debe de estar bien aterrizado y tendremos inmunidad al ruido o a las interferencias electromagnéticas que pudieran influir en la transmisión de información.

### 3.- SISTEMAS AUTOMATIZADOS EN CONSTRUCCIONES.

En las construcciones tales como los edificios, encontramos sistemas basados en CAN los cuales pueden ser elevadores, sistemas de aire acondicionado, de iluminación o inclusive monitorear el sistema contra incendios y mandar la información al departamento de bomberos tal y como se hace en Alemania.

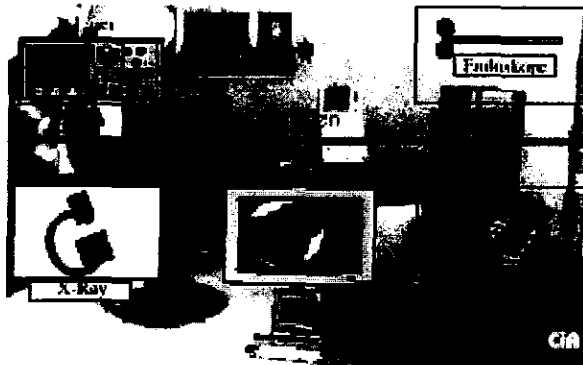
El elevador, un mecanismo de transporte que debe de constar con alta confiabilidad, este no se debe de colapsar. Como ya lo mencionamos anteriormente CAN no se colapsará gracias a su mecanismo de arbitraje de bitwise no destructivo. Si dos dispositivos intentan acceder al bus de manera simultanea, no encontraremos una colisión, simplemente, por definición, uno tendrá mayor prioridad y tendrá la preferencia de acceder al bus primero. En otras palabras, la red CAN no se cae.

### 4.- CAMPOS DE APLICACIÓN ESPECIAL.

Desde hace ya varios años la mayoría de los fabricantes de equipo médico están usando CAN. Incluso Siemens ya emigró de CAN a CANopen ya que requerían de un protocolo de capa mayor. Los sistemas de telescopios, controladores

redundantes, simuladores de vuelo, entre otros, son sistemas que hoy en día ya usan CAN.

Las redes CAN no serán usadas únicamente para comunicación interna en equipos, sino que también para red entre dispositivos. En un futuro todo el equipo médico será enlazado en una red CAN (rayos X, láser, endoscopio, ultrasonido etc.).



Las redes CAN las encontramos también en equipos de uso doméstico como una máquina de lavado profesional o una copiadora.

En la salud, característica indispensable para todos nosotros los seres humanos, requerimos de la mejor atención posible con los mejores doctores los cuales cuenten con el mejor equipo. La confiabilidad de este equipo debe de ser del 100 %, y como lo mencionamos anteriormente, la red CAN no se cae, también necesitamos que nuestro tiempo de respuesta sea rápido, CAN puede trabajar a velocidades de hasta 1 Mbps; no podemos tener una gran cantidad de cables dentro de una sala de operaciones, CAN solo utiliza uno. La tendencia dice que las redes CAN las encontraremos cada día más dentro de los hospitales.

## 5.- TRANSPORTE PÚBLICO Y TRÁFICO.

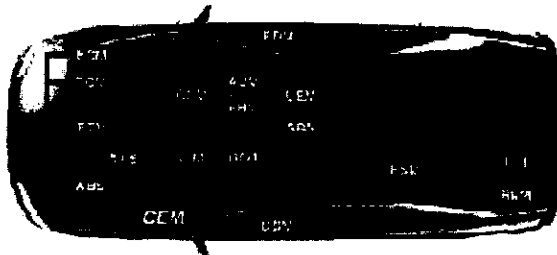
Algunos de los trenes que se encuentran en circulación en Europa conectan las unidades de freno por medio de una red CAN. CiA esta desarrollando un sistema de información para pasajeros, este sistema conectará máquinas de cancelación de tickets, pantallas de contador de pasajeros, disponibilidad etc.

El control de tráfico es otro buen ejemplo de la red CAN implementada para el transporte público y específicamente para el tráfico ya que podemos controlar en base a la afluencia del cruceo el tiempo para cada luz verde y roja. De esta manera tenemos una mayor versatilidad en nuestro sistema de transporte.

Los medios de transporte cuentan con características muy semejantes a las de los automóviles, necesidades de seguridad, aislamiento de falla, simplicidad del cableado, etc. los cuales los veremos con mayor detalle en el siguiente punto.

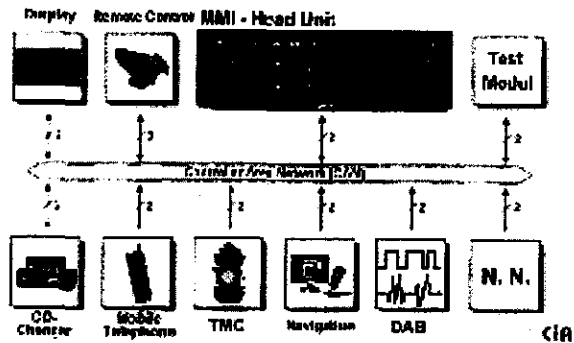
## 6.- AUTOS Y CAMIONES DE PASAJEROS.

Las redes CAN se usan en aplicaciones del motor conectando varias unidades de control electrónicas (ECU's). Daimler-Benz fue el primer fabricante de automóviles que implementó CAN para la administración de su motor. Hoy en día la mayoría de los autos y camiones de pasajeros Daimler-Benz utilizan sistemas de administración del motor basados en CAN corriendo a 500 kbps. Conforme el tiempo fue transcurriendo la mayoría de los fabricantes europeos emigraron a CAN y ya lo están implementando (Audi, BMW, Renault, VW, Volvo...).



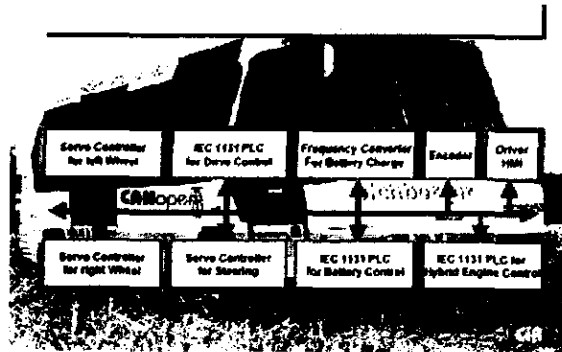
Además algunos automóviles están equipados con un multiplexor de CAN para conectar otros ECU's. Estas subredes tienen una menor velocidad debido a su prioridad (125 kbps).

Un tercer tipo de redes basado en CAN dentro de autos de pasajeros es el de conectar dispositivos de entretenimiento, tales como el radio, teléfono móvil, quemacocos, navegador, etc. En Europa todos los autos tendrán que contar con una interfaz de autodiagnóstico estandarizado. La estandarización internacional se encuentra en proceso, por lo que en un futuro cercano todos los automóviles tendrán que tener al menos un nodo de CAN.



Volkswagen está desarrollando un sistema de piloto de prueba automático basado en varias redes CANopen.

Neoplan, una compañía española, ha desarrollado un bus híbrido. El motor genera voltaje de AC, el cual se convierte en DC por medio de un rectificador



para cargar la batería del camión. Esta batería alimenta a 2 servomotores los cuales van directamente conectados a las llantas traseras, eliminando los famosos ejes. El rectificador y los servomotores son controlados por un PLC, el medio de programación es compatible con IEC 1131 y la comunicación se hace por medio de CAN. Los ingenieros de desarrollo de Neoplan estaban sorprendidos del poco tiempo que necesitaron para integrar todos los dispositivos de la red CAN.

