

25.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**APLICACION DEL SISTEMA CAN A VEHICULOS  
AUTOMOTORES**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

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

**J A I M E C E R O N G O M E Z**

**R A F A E L O L V E R A T R E V I Ñ O**

**DIRECTOR: ING. RODOLFO PETERS LAMMEL**

202840



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

**A DIOS:**

Por brindarme la oportunidad de vivir y poder realizar uno de mis mas grandes sueños para compartirlo con las personas que mas quiero.

**A MI MADRE:**

Por darme la vida y enseñarme a ser responsable, que nada es gratis, que hay que luchar mucho para llegar a cumplir sus metas. Por el apoyo brindado durante los años de estudio que con tanto esfuerzo y trabajo me pudo dar. Por todo lo que me has dado, ¡GRACIAS MAMA!

**A VERO:**

Por todos los años que me hemos pasado juntos y por los que vendrán. Por tu amor y comprensión en los momentos difíciles. Por todo el apoyo, los consejos y ánimos que me das cada día. Te amo.

**A MI HERMANO:**

Como ejemplo de superación y constancia, para recordar que siempre hay que luchar por lo que uno quiere y que nunca hay que dejarse vencer.

**A LA FAMILIA LICEA GONZALEZ:**

Por adoptarme como un hijo y como tal me abrieron su hogar, me dieron su apoyo y confianza. Gracias.

**A RAFA:**

Que a pesar de todas las complicaciones y problemas para la culminación de este trabajo nunca me dio la espalda y por el contrario siempre me animo a que juntos llegáramos a esta meta.

**AL CCL:**

Por dame un nuevo estilo de vida, formarme como persona, hacer de mi un hombre integro y enseñarme que siempre hay que "Vencer o Morir por un Nuevo Amanecer".

**A MIS AMIGOS:**

Todos y cada uno de ellos. Por los todos los momentos buenos y malos que hemos pasado juntos, en especial a Omar, Miguel, Héctor, Gustavo y Pedro.

**A LA UNAM:**

En Especial a la Facultad de Ingeniería. Por la formación Académica recibida, 1...2...3.... Gooyaaa...!

**A:**

Todas las personas que de alguna manera han influido positivamente en mi vida.

**Jaime**

**A DIOS:**

Por la vida y demás dones que me ha regalado.

**A MIS PADRES:**

Por su ejemplo, por su cariño incondicional, por seguir creyendo en mí cuando yo dudaba, por enseñarme a trabajar, por dejarme libre cuando fue necesario y por permitirme tomar su estafeta.

**A MI TIO, A MI ABUELITA Y A MI HERMANA:**

Por su cariño y apoyo a toda prueba.

**A JAIME:**

Por ser un gran compañero en este tramo tan importante del camino.

**A MÉXICO:**

Mi país; por la libertad, por las grandes oportunidades y por los grandes retos que me ofrece y siempre me ha ofrecido.

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO Y A LA FACULTAD DE INGENIERÍA:**

Por enseñarme a orientar mis pensamientos, por permitirme conocer a gente altamente comprometida y capaz como mis maestros, por inducirme a tomar decisiones responsables.

**A MIS AMIGOS:**

Los compas, la raza, la banda; Carlos C., Guadalupe R., Rogelio A., Alberto C., Oscar R., Gabriel R., Julian G., Martha A., Carlos A., Rosana E., Raquel N., Lauro T., Eryx D., Ahmed C., Yaaxni A., Zamanta A., Marisa L., Jose R., Claudia C., Antonio A., Jorge I., Heriberto M., Juan Luis C., Gabriel E., Jorge H., Edgar M., Eduardo V., Lourdes M., Enrique D., Guillermo C., Roman F., Julio G., Huitzi M., Rene H., Vanessa G., y muchos otros con los que compartí tiempo, conocimientos, apuros, risas, sueños, pero sobre todo metas comunes.