Como hasta el momento hemos visto, CAN se desarrolla dentro de un ambiente de uso rudo. Ya que se encuentra rodeado de dispositivos que pueden generar gran cantidad de calor o ruido eléctrico entre muchos otros factores que pudieran afectar a un semiconductor ya sea dentro del mismo dispositivo o por la influencia que pueden provocar estos factores al medio de transmisión.

Otra influencia importante que puede afectar a una red CAN es la posible variación de voltaje o la vibración. Si añadimos esto a lo anterior podemos pensar que necesitaríamos de un sistema muy robusto con muchas protecciones, lo cual provoca un incremento en el costo, sin embargo CAN fue desarrollado pensando en todos estos factores y realizaron el protocolo antes explicado el cual cuenta con varios sistemas de chequeo de error, también el soporte de diferentes voltajes lo cual nos da la flexibilidad de que en nuestra red puedan entrar dispositivos que anteriormente sería imposible conectar.



Cuando hablamos de una red CAN, siempre hablamos de una red no solo de bajo costo, hablamos de una red versátil, la cual soporta este tipo de problemas, una red la cual no se puede caer o pasmar, o al menos no en sus secciones críticas.

Un buen ejemplo de una red que no se puede caer es el caso en el que uno de los dispositivos, identificadores, sensores u otros falle dentro del recorrido de un carro que viaja por carretera a varios km. por hora. No nos podemos permitir que el automóvil se pase por completo, ya que esto puede provocar que el sistema de frenos y la dirección se endurezcan, propiciando así un accidente, por tanto una red CAN siempre permite opciones alternas en caso de una falla. Inclusive si uno de los cables se encuentra roto podemos seguir transmitiendo, si una sección de la red falla, las otras secciones pueden seguir funcionando para que así tengamos un escudo contra fallas.

El mantenimiento de la red también es un factor importante, CAN es muy fácil de mantener y reparar, ya que la parte esencial de una red CAN se encuentra en su diseño y no en sus cambios. Es muy común que después de un tiempo el usuario quiera añadir dispositivos a la red, ya sean de entretenimiento o de control, estos dispositivos se pueden añadir fácilmente a la red. Por ejemplo, un automóvil de fábrica cuenta con dos luces de freno en las calaveras. ¿Que pasa si el usuario quiere añadir una tercera luz conocida como "stop light"? Este dispositivo es de solo lectura, tendrá que recibir los mismos mensajes que los otros dos, por lo que se le da el mismo número de identificador y simplemente se conecta. Eso es todo lo que se tendría que hacer.

En las entrañas de un automóvil encontramos muy diversas características de dispositivos los cuales son necesarios para cada una de las funciones del automóvil. La gran mayoría de estas generan ruido, este se puede convertir en interferencia para nuestra red. El cable de CAN está protegido contra la interferencia electromagnética, el chequeo de errores provee de confiabilidad a los datos, todo lo manejamos en un panel de control llamado tablero, siendo que los sensores y

actuadores se encuentran a diferentes distancias y todas y cada una de las características vistas en los puntos anteriores los encontramos también en un automóvil. Por estas necesidades es que CAN tiene hoy en día tanto apogeo.

CAN fue originalmente desarrollado para aplicaciones de automóviles. Desde 1992 algunos de los automóviles están equipados con redes CAN en la administración del motor y el cuerpo electrónico. El primer equipo de entretenimiento que entró a una red CAN fue en 1996. Los fabricantes de autos americanos decidieron empezar en gran volumen de producción de ECU's basados en CAN a principios de la próxima década así como los fabricantes del lejano oriente.

Las aplicaciones automotrices son las de mayor volumen. 80 % de los CAN chips instalados es en vehículos. Todas las implementaciones de CAN realizadas por más de 15 fabricantes de semiconductores están orientadas a aplicaciones en vehículos.

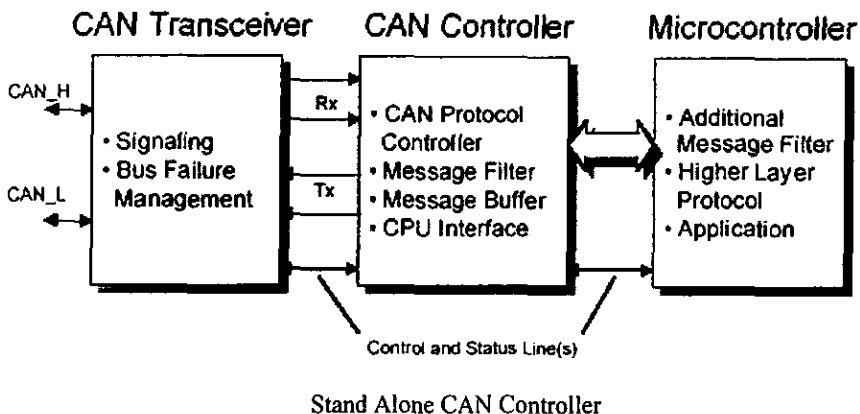
Cuando nos referimos a CANopen o a otro higher layer protocol hablamos de que va más allá de la capa dos. CAN kingdom no pertenece a este tipo ya que es de capa dos pero permite diseñar bien optimizado los sistemas en tiempo real basados en CAN.

Redes CAN se usan en un amplio campo industrial y de control de propósito general. En particular las bases CAN son muy viables cuando un control de movimiento o alguna otra función inteligente es requerida.

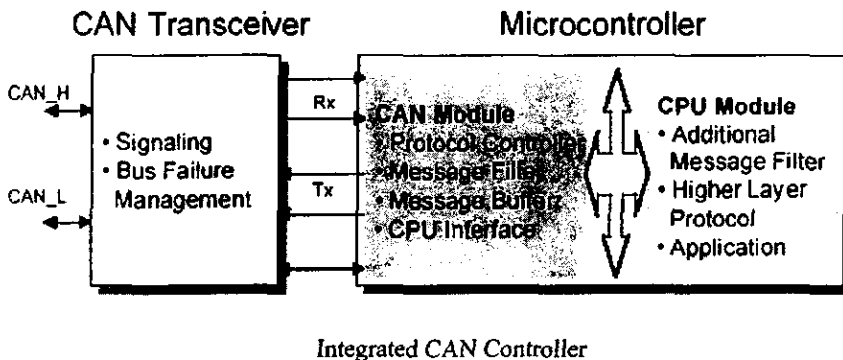
## DISPOSITIVOS DE CONTROL

### TIPOS DE CONTROLADORES CAN:

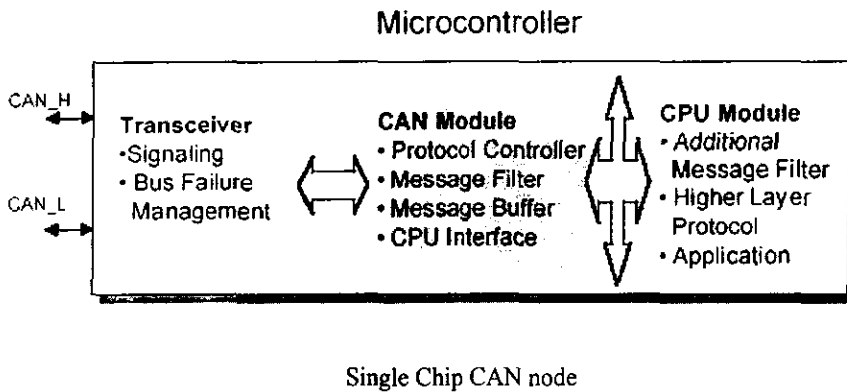
Existen algunas diferencias entre el periférico de CAN independiente y el integrado. El *periférico de CAN integrado* es más barato no solo por el precio mismo del chip, el diseño del impreso es más sencillo y el espacio requerido es menor. El costo del desarrollo del software es aproximadamente el mismo para ambos casos. Los chips independientes son diseñados para comunicar diferentes CPU's permitiendo que el software desarrollado para un sistema, pueda ser reusado en otros sistemas, aún cuando los CPU's son diferentes. El software desarrollado para un periférico de CAN integrado puede no funcionar en otro CPU con chip CAN.