**Rafael**

## INDICE

### CAPITULO 1

<b>INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
1.1 INTRODUCCION	3

### CAPITULO 2

<b>CONCEPTOS BASICOS DE MANEJO DE INFORMACION</b>	<b>6</b>
2.1 COMUNICACION	6
2.2 ANCHO DE BANDA Y RUIDO	7
2.3 RELACION SEÑAL A RUIDO (signal to noise ratio)	8
2.4 MULTIPLEXADO	8
2.5 COMUNICACIONES DIGITALES	10
2.6 MODULACION	11
2.7 COMUNICACIONES DE DATOS (DATA COMMUNICATIONS)	19
2.8 SINCRONIZACION	25
2.9 HARDWARE DE COMUNICACIONES DE DATOS	26
2.10 PROTOCOLOS PARA COMUNICACIONES DE DATOS	28
2.11 REDES DE AREA LOCAL	31
2.12 REDES DISTRIBUIDAS	35

### CAPITULO 3

<b>BASES Y OBJETIVOS DE UN SISTEMA CAN</b>	<b>36</b>
3.1 ANTECEDENTES	36
3.2 CARACTERISTICAS BASICAS DE PROTOCOLOS	36
3.3 ARQUITECTURAS DE COMUNICACIONES	39
3.4 EL CAN Y OTROS PROTOCOLOS (DE BUS) AUTOMOTRICES.	40
3.5 ESTÁNDARES DE MULTIPLEXAJE	41

### CAPITULO 4

<b>VISION GENERAL DEL CAN</b>	<b>43</b>
4.1 PRELIMINARES	43
4.2 CAN Estandard y CAN Extendido	45
4.3 ARQUITECTURAS CAN	46
4.4 VERSION CAN 2.0 B	48
4.5 TRANSFERENCIA DE MENSAJES	51
4.6 FILTRADO DE MENSAJES	64
4.7 VALIDACION DE MENSAJES	64
4.8 CODIFICACION	64
4.9 MANEJO DE ERRORES	65
4.10 RESTRICCION DE FALLAS	66
4.11 TOLERANCIA DEL OSCILADOR	68
4.12 REQUISITOS PARA LA TEMPORIZACION DE BITS	68

## CAPITULO 5

<b>EL CAN EN LOS AUTOMOVILES</b>	<b>73</b>
5.1 NECESIDAD / SOLUCION	73
5.2 INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	73
5.3 UNIDADES DE CONTROL ELECTRÓNICO	74
5.4 APLICACIÓN TIPICA CON UN TRANSMISOR/RECEPTOR CAN ROBUSTO	75
5.5 EL CAN COMO BASE PARA NUEVAS APLICACIONES AUTOMOTRICES	91
5.6 SISTEMA DE CONTROL DEL CUERPO DE LOS VEHICULOS BASADO EN ENLACES SERIALES I/O (SLIO) CAN DE BAJO COSTO	98
5.7 ADQUISICION DE DATOS PARA PRUEBAS DE LOS FRENOS DE CAMIONES BASADA EN LA TECNOLOGIA SLIO CAN	105
5.8 APLICACIÓN AUTOMOTRIZ DE LOS MOTORES DE DC	113

## CAPITULO 6

<b>COSTO-BENEFICIO</b>	<b>119</b>
6.1 COSTO-BENEFICIO	119

## CAPITULO 7

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>122</b>
7.1 CONCLUSIONES	122

## BIBLIOGRAFIA

LIBROS	124
PAGINAS WEB	125

## ANEXOS

MICROCONTROLADOR COP884BC DE NATIONAL SEMICONDUCTOR	<b>126</b>
---	------------

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

#### 1.1 INTRODUCCION

El crecimiento de las comunicaciones sé esta convirtiendo en un factor muy importante en nuestros sistemas modernos. Esto requiere del mejoramiento en las técnicas de control que deben ser aplicadas conjuntamente con un flujo de información más poderoso. Afortunadamente, el rápido progreso en la tecnología del silicio proporciona los medios necesarios para satisfacer dichas demandas; procesadores con una funcionalidad de millones de transistores se encuentran disponibles a precios razonables. La evolución en este campo es constante, y va acompañada de precios más bajos y ofreciendo alta funcionalidad.

Mientras que en años previos la funcionalidad de entidades de control centralizadas estaba creciendo firmemente, al mismo tiempo los efectos descentralizadores iban apareciendo más y más frecuentemente, y por consiguiente condujeron a los sistemas distribuidos. Y como resultado, surgió la cuestión sobre las técnicas de comunicación apropiadas entre los controladores distribuidos.