Los periféricos del controlador CAN integrado causan una más baja carga en el CPU que el controlador independiente. El factor más crítico es la cantidad de tiempo requerido para leer/escribir al periférico CAN. En el caso de un controlador CAN integrado, los registros de CAN direccionados usan el bus interno de direcciones/datos diseñado para acceso de alta velocidad. En el caso de un controlador CAN independiente se utiliza su bus externo de direcciones/datos o un enlace de comunicación serial, el cual es más lento. La carga de un CPU en un controlador CAN integrado es aproximadamente la mitad que la de uno independiente. Un nodo CAN usando un controlador CAN integrado es mucho más confiable que un controlador CAN independiente. Los chips CAN se embarcan en grandes cantidades y el precio de un CPU y un controlador CAN independiente es todavía bastante competitivo. De cualquier manera, conforme CAN adquiere más aceptación en el mercado, los CPU's con CAN integrado serán la mejor opción.

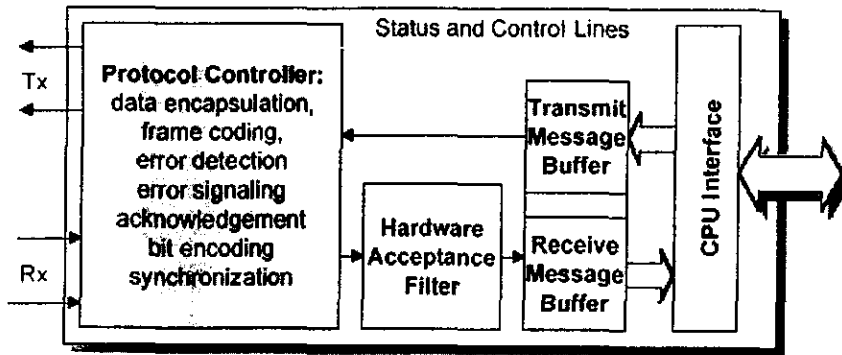


La tendencia de integrar también la interfaz en el mismo chip del controlador CAN y el microcontrolador se está convirtiendo en una realidad. Los primeros productos de este tipo para automóviles ya están diseñados. El problema principal es la combinación de las diferentes tecnologías en un solo chip.



Todos los controladores CAN tienen una estructura común, la cual consiste principalmente de un manejador del protocolo CAN, un hardware de filtro de aceptación, memoria de mensaje, y una interfaz de CPU. El manejador del protocolo CAN es responsable de manejar todos los mensajes transferidos por medio de las líneas del bus de CAN. Esto incluye tareas como la sincronización, manejo de errores, arbitraje, conversiones paralelo/serial y serial/paralelo.

Además del controlador de protocolo, cada controlador CAN cuenta con un hardware de filtrado de aceptación para que el microcontrolador no tenga que filtrar todos los mensajes. El controlador CAN también implementa buffers para los marcos de mensaje que se van a transmitir o que se reciben.

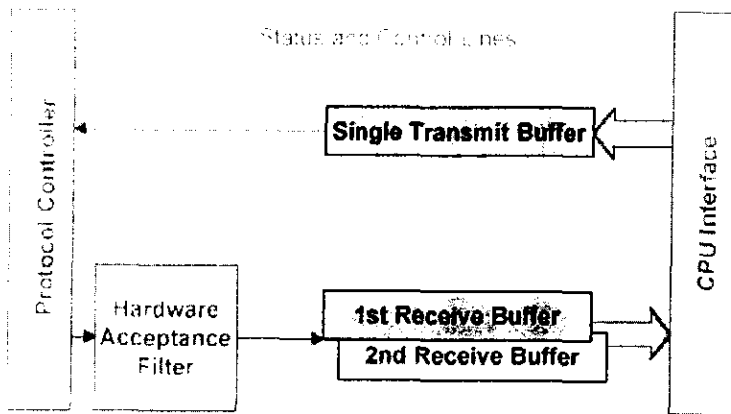


CAN Controller Architecture

#### CONTROLADOR CAN CON BUFFER INTERMEDIO (BASIC CAN):

Los controladores CAN con buffer intermedio (formalmente denominados basicCAN chips) han implementado como hardware la lógica necesaria para crear y verificar el recorrido de bit de acuerdo al protocolo.

Comúnmente, controladores CAN con buffer intermedio tienen dos buffers de recepción y uno de transmisión. Los códigos de 8 bits y registros de máscara permiten un filtrado de aceptación limitado ( 8 MSB del identificador). Una buena elección de estos registros de valores permite grupos de identificadores o en algunos casos que todos los identificadores sean seleccionados. Si mas de 8 ID-MSB son necesarios para diferenciar entre mensajes, entonces el microcontrolador siguiendo al controlador CAN en el circuito debe complementar filtrado de aceptación por software. Controladores CAN con buffer intermedio pueden forzar al microcontrolador con el filtrado de aceptación, pero requieren solamente un área de chip pequeña y por consiguiente pueden ser producidos a un bajo costo. En principio pueden aceptar todos los objetos en una red CAN.



Classical message buffering

Si solo se utiliza un buffer de transmisión puede ocurrir una “inversión de prioridad interna”. Debido a que se almacenó en el buffer un mensaje de baja prioridad, el mensaje espera a que el tráfico en el bus se calme. Durante este tiempo de espera este mensaje puede “estorbar” a un mensaje de más alta prioridad el cual fue generado por el mismo microcontrolador de ser transmitido a través del bus.

Para prevenir el problema de la inversión de prioridad interna algunos controladores CAN de la actualidad con buffer intermedio, cuentan con más de un buffer de transmisión.

Implementando solo algunos buffers de recepción puede provocar pérdida de marcos de mensaje si el microcontrolador no es lo suficientemente rápido para manejar la solicitud de interrupción que se produce por la cantidad de mensajes recibidos.

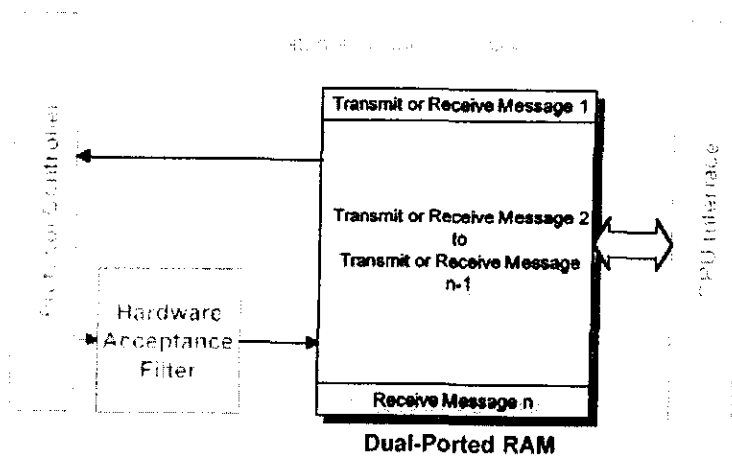
Los controladores CAN modernos con capacidades de buffer intermedio de mensajes utilizan buffers FIFO de por ejemplo 64 bytes

#### CONTROLADOR CAN CON ALMACENAJE DE OBJETOS (FULL CAN):

Los objetos CAN *consisten principalmente de tres componentes: identificador, código de longitud de datos y el dato actual útil*. Controladores CAN con almacenaje de objetos (formalmente denominado FullCAN) funcionan como controladores CAN con buffer intermedio, pero además administra ciertos objetos. Donde existen varias solicitudes simultaneas de transmisión *determinan, por ejemplo, cual objeto debe de transmitir primero*. También llevan a cabo filtrado de aceptación para objetos entrantes. La interfaz con el microcontrolador corresponde a una RAM. Los mensajes recibidos son almacenados en el área definida de memoria, y solamente podrán ser actualizados si se recibe un mensaje con exactamente el mismo identificador. Por lo tanto el microcontrolador debe de administrar solo unos cuantos bits (por ejemplo, solicitud de transmisión).

Esta memoria RAM esta prácticamente restringida a un número limitado de objetos, hoy en día se implementan entre 16 y 64 objetos.





Classical message storing.

Los controladores CAN con almacenamiento de objetos están designados para quitar tanta carga de trabajo como puedan del microcontrolador local. Estos controladores CAN requieren un área de chip mayor, por lo tanto, son más costosos. Además, solo pueden administrar un número limitado de chips. La mayoría de las implementaciones de Full CAN proveen transmisión automática de los marcos remotos solicitados. Esto no se requiere en algunas aplicaciones porque no existe un control para saber si el marco de mensaje es todavía válido. En algunos casos en donde el microcontrolador esta ocupado, el controlador CAN puede transmitir información que ya no es válida. Por lo tanto algunos chips CAN deshabilitan la respuesta automática del marco remoto y el controlador CAN indicará la recepción de este por medio de una interrupción. Entonces el microcontrolador tendrá que transmitir el marco de mensaje solicitado.

Los controladores CAN ahora están disponibles combinando los dos principios de implementación. Tienen almacenaje de objetos, al menos uno, el cual esta diseñado con un buffer intermedio. Por esta razón ya no tiene sentido diferenciar entre el basicCAN y el FullCAN.

## HARDWARE DE FILTRADO DE ACEPTACIÓN:

Una de las características más importantes del protocolo CAN es la capacidad de filtrado de aceptación. Todas las implementaciones de CAN cuentan con algún hardware de este tipo para liberar al microcontrolador de filtrar aquellos mensajes necesarios de aquellos que no son necesarios.

Un hardware muy sencillo de filtrado de aceptación es una máscara simple de 8 bits. Cada bit puede ser definido como 0, como 1 o como "no importa". Esto permite filtrado de 8 mensajes. La mayoría de las implementaciones modernas cuentan con filtrado de aceptación con capacidades de programación, lo cual permite una estrategia de filtrado más flexible que el filtrado de aceptación simple.

## CONTROLADORES ESCLAVOS CAN PARA FUNCIONES DE I/O (SLIO):

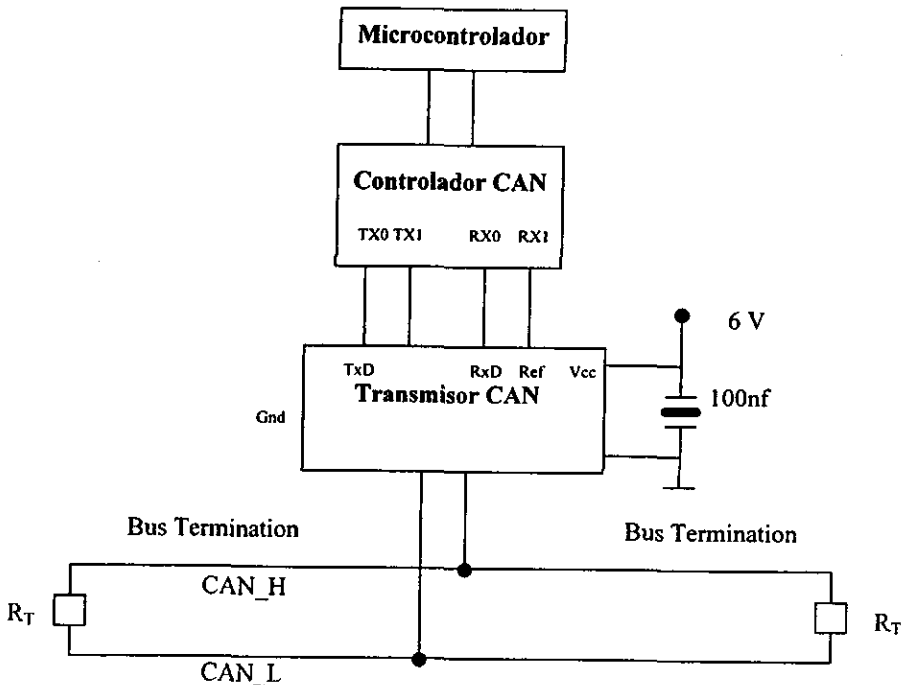
Así como hay controladores CAN los cuales soportan todas las funciones del protocolo CAN también hay posibles implementaciones las cuales no necesitan estar con un microcontrolador. Estas implementaciones de CAN se denominan SLIO (serial link I/O) actuando como esclavos CAN y teniendo que ser administrados por un CAN maestro.

Tradicionalmente CAN ha sido una red para acoplar microcontroladores. Esto nos lleva a que el costo por nodo no es particularmente bajo. Por tanto se ha desarrollado un concepto interesante llamado el modulo SLIO. Este es un chip el cual puede actuar como una puerta de entrada/salida en una red CAN, capaz de convertir señales en señales reales IO digitales. También puede leer pines IO y transmitir el dato como mensaje además de usar un convertidor analógico – digital para generar mensajes para introducir en la red. Estos dispositivos son extremadamente baratos e ideales para sensores remotos y actuadores los cuales juntarán información analógica y digital. Pueden ser vistos como anexos remotos del

microcontrolador central. Actualmente solo los BasicCAN SLIOs están disponibles, pero indudablemente Siemens y otros especialistas de FullCAN producirán su equivalente.

### CONEXIÓN FÍSICA DE CAN:

Son posibles un número de conexiones físicas. De cualquier manera, el grupo "Users and Manufacturers CAN in Automation" recomienda el uso de circuitos controladores de acuerdo a ISO 11898. Controladores de chip integrados que concuerdan con ISO 11898 se encuentran disponibles de varias compañías. Este grupo internacional (CiA) también especifica varias conexiones mecánicas (cables y conectores).



La interfaz CAN tiene dos lados, uno de transmisión y uno de recepción, de esta manera puede escribir y leer simultáneamente. Esta capacidad es importante para detección de error y para arbitraje del bus.