Los sensores y actuadores de un sistema real, las fuentes y filtros del flujo de información correspondiente, no pueden comunicarse correctamente si se colocan de manera arbitraria, ya que dicha colocación esta en estrecha relación con la disposición física del proceso o sistema con el cual interactúan. Por lo tanto, también son necesarios los canales de comunicación adecuados para estas señales de información.

Con la finalidad de proporcionar una solución optima, se hace necesaria la implantación de canales individuales, basados en un medio físico de comunicación sencillo, que es compartido por los canales de comunicación. Una red de comunicación es el resultado de conjuntar todas las entidades remotas dentro de un mismo sistema. Las variaciones que le ocurren a la información que va a ser comunicada deben tenerse en cuenta en caso de que otras señales estén haciendo uso del medio compartido, ya que dicha información deberá comunicarse lo más apegada posible al tiempo real.

Por lo tanto en las redes de comunicación un problema de transmisión simultanea debe ser resuelto definiendo los momentos en el que cada nodo tendrá permitido hacer uso de la red. La definición correspondiente es la que especifica el protocolo de comunicación. Existen diferentes protocolos desarrollados en función de las diferentes especificaciones, basadas en: las capacidades en tiempo real, técnicas de sincronización entre los nodos de control distribuido, longitud de los datos, promedio de tramas (o paquetes) de datos a ser transmitidos por unidad de tiempo, número de nodos controladores, extensión física de la red en su totalidad, capacidad de detección de errores, grado de corrección de errores, capacidad de recuperación de errores, tolerancia a fallas, confiabilidad, disponibilidad, seguridad, robustez, etc.

Una muestra clara de los beneficios de los sistemas distribuidos y los protocolos de comunicaciones son los vehículos de la actualidad ya que contienen cientos de circuitos, sensores y muchos otros componentes eléctricos. La comunicación es una necesidad entre los varios circuitos y funciones del vehículo. Por Ejemplo, cuando el conductor enciende el switch de los faros en el tablero, los faros reaccionan. Para que esto ocurra, se requiere comunicación entre el switch del tablero y el frente del Vehículo.

En los actuales sistemas de los vehículos este tipo de comunicación es manejado vía cables dedicados a través de conexiones punto a punto. Si todas las posibles combinaciones de switches, sensores, motores y otros dispositivos eléctricos de los vehículos son sumados, el resultado en el numero de conexiones y cableados dedicados resulta enorme. La implantación de redes proporciona un método mas eficiente para las complejas comunicaciones de los vehículos.

Las redes dentro de los vehículos, conocidas también como redes multiplexadas, son un método para transferir datos entre módulos electrónicos distribuidos vía un bus de datos serial. Sin no se hace uso de redes seriales, la comunicación entre los módulos requeriría cableados punto a punto dedicados trayendo como resultado una instalación del arnés cara, voluminosa y compleja. Haciendo uso de un bus de datos seriales se reduce él numero de cables mediante la combinación de señales en un cable sencillo a través de la multiplexión por división de tiempo. La información requerida es enviada a los módulos de control individual que se encargan de cada función, tales como frenos antibloqueo, luces direccionales, instrumentos del tablero, etc.

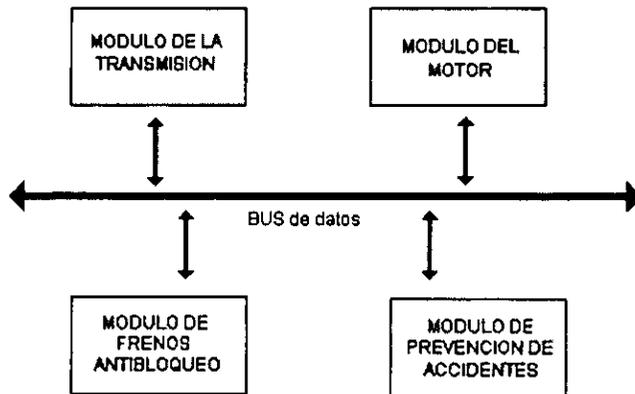


Fig. 1.1

Ya que en la actualidad la cantidad de dispositivos eléctricos en los vehículos automotores continua incrementandose, la necesidad de usar redes de comunicación se hace cada vez mas necesaria, y a su vez dichas redes se están

volviendo más eficientes. Es importante no olvidar que el número de conectores crea un verdadero problema de confiabilidad.

Es por eso que se requiere decrementar el número de cables dedicados para cada función, con lo que se reduce el tamaño del arnés, así mismo, el costo, peso, confiabilidad de la instalación y nivel de servicio son mejorados.

Los sensores de datos comunes, tales como velocidad del vehículo, temperatura del motor, etc. se pueden encontrar disponibles en la red, de tal manera que la información puede ser compartida, con lo cual se elimina la necesidad de sensores redundantes, las redes de comunicaciones en los vehículos aumentan la flexibilidad porque se pueden añadir funciones con solo modificar el software.

Los sistemas que existen en la actualidad requieren de un módulo adicional o terminales de entrada/salida por cada función que sea añadida.

Las empresas manufactureras de automóviles están descubriendo nuevas ventajas que pueden habilitarse con redes de comunicación.

Sin embargo para que las redes de comunicación puedan ser introducidas en todo tipo de vehículos los beneficios generales del sistema necesitan sobreponerse a los costos, esto podrá conseguirse con la expansión en el uso de protocolos estandarizados. Muchas empresas del ramo automotriz han estado trabajando durante varios años para el desarrollo de estándares de redes de comunicación automotriz. En la actualidad se han desarrollado muchos estándares con esta finalidad y el CAN es uno de los predominantes, razón por la cual el objetivo de este trabajo es el dar a conocer el CAN y sus aplicaciones en los vehículos automotores.

## CAPITULO 2

### CONCEPTOS BASICOS DE MANEJO DE INFORMACION

#### 2.1 COMUNICACION

La comunicación consiste básicamente en la transmisión de información de un lugar a otro, pero el interés de este capítulo se centra en los sistemas de comunicación que requieren señales eléctricas. La forma más simple del sistema de comunicación es el que aparece en la figura 2-1a. Una fuente de información (una señal de voz o cualquier otra señal) se amplifica mediante un transmisor y se transporta a cierta distancia, ya que si esta es lo suficientemente grande el medio de transmisión atenúa en forma significativa la señal. Debido a ello, el receptor debe amplificar la señal cuando esta llega al extremo remoto. Tanto los amplificadores como el medio de transmisión tiene sus limitaciones en sus anchos de banda que distorsionan la señal, a la vez que el ruido y las reflexiones tienden a ocultar o encubrir dicha señal.

En ocasiones la información a transmitir esta en código digital. En el sistema simple de comunicación que se tiene en la figura 2-1b, aparece explícitamente lo anterior. Un sistema así tiene la ventaja que la señal original puede recuperarse en forma perfecta si tanto el ruido como la distorsión no son demasiado grandes. En el receptor se lleva a cabo una decisión que indica si fue un "1" o un "0" lo que se transmitió.

Una característica importante de algunos sistemas de comunicación es la facultad de lograr que muchas fuentes de información compartan el mismo medio de transmisión como aparece en la figura 2-1c. Esta característica es denominada *multiplexado*. Un medio de transmisión puede ser costoso (como ocurre con un largo cable de fibra óptica), o bien, limitado en su disponibilidad (como sucede en el espacio ocupado por las ondas de radio). El multiplexado realiza un uso eficiente del medio, utilizándolo eficazmente para disponer del máximo posible de canales de información. En una de sus formas el multiplexado coloca los canales de información en distintas frecuencias. El proceso mediante el cual la información se mueve a la banda deseada de frecuencias se denomina modulación de portadora (AM, FM y PM). Otra forma de multiplexado sitúa los canales de información en tiempos diferentes. Como la información en cualquiera de los canales no puede ser continua, se muestrea dicha información. Las muestras a continuación modulan pulsos, lo que resulta en modulación de amplitud de pulso (PAM), modulación de ancho de pulso (PWM) o modulación de posición de pulso (PPM)