La interfaz CAN y la capa física no están definidas por la especificación CAN, siempre y cuando cumpla con los requerimientos, cualquier implementación puede ser utilizada tal como OP-AMPS o RS485.

#### EL DISPOSITIVO "82527":

El 82527 es la primera implementación del protocolo CAN, especificación 2.0, y es un desarrollo de Robert Bosch, GmbH y la corporación Intel.

Implementa el protocolo CAN basado en 1 Mbit/s e incorpora una poderosa capacidad de chequeo de error. Tiene en el chip todas las detecciones de error, corrección y capacidad de encierro del mismo, y por consiguiente permite que el controlador anfitrión corra su aplicación en lugar de procesar la comunicación y manejar los errores.

El 82527 transmite los identificadores en ambos formatos, de 11 bits y de 29. Esto permite que el 82527 cumpla con "J1939 Prácticas Recomendadas de Comunicación" del subcomite de "SAE Truck and Bus Control and Communications Network".

En 1989, Intel comenzó la producción del 82526, el primer controlador de comunicación CAN para la industria. El último controlador CAN de Intel es el 82527 y actualmente se esta produciendo. El 82527 hace interface con microcontroladores de 8 y 16 bits, por ejemplo el HC05, HC11 y 332 de Motorola así como microcontroladores de otros productores.

El 82527 y el 82526 son, en cuanto a pines, prácticamente idénticos, de tal manera que las modificaciones de hardware no son significativas, de cualquier manera, los dispositivos tienen diferencias significantes en cómo los objetos de mensaje son almacenados y en su control de registros, los cuales requerirán cambios sustanciales al software. Las más grandes diferencias entre estos se enlistan a continuación:

## SOFTWARE

<u>82526</u>	<u>82527</u>
Los objetos de mensaje son almacenados consecutivamente en la RAM.	Los objetos de mensaje son almacenados en localidades arregladas en la RAM.
Se permiten identificadores (Ids) de mensaje estándar de 11 bits.	Se permiten identificadores de mensaje estándar de 11 bits o extendidos de 29 bits.
No hay filtros enmascarados de aceptación.	Hay dos filtros enmascarados de aceptación.
Los objetos de mensaje no son bufereados.	Un objeto de mensaje recibido es bufereado.
Los bits de control de objeto de mensaje requieren para cambiarse un lee/modifica/escrbe.	Los bits de control de objeto de mensaje requieren, para cambiarse, solo una instrucción de escritura.
Se requiere chequeo de bit para detectar acceso al CPU.	No se requiere chequeo de bit para detectar acceso al bus.

**Hardware**

<u>82526</u>	<u>82527</u>
Bus de datos/direcciones multiplexado de 8 bits.	Bus de datos/direcciones multiplexado de 8 y de 16 bits.
Salida programable	Salida no programable
No hay pines de interfaz con CPU.	Dos pines de interfaz con CPU.
3 pines de salida de chip-select.	No hay pines de salida chip-select.
No hay salida Vcc/2	Salida Vcc/2

## PROTECCIÓN DE SOBREVOLTAJE (PHILIPS):

El 82C250 de semiconductores Philips tiene solo protección por sobrevoltaje hasta 18 V en ambos CAN\_H y CAN\_L, ya que CAN anteriormente era exclusivo para automóviles. Afortunadamente el 82C251 ha mejorado esto hasta 40 V ya que en la industria normalmente se adoptan 24 V.

## VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN:

Las velocidades de transmisión depende de la longitud total del bus. Para todos los dispositivos que cumplan con la ISO 11898 se garantiza una velocidad de 1 Mbit/s para longitudes de bus de hasta 40 metros. Para otras distancias las recomendaciones son:

- 500 kbits por segundo a 100 metros.
- 250 kbits por segundo a 200 metros.
- 125 kbits por segundo a 500 metros.

Las capas de datos y física serán normalmente transparentes para el diseñador del sistema y están incluidas en cualquier componente que implementa el protocolo CAN. Existen algunos microcontroladores con interfaces de CAN, como por ejemplo el controlador 8051 o el SAP-C167CR de 16 bits. El 81C91 es un controlador CAN independiente, el cual directamente hace interfaz con varios microcontroladores. La conexión con el medio físico puede ser implementada con componentes discretos o con el circuito integrado 82C250 o algún equivalente. Los controladores CAN también están disponibles de Siemens, NEC, Intel.

## FUNCIONES ADICIONALES:

- Contadores de error y límites de advertencia programables:

Para propósitos de diagnóstico los controladores CAN proveen contadores de error de recepción y transmisión. El código de registro de captura puede distinguir entre estos dos tipos. El límite de advertencia programable quiere decir que se define por software una cantidad de errores posibles antes de que se realice la advertencia.

- Solicitud para generar una interrupción:

Además de las solicitudes de interrupción para alcanzar el modo de error pasivo o el modo de bus apagado, existen otras solicitudes de interrupción opcionales que pueden ser generadas al alcanzar el límite de advertencia, recepción de un mensaje, transmisión exitosa de un mensaje, etc.

- Transmisión única y captura de arbitraje perdido:

Con esta característica un nodo CAN transmite un mensaje una única vez. En combinación con la función de captura de arbitraje perdido la transmisión única es benéfica en situaciones en donde las retransmisiones no son útiles.

- Modo de solo escucha:

Algunas implementaciones pueden recibir mensajes sin dar aviso de recibo (ACK Slot) o de enviar solicitudes de transmisión remota.

- Modo dormido para reducir consumo de energía:

Durante este modo, el reloj se apaga y solo la lógica de “despierta” se encuentra activa.



## COSTO – BENEFICIO

La relación costo- beneficio forma parte del vocabulario habitual de los inversionistas en el mercado de acciones. La gente suele referirse de manera despreocupada a las acciones de alguna empresa como “De venta a un alto PER”. Usted puede encontrar el PER (Price Effective Ratio) junto a las cotizaciones de las acciones que recogen los periódicos (sin embargo los periódicos se refieren a la relación costo actual / beneficios más recientes). A los inversionistas les interesa más la relación entre el precio y los beneficios futuros. Desafortunadamente, algunos analistas financieros se sienten confusos acerca de cuál de las relaciones costo – beneficio es realmente significativa y utilizan de manera extraña esta relación.

Para poder obtener una relación correcta del costo de un producto, proceso, tecnología, inversión de capital o sea cual sea el motivo de estudio debemos de conocer el problema actual contra la solución que ofrecerá. Se debe de contar con un resumen del tema en cuanto a los problemas, características , costos, soluciones, cambios etc. CAN, por ejemplo, lo podemos definir como un protocolo de comunicación que surgió debido al enorme crecimiento del número de dispositivos electrónicos en el coche.

Así como el número de motores de corriente directa en los carros se incrementa, una arquitectura multiplexada se convierte en la única solución viable reduciendo costo, peso, mejorando la confiabilidad y control de eficiencia e incrementando significativamente la comodidad del pasajero.

La solución es reemplazar los grandes mazos de cable por un bus de cable multiplexado. Esto reduce el costo de cableado y mejora la confiabilidad. Además el cable multiplexado da más inteligencia al motor ayudando a detectar disfunciones directamente.