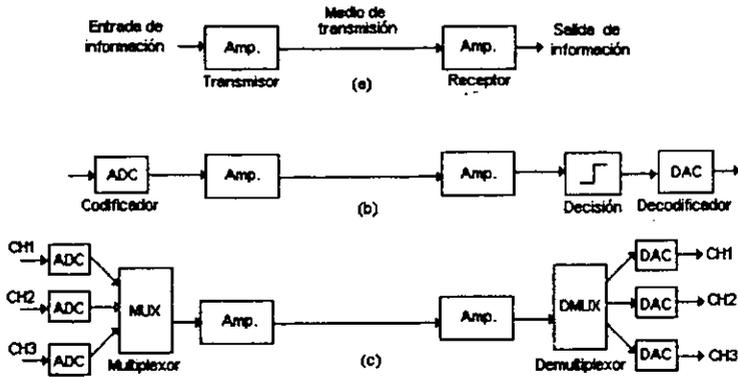


Fig.2-1 Sistemas de comunicación en los que intervienen: (a) la distancia, (b) la codificación digital y (c) el multiplexado de varios canales sobre un solo sistema.

## 2.2 ANCHO DE BANDA Y RUIDO

Las dos limitantes más significativas en el desempeño de un sistema de comunicaciones son el *ruido* y el *ancho de banda*. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es la mínima banda de paso requerida para propagar la información original a través del sistema. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones debe de ser lo suficientemente grande para permitir el paso de todas las frecuencias significativas de información. Para sintetizar diremos que el ancho de banda es el rango de frecuencias asignadas a un canal o sistema y es la diferencia expresada en Hertz entre las frecuencias más alta y más baja de una banda.

En términos generales el *ruido eléctrico* está definido como cualquier energía eléctrica indeseable presente en la banda de paso utilizable por un circuito de comunicaciones. Esencialmente, el ruido puede dividirse en dos categorías generales: relativo y no relativo. El relativo indica una relación entre la señal y el ruido. El no relativo es el ruido presente cuando no hay señal.

**Ruido Relativo:** Es energía eléctrica no requerida que se encuentra presente como resultado directo de la señal, y se encuentra en forma de armónicas y distorsión por intermodulación. Tanto las armónicas como la distorsión por intermodulación son formas de distorsión no lineal; y son producidos por amplificación no lineal. El ruido relativo no puede estar presente en un circuito a menos que haya una señal de entrada. Tanto la distorsión por intermodulación y las armónicas cambian la forma de la onda en el dominio del tiempo y el contenido espectral en el dominio de la frecuencia.

**Ruido No Relativo:** Es ruido que se encuentra presente importando o no que exista una señal presente. El ruido no relativo se divide en dos categorías generales; *externo*, que comprende el atmosférico, el extraterrestre, solar, cósmico e industrial, y el *interno*, que comprende el térmico, el de disparo y el transitorio.

### 2.3 RELACION SEÑAL A RUIDO (signal to noise ratio)

La medida estándar de nivel de ruido en un sistema es la relación o razón de la *potencia* de la señal a la *potencia* del ruido, expresado esto simplemente como relación señal-ruido (RSR). Por ejemplo, una RSR igual a la unidad representaría la degradación extrema.

La RSR puede expresarse en función de los voltajes de señal y de ruido. La potencia asociada a la señal recibida  $V_r$  es  $(V_r)^2_{rms} / R$ , donde  $R$  es la resistencia sobre la cual aparece  $V_r$ . Con la  $V_r$  se recibe un cierto voltaje eficaz de ruido  $n$ , con potencia  $n^2 / R$ . De esta manera, la relación señal-ruido en la recepción es

$$RSR_r = [ (V_r)_{rms} / n ]^2 \quad (2.1)$$

Esta razón de potencias se expresa frecuentemente en decibeles (dB), en donde un *decibel* es la décima parte de 1 *bel* y 1 B corresponde a una razón de 10. El número de factores de diez en una razón se encuentra utilizando logaritmos con base diez. Habiendo diez decibeles en un bel, la definición es

$$RSR_r (dB) = 10 \log(RSR_r) \quad (2.2)$$

Sustituyendo la ecuación 2.1 en la 2.2, tendremos

$$RSR_r (dB) = 20 \log [ (V_r)_{rms} / n ] \quad (2.3)$$

Donde esta última expresión es la convención correspondiente a la razón de voltajes en función de decibeles. La relación señal-ruido es probablemente el parámetro más usado e importante para evaluar el desempeño de los sistemas de comunicaciones.

Entre mayor sea la relación señal-ruido mejor será el desempeño del sistema. Gracias a la relación señal-ruido se puede determinar la calidad general del sistema.

### 2.4 MULTIPLEXADO

Cuando se establece un sistema de comunicación entre dos puntos, hay habitualmente más de una fuente de información que pudiera utilizar el sistema. Cualquier proceso mediante el cual varios usuarios pueden participar en un sistema de comunicación sin interferirse, se denomina sistema de *multiplexado*.

De esta manera, cada uno de los usuarios cuenta con un *canal*, el que para dicho usuario representa un sistema propio y privado de comunicación, aunque en realidad está compartiendo con otros un sistema mas amplio. Existen distintos métodos de multiplexión: *multiplexado por división de espacio*, *multiplexado por división de tiempo*, *multiplexado por división de frecuencia* y *multiplexado por división de código*. Dichos métodos se utilizan para multiplexar varios canales en un sistema eléctrico de comunicación. El sistema puede brindar muchas líneas en un cable, correspondiendo cada una a un canal distinto. Se trata así de multiplexado por división de espacio. La figura 2-2a contiene un ejemplo de multiplexado por división de espacio con tres emisores de código en operación simultánea. El medio de transmisión puede reducirse a una sola línea si los emisores lo comparten en cuanto al tiempo, como sucede en la figura 2-2b. En este caso cada uno de los emisores transmite por turno una parte del mensaje. En el extremo lejano se separan los mensajes y se vuelven a formar sin interrupciones. Este es el multiplexado por división del tiempo. Otro método, para combinar las tres señales en una línea sin interferencias consiste en utilizar tres tonos diferentes, como ocurre en la figura 2-2c. En el extremo receptor se cuenta con tres filtros sincronizados con los que es posible separar los tonos de los mensajes. Se trata aquí de multiplexado por división de frecuencia. Los sistemas mas interesantes son los de multiplexado por división de tiempo, frecuencia y código. El multiplexado por división de espacio puede considerarse un caso trivial por representar varios sistemas separados de comunicación, solo escasamente relacionados.

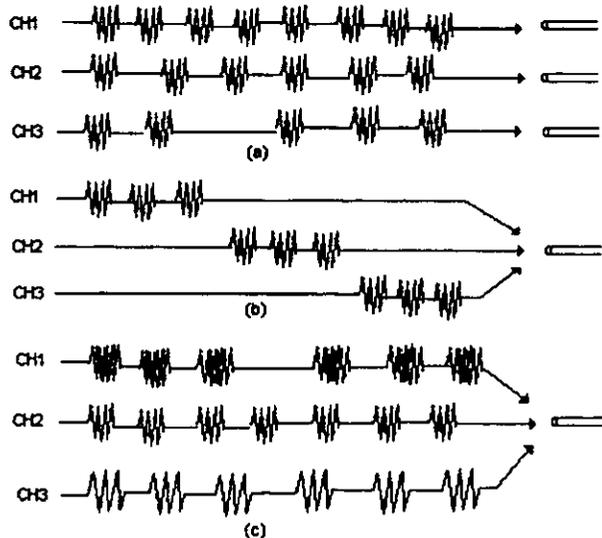


Fig.2-2 Combinación de tres canales que transmiten un código. (a) Multiplexado por división de espacio. (b) Multiplexado por división de tiempo. (c) Multiplexado por división de frecuencia

## **Multiplexado Digital**

### **Multiplexado por División de Frecuencia (FDM)**

En el multiplexado por división de frecuencia (FDM), múltiples fuentes que originalmente ocupaban la misma banda de frecuencia son transmitidas simultáneamente sobre un medio simple de transmisión. Por lo tanto muchos canales de banda (relativamente) angosta pueden ser transmitidos sobre un sistema de transmisión sencillo de banda ancha. FDM es un esquema de multiplexado analógico; La información que entra al sistema es analógica y permanece analógica durante la transmisión.