La relativa sencillez del protocolo CAN significa que se requiere poco esfuerzo y bajo costo de inversión tanto en los nodos de implementación como en la capacitación del personal; las interfaces de chip CAN hacen que los programas de aplicación sean relativamente fáciles. Están disponibles por muchos vendedores cursos introductorios, kits de iniciación, interfaces, módulos de I/O y herramientas, lo cual permite un bajo costo en la implementación de su red. Chips controladores de bajo costo desarrollados en silicón y que permiten una conexión sencilla entre microcontroladores se tienen disponibles desde 1989. Hoy hay más de 50 tipos de chips controladores de protocolos de CAN.

El uso de CAN en la mayoría de los carros de pasajeros europeos y la decisión de fabricantes de camiones y vehículos de carga de utilizarlo, llevó a que CAN garantice su buena funcionalidad por más de 10 años. Dentro de otros mercados de gran volumen, como las aplicaciones domésticas y el control industrial, también incrementa sus ventas. Para la primavera de 1997 ya existían más de 40 millones de nodos de CAN instalados.

Una de las características más sorprendentes de CAN es su alta confiabilidad de transmisión. El controlador CAN registra el error de cada estación, lo evalúa estadísticamente con el fin de tomar las medidas apropiadas. Esto se puede extender hasta el punto de desconectar el nodo que esta produciendo los errores.

Por ejemplo algunos usuarios, en el campo de la ingeniería médica, optaron por CAN ya que necesitan requerimientos de seguridad particularmente estrictos. Problemas similares se le presentan a fabricantes de otros equipos los cuales tienen altos requerimientos de seguridad o de confiabilidad, por ejemplo robots, elevadores y sistemas de transporte.

Esta confiabilidad que se tiene en la información a través de la red provee al usuario la tranquilidad de saber que sus datos son reales. Esta tranquilidad es un valor agregado del producto sin reflejarse en el costo.

Bosch cuenta con varias patentes del protocolo CAN, la mayoría de ellas válida por los siguientes 5 o 10 años. Esto quiere decir que no es posible implementar el protocolo CAN en hardware o software sin una licencia de Bosch. Bosch provee licencias con el modelo

funcional de CAN en C o VHDL y otorga el derecho de utilizar el "CAN know how" (saber cómo) y patentes de CAN para la fabricación de circuitos integrados.

COSTOS RELATIVOS DE NODOS DE RED:

Los números precisos son difíciles de obtener, pero en promedio, el costo por nodo puede ser:

ARINC	\$ 1500.00
1553	\$ 450.00
CAN	\$ 15.00

FIGURAS DE VENTAS DE CAN:

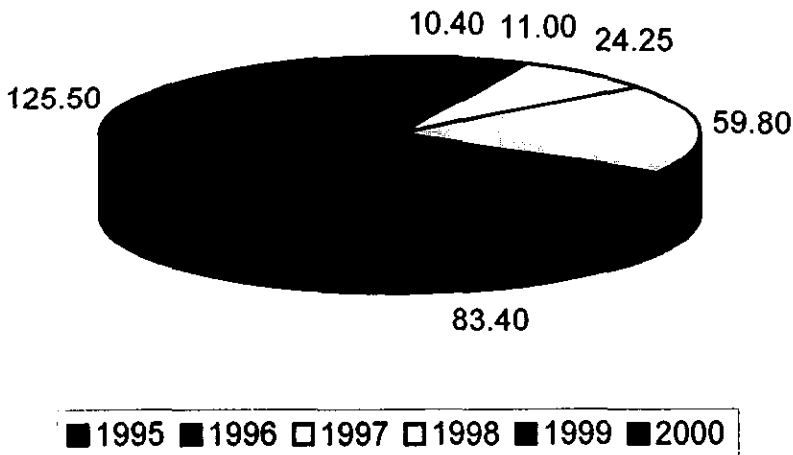
Erlangen (Alemania) al 18 de abril de 1998, CiA terminó sus análisis de nodos de CAN instalados. En 1997 se vendieron 24.25 millones de nodos teniendo un incremento arriba del 100 %. En 1996 se vendieron 11 millones de nodos. En total, desde 1989 hasta diciembre de 1997 se encuentran 45 millones de nodos instalados en el mundo. Las cifras estimadas de 1998 son de 59.8 millones, en 1999 83.4 y 125.5 para el año 2000.

CiA publica anualmente la figura de ventas en cuanto a nodos CAN. En 1997 se vendieron alrededor de 25 millones de nodos los cuales 80% fueron instalados en Europa y de este

total el 80% fue en Alemania. De todos los nodos instalados en el mundo solo el 20% corresponde a la industria en general, mientras que el 80% a la industria automotriz.

La siguiente gráfica ilustra de manera conservadora el pronóstico del crecimiento de nodos en función del porcentaje de crecimiento actual por lo que no se muestra el 2001.

## Crecimiento de nodos CAN.



En la próxima década los tres fabricantes más importantes de autos en Estados Unidos usarán CAN al menos para la parte de administración del motor. También se sabe que el oriente está realizando muchas investigaciones de CAN por lo que se espera un fuerte crecimiento de nodos CAN instalados.

Otro de los factores que fomentará el uso de CAN es la constante baja de sus precios, lo cual abrirá nuevos mercados hasta en aplicaciones donde el precio es un factor crítico.

Debido a las sobresalientes características del protocolo de CAN, la habilidad de controladores de bajo costo de muchos fabricantes así como la facilidad de implementarlos, el protocolo CAN se encuentra hoy en uso no solo en sistemas móviles (como autos de pasajeros, camiones, tractores, equipo agrícola, barcos, aviones, elevadores, etc.) sino también en cualquier tipo de máquinas de textil, empaque, máquinas de fabricación de papel, hasta cualquier tipo de equipo médico o sistema de control de un robot. CAN es ideal para cualquier tipo de red conectando dispositivos inteligentes. Las redes basadas en CAN se han convertido en la solución más prometedora para sistemas distribuidos compitiendo exitosamente con otros estándares en el campo de plantas de automatización industrial. Algunos de los estándares más importantes los cuales están basados en CAN son CANopen y DeviceNet.

Por qué decimos que CAN es un protocolo de comunicación entre dispositivos inteligentes de bajo costo:

#### CARACTERÍSTICAS:

- Comunicación inteligente.
- Confiabilidad de la red.
- Velocidad de transmisión hasta de 1Mbps.
- 1048 nodos en un mismo segmento.
- Detección de errores.
- Un solo bus.
- Una red que no se colapsará.

BENEFICIOS:

- Un mismo nodo te permite transmitir y recibir.
- No hay que estar checando que los datos sean reales.
- Tus datos llegarán en el momento en que los necesitas.
- No necesitas una gran inversión para aumentar la capacidad de tu red.
- Si algo falla el mismo sistema anula el productor de la falla y la red sigue funcionando.
- Es simple detectar un falso contacto ya que se tiene un solo bus.
- La red es una red que no se “cae”.

La confiabilidad de CAN es tan grande que no influyó únicamente en la tranquilidad del usuario del protocolo, influye también a los inversionistas los cuales consideran que CAN es el futuro de las comunicaciones entre dispositivos inteligentes. Las acciones de Robert Bosch en referencia a CAN se consideran de un alto PER. Un PER alto muestra que los inversionistas piensan que CAN tiene muy buenas oportunidades de crecimiento o un alto VAOC (Valor actual de las Oportunidades de Crecimiento), que sus beneficios son relativamente seguros y mantiene una tasa de capitalización baja.