### **Multiplexado por División de Tiempo (TDM)**

Con TDM, las transmisiones de múltiples fuentes ocurren en el mismo medio pero no al mismo tiempo, Las transmisiones de varias fuentes son intercaladas en el dominio del tiempo. El tipo de modulación mas común usado con sistemas TDM es PCM .

## **2.5 COMUNICACIONES DIGITALES**

Durante los últimos años, los sistemas tradicionales de comunicaciones analógicas que usan las convencionales amplitud modulada (AM), frecuencia modulada (FM) o fase modulada (PM) han sido remplazadas gradualmente con sistemas mas modernos de comunicaciones digitales. Los sistemas de comunicaciones digitales ofrecen muchas ventajas sobresalientes sobre los sistemas analógicos tradicionales: fácil procesamiento, fácil multiplexaje e inmunidad al ruido. El termino comunicaciones digitales cubre una amplia área de técnicas de comunicación, incluyendo transmisión digital y radio digital. La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos en un sistema de comunicaciones. El radio digital es la transmisión de portadoras analógicas digitalmente moduladas entre dos puntos en un sistema de comunicaciones. La transmisión digital requiere de un medio físico entre el transmisor y el receptor, como un cable metálico, un cable coaxial o un cable de fibra óptica. En el radio digital, el medio de transmisión es el espacio libre de la atmósfera terrestre. En un sistema de transmisión digital, la información original puede estar en forma analógica o digital. Si se encuentra en forma analógica, debe de ser convertida a pulsos digitales previamente a su transmisión y reconvertida a su forma analógica en el extremo receptor. En un sistema de radio digital, la señal de entrada modulada y la señal de salida demodulada son pulsos digitales. Los pulsos digitales pueden originarse en un sistema de transmisión digital, en una fuente digital como una computadora central (mainframe), o de la codificación binaria de una señal analógica.

### **FSK (Frequency Shift Keying)**

FSK es una forma relativamente simple y de bajo desempeño de modulación digital. FSK es un tipo de modulación angular, de envolvente constante similar a la FM convencional excepto que la señal modulada es un tren de pulsos binarios que varían entre dos voltajes discretos en lugar de ser una onda cambiante continua.

### **PSK (Phase Shift Keying)**

PSK es otra forma de modulación digital angular de envolvente constante. PSK es similar a la modulación de fase convencional, exceptuando que con PSK la señal de entrada es binaria digital y solo un número limitado de fases de salida son posibles.

### **QAM (Quadrature Amplitude Modulation)**

QAM es una forma de modulación digital donde la información digital esta contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

## **2.6 MODULACION**

### **Teorema de Muestreo**

Si se desea multiplexar varios mensajes mediante la división en tiempo, dichos mensajes no pueden aparecer como continuos en el tiempo, sino que se deben muestrear de manera que las muestras puedan intercalarse en el tiempo (fig. 2-3). Este proceso de muestreo aparece en el caso de una señal de mensaje  $V_m$  en la fig. 2-4 En cada intervalo  $T_s$  se muestrea la señal  $V_m$  para producir la señal  $V_{ms}$  de la figura 2-4c. Este proceso puede describirse matemáticamente utilizando la serie de pulsos de muestreo  $s(t)$  de la fig. 2-4b. Si expresamos  $V_{ms}$  como el producto  $V_m s(t)$ , entonces  $V_{ms}$  tiene el valor de  $V_m$  en instantes con separación  $T_s$ , y el valor cero en otros lugares. Los espacios dejan lugar para intercalar muestras procedentes de otros mensajes. Siendo la amplitud de los pulsos  $V_{ms}$  la que contiene la información acerca de  $V_m$ . Para comprender el efecto del muestreo, será conveniente observar el espectro de frecuencias de las señales.