El problema de algunas empresas es que los beneficios que presentan son beneficios en libros o contables, cifras, y como tales reflejan una serie de elecciones más o menos arbitrarias entre los métodos contables. Casi todos los beneficios presentados por las empresas han sido alterados sustancialmente mediante la adopción de procedimientos contables. Por ejemplo, un cambio en el sistema de amortización utilizado a efectos de la determinación contable del beneficio afectaría directamente al BPA (Beneficio por Acción). Aún así, esto no tendría efecto sobre el flujo de tesorería ya que la amortización no constituye un desembolso de efectivo. Otras materias contables que afectan a los

beneficios declarados son la valoración de las existencias, dos procedimientos mediante los que consolidan las cuentas de las empresas que se fusionan, la elección entre contabilizar como gasto o inversión las actividades de investigación y desarrollo, y la manera en que se presentan las obligaciones impositivas de la empresa. La lista podría continuar más y más.

CAN no necesita de estas maniobras contables para ofrecer un beneficio económico al inversionista. La tecnología, calidad y servicio de CAN son suficientes para convencer a cualquier inversionista de darse cuenta de que es una inversión muy redituable.

Con todo lo anterior debemos decir que CAN es una red que, comparando los beneficios que nos da contra el incremento en costo que produce, es un sistema único, funcional y económico.

## CONCLUSIONES

El protocolo CAN ha ganado una aceptación mundial como una plataforma versátil, eficiente, confiable y económica plataforma para casi cualquier tipo de comunicación de datos en sistemas móviles, máquinas, equipo técnico y automatización industrial y, por supuesto, en vehículos automotores.

Entre las principales razones para el enorme triunfo de sistemas basados en CAN es, obviamente, los distintivos especiales de sus protocolos, especialmente estar orientado a un sistema productor – consumidor, a una transmisión de datos y a su capacidad de multimaestros.

Sus enormes ventajas sobre otros protocolos de comunicación han fomentado que CAN tenga mayor aceptación sobre la de sus competidores. El impresionante incremento de sus ventas en los últimos años lo demuestra.

Es decir, ¿qué otro protocolo puede ofrecer un sistema de comunicación el cual tenga un porcentaje de falla de una cada mil años?

Con un protocolo como CAN los vehículos pueden tener un número más grande de dispositivos que ofrecen seguridad, tranquilidad, comodidad, versatilidad, economía. Además de dar al fabricante la facilidad de implementar el producto de manera rápida y de tener una opción de mantenimiento sencilla y económica.



Peter Fills, director del proyecto Neoplan comenta: nosotros nos decidimos a favor de CAN por tres razones principales. La primera es por sus mensajes orientados a objetos, la segunda, por el arbitraje de su bus y, por último, por su alto nivel de inmunidad al ruido.

Por esto es que CAN no se considera solo una opción para el automóvil, se considera como una herramienta necesaria para la implementación de dispositivos electrónicos.

Cada día tendremos más y más millones de nodos CAN instalados, ya sea en los automóviles, la industria y tal vez hasta en los aparatos electrodomésticos de nuestros hogares.

CAN no es solo un protocolo de comunicación, CAN es tecnología de vanguardia, el futuro a nuestro alcance, aunque es transparente para el usuario, el usuario sabe que se encuentra ahí, ya que es el único que puede ofrecer un panel de control central controlando todos los dispositivos electrónicos del automóvil.

En un futuro cercano tendremos a CAN comunicando no solo los dispositivos internos del coche, podremos comunicar vía remota un automóvil con una o varias estaciones centrales en donde nos proporcionen información de las rutas menos transitadas para llegar a nuestro destino, la información de algún accidente, la dirección de algún lugar e inclusive hasta la mejor ruta.

Por lo tanto, si pensamos hoy día en una buena opción de comunicación, existen muchas. Pero si lo que se pretende es satisfacer todas tus necesidades, exceder todas tus expectativas y además tener capacidad para el crecimiento y avance tecnológico, la respuesta es CAN

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>ACCEPT</b>	ACEPTAR
<b>ACKNOWLEDGE (ACK)</b>	RECONOCER
<b>ACKNOWLEDGEMENT</b>	RECONOCIMIENTO
<b>ADDITIONAL MESSAGE FILTER</b>	FILTRO ADICIONAL DE MENSAJE
<b>APPLICATION</b>	APLICACIÓN
<b>APPLICATION LAYER</b>	CAPA DE APLICACIÓN
<b>BASIC</b>	BÁSICO
<b>BATTERY CONTROL</b>	CONTROL DE BATERÍA
<b>BIT ENCODING</b>	CODIFICACIÓN DE BIT
<b>BIT SEQUENCE TO BE TRANSMITTED</b>	SECUENCIA DE BIT A SER TRANSMITIDA
<b>BIT STUFFING</b>	RELLENADO DE BIT
<b>BITWISE</b>	BIT INTELIGENTE
<b>BUS</b>	MEDIO FÍSICO DE TRANSMISIÓN
<b>BUS FAILURE MANAGEMENT</b>	ADMINISTRACIÓN DE FALLA DEL BUS
<b>BUS LINE</b>	LÍNEA DEL BUS
<b>BUS OFF</b>	BUS APAGADO
<b>BUS TERMINATION</b>	TERMINACIÓN DEL BUS

<b>CAN CONTROLLER</b>	CONTROLADOR CAN
<b>CAN CONTROLLER ARCHITECTURE</b>	ARQUITECTURA DEL CONTROLADOR CAN
<b>CAN MODULE</b>	MÓDULO DE CAN
<b>CAN PROTOCOL CONTROLLER</b>	CONTROLADOR DEL PROTOCOLO DE CAN
<b>CARRIER SENSE, MULTIPLE ACCESS WITH COLLISION DETECT</b>	SENSO, ACCESO MULTIPLE CON DETECCIÓN DE COLISIÓN DEL BUS
<b>CD CHANGER</b>	CAMBIADOR DE DISCOS COMPACTOS
<b>CLASSICAL MESSAGE STORAGING</b>	ALMACENAMIENTO DE MENSAJE CLÁSICO
<b>CONTROL AND STATUS LINE</b>	LÍNEA DE CONTROL Y ESTADO
<b>CONTROLLER AREA NETWORK</b>	RED DE ÁREA DE CONTROLADORES
<b>CPU INTERFACE</b>	INTERFAZ DE CPU
<b>CPU MODULE</b>	MÓDULO DE CPU
<b>CYCLIC REDUNDANCY CHECK (CRC)</b>	CHEQUEO REDUNDANTE CÍCLICO
<b>CHECKSUM</b>	COMPUTAR EL MARCO DE MENSAJE
<b>DATA ENCAPSULATION</b>	ENCAPSULAMIENTO DE DATOS
<b>DATA LENGTH CODE (DLC)</b>	CÓDIGO DE LONGITUD DE DATOS
<b>DE – STUFFED BIT SEQUENCE</b>	DESRELLENADO DE SECUENCIA DE BIT
<b>DESTRUCTIVE BUS ALLOCATION</b>	ALOCACIÓN DE BUS DESTRUCTIVA
<b>DISPLAY</b>	DESPLIEGUE
<b>DOMINANT</b>	DOMINANTE

<b>DRIVE CONTROL</b>	CONTROL DE MANEJO
<b>DUAL PORTED RAM</b>	MEMORIA RAM DE DOBLE PUERTO
<b>END OF FRAME (EOF)</b>	FIN DE MARCO DE MENSAJE
<b>ENDOSKOPE</b>	ENDOSCOPIO
<b>ERROR ACTIVE</b>	ERROR ACTIVO
<b>ERROR CONDITION</b>	CONDICIÓN DE ERROR
<b>ERROR DELIMETER</b>	DELIMITADOR DE ERROR
<b>ERROR DETECTION</b>	DETECCIÓN DE ERROR
<b>ERROR FLAG</b>	BANDERA DE ERROR
<b>ERROR FRAME</b>	MARCO DE ERROR
<b>ERROR PASSIVE</b>	ERROR PASIVO
<b>ERROR SIGNALING</b>	SEÑALIZACIÓN DE ERROR
<b>FIXED TIME SCHEDULE ALLOCATION</b>	ALOCACIÓN POR ARREGLO DE TIEMPO
<b>FRAME CODING</b>	CODIFICACIÓN DEL MARCO DE MENSAJE
<b>FREQUENCY CONVERTER</b>	RECTIFICADOR
<b>FULL</b>	LLENO
<b>HARDWARE ACCEPTANCE FILTER</b>	FILTRO DE ACEPTACIÓN DE HARDWARE
<b>HIGH</b>	ALTO
<b>HIGHER LAYER PROTOCOL</b>	PROTOCOLO DE CAPA ALTA
<b>HYBRID ENGINE CONTROL</b>	CONTROL DE MOTOR HÍBRIDO
<b>IDENTIFIER EXTENSION BIT (IDE)</b>	BIT IDENTIFICADOR DE EXTENSIÓN

<b>INTEGRATED CAN CONTROLLER</b>	CONTROLADOR CAN INTEGRADO
<b>INTERFRAME SPACE</b>	ESPACIO ENTRE MARCOS DE MENSAJE
<b>INTERMISSION (INT)</b>	VER INTERFRAME
<b>INTERNATIONAL STANDARD PROTOCOL/ OPEN SYSTEM INTERCONNECTION</b>	PROTOCOLO ESTÁNDAR INTERNACIONAL / INTERCONEXIÓN DE SISTEMA ABIERTO
<b>KBITS / SEG</b>	MIL BITS / SEG
<b>LOGICAL LINK CONTROL</b>	CONTROL DE ENLACE LÓGICO
<b>LOSES</b>	PIERDE
<b>LOW</b>	BAJO
<b>MBIT / SEG</b>	UN MILLÓN DE BITS / SEG
<b>MESSAGE BUFFER</b>	BUFFER DE MENSAJE
<b>MICROCONTROLLER</b>	MICROCONTROLADOR
<b>MOBIL TELEPHONE</b>	TELÉFONO MOVIL
<b>PLUG AND PLAY</b>	CONEXIONES INTELIGENTES
<b>PREPARE</b>	PREPARAR
<b>PRICE EFFECTIVE RATIO</b>	RELACIÓN COSTO BENEFICIO
<b>PROTOCOL CONTROLLER</b>	CONTROLADOR DE PROTOCOLO
<b>RECEIVE ERROR COUNTER (REC)</b>	CONTADOR DE ERRORES DE RECIBO
<b>RECEIVE MESSAGE</b>	MENSAJE DE RECIBIDO
<b>RECEIVE MESSAGE BUFFER</b>	BUFFER DE MENSAJE DE RECIBO
<b>RECEPTION</b>	RECEPCIÓN
<b>RECESSIVE</b>	RECESIVO

<b>REMOTE CONTROL</b>	CONTROL REMOTO
<b>REMOTE TRANSMISSION FRAME (RTR)</b>	MARCO DE TRANSMISIÓN REMOTO
<b>RESET AND CONFIGURATION</b>	CONFIGURACIÓN Y REINICIO
<b>RESIDUAL ERROR PROBABILITY</b>	PROBABILIDAD DE ERROR RESIDUAL
<b>RETURN</b>	RETORNO
<b>SAE TRUCK AND BUS CONTROL COMMUNICATIONS NETWORK</b>	SAE RED DE CONTROL DE COMUNICACIONES DE CAMIONES
<b>SELECT</b>	SELECCIONAR
<b>SEND MESSAGE</b>	MANDAR MENSAJE
<b>SERIAL LINK I/O</b>	ENLACE SERIAL ENTRADA / SALIDA
<b>SERVO CONTROLLER FOR LEFT AND RIGHT WHEEL</b>	SERVO CONTROLADOR PARA LLANTAS IZQUIERDA Y DERECHA
<b>SIGNALING</b>	SEÑALIZACIÓN
<b>SINGLE CHIP CAN NODE</b>	NODO CAN DE CHIP SENCILLO
<b>SINGLE TRANSMIT BUFFER</b>	BUFFER TRANSMISOR SENCILLO
<b>SMART DISTRIBUTED SYSTEM</b>	SISTEMA DISTRIBUIDO INTELIGENTE
<b>STAND ALONE CAN CONTROLLER</b>	CONTROLADOR CAN INDEPENDIENTE
<b>START OF FRAME (SOF)</b>	INICIO DE MENSAJE
<b>STATION</b>	ESTACIÓN
<b>STOP LIGHT</b>	LUZ DE FRENO
<b>STUFFED BIT SEQUENCE</b>	SECUENCIA DE BIT RELLENADA
<b>SUBSTITUTE REMOTE REQUEST (SRR)</b>	SOLICITUD REMOTA DE SUSTITUTO

<b>SUPERPOSITION OF ERROR FLAGS</b>	<b>SUPERPOSICIÓN DE BANDERAS DE ERROR</b>
<b>SYNCHRONIZATION</b>	<b>SINCRONIZACIÓN</b>
<b>TEST MODULE</b>	<b>MÓDULO DE PRUEBA</b>
<b>TRANSMIT ERROR COUNTER (TEC)</b>	<b>CONTADOR DE ERRORES TRANSMITIDOS</b>
<b>TRANSMIT MESSAGE BUFFER</b>	<b>BUFFER DE MENSAJE TRANSMITIDO</b>
<b>ULTRASONIC</b>	<b>ULTRASONIDO</b>
<b>UNCOMPLETED FRAME</b>	<b>MARCO INCOMPLETO</b>
<b>X - RAY</b>	<b>RAYOS X</b>
<b>ZERO</b>	<b>CERO</b>

## BIBLIOGRAFÍA

- **First International CAN conference. PROCEEDINGS.**

CAN in Automation (CiA).

International Users and Manufacturers Group e.V.

Allen Bradley, National Semiconductor & Philips Semiconductor.

ICC 1994.

- **Second International CAN conference. PROCEEDINGS.**

CAN in Automation (CiA).

International Users and Manufacturers Group e.V.

Allen Bradley, Motorola Semiconductor & National Semiconductor.

ICC 1994.

- **Principios de Finanzas cooperativas.**

Richard A. Brealey; Stuart Stewart C. Myers.

Cuarta Edición.

Editorial Mc Graw Hill.

- <http://mot2.mot-sps.com/cgi-bin>

- <http://www.arinc.com>



- <http://www.can-cia.de>
- <http://www.can-cia.de/cinfo.htm>
- <http://www.emicros.com/cantec11.htm>
- <http://www.bitex.demon.co.uk/can/canarticle.html>
- <http://www.intel.com>
- <http://www.ixxat.de/>
- <http://www.kvaser.se/main.htm>
- <http://www.nrtt.demon.co.uk/canhlp.html>
- <http://www.omegas.co.uk>
- <http://www.sae.org/>
- [http://www.stzp.de/papers/icc97\\_e.html](http://www.stzp.de/papers/icc97_e.html)