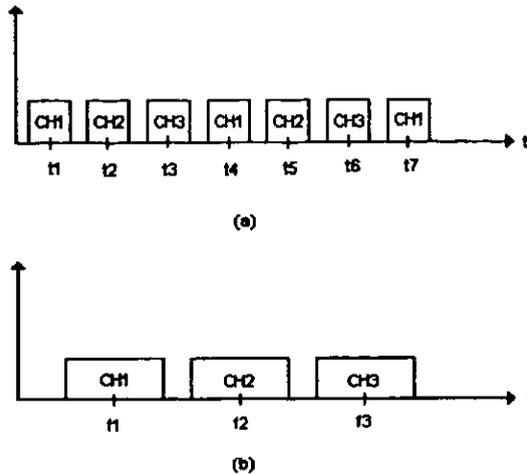


Fig. 2-3 Multiplexado mediante la intercalación de canales (CH) (a) en el dominio del tiempo y (b) en el dominio de la frecuencia.

El análisis de Fourier de la señal muestreadora,  $s(t)$  indica que esta formada por muchas sinusoides con frecuencias múltiplos de  $f_s$ , en donde  $f_s=1/T_s$  es la frecuencia de muestreo, ver espectro  $S(f)$  (fig. 2-4b).

Cuando  $V_m$  multiplica a  $s(t)$  puede considerarse como la modulación de muchas portadoras: las componentes sinusoidales de  $s(t)$ . Esto es análogo a la situación que se observa en la fig. 2-5. El espectro  $V_m s(f)$  en la figura 2-4c es muy semejante al espectro  $V(f)$  de la fig. 2-5. Allí teníamos que observar que  $\omega c/2\pi > 2B_m$  para evitar el traslape. En forma análoga con el muestreo hay que observar que

$$f_s > 2B_m \quad (2.4)$$

por la misma razón. Cualquier traslape que tenga lugar se denomina *aliasing*, que ocasiona distorsión en el dominio del tiempo. La desigualdad 2.4 se denomina *criterio de Nyquist*. Lo cual indica en efecto, que si se muestrea una señal con la suficiente frecuencia, no se pierde información con respecto de la señal original. Eso se debe a que la desigualdad 2.4 asegura que el espectro original  $V_m(f)$  esta todavía disponible en  $V_m s(f)$  sin que resulte "alterada" por el traslape.

El proceso para recuperar  $V_m$  en su integridad consiste simplemente en filtrar  $V_m s$  mediante un filtro paso bajas con anchura de banda  $B_m$ . Como el espectro resultante es idéntico a  $V_m(f)$ , la señal recuperada es idéntica a  $V_m$  también en el dominio del tiempo. Si la desigualdad 2.4 se satisface escasamente, el filtro debe tener un corte muy agudo para separar la parte deseada del espectro. La banda de protección de la figura 2-4c permite utilizar un filtro paso bajas mas simple para llevar a cabo el trabajo. Por ello, en la practica resulta tal vez mas realista  $f_s \geq 2.5B_m$ .

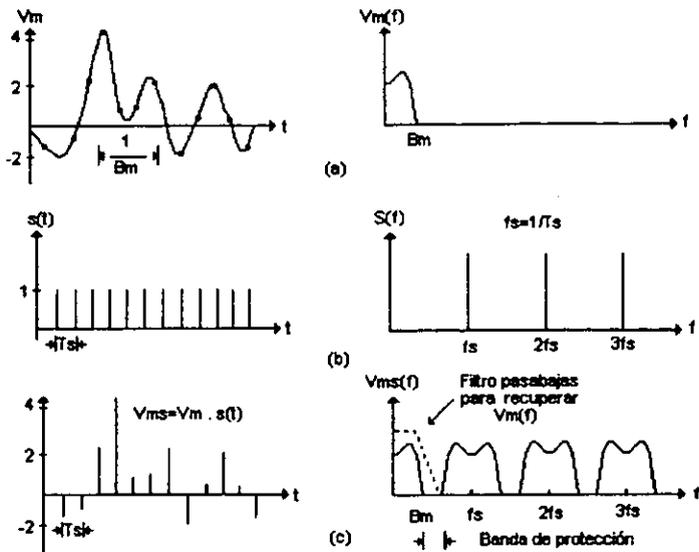


Fig. 2-4 Teorema de Muestreo. Las señales aparecen tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. (a) Señal de Mensaje. (b) Forma de la onda de muestreo. (c) El mensaje muestreado; matemáticamente es el producto del mensaje y la forma de la onda de muestreo  $s(t)$ . Para que  $V_m(f)$  sea recuperable,  $f_s$  debe ser mayor que  $2B_m$ .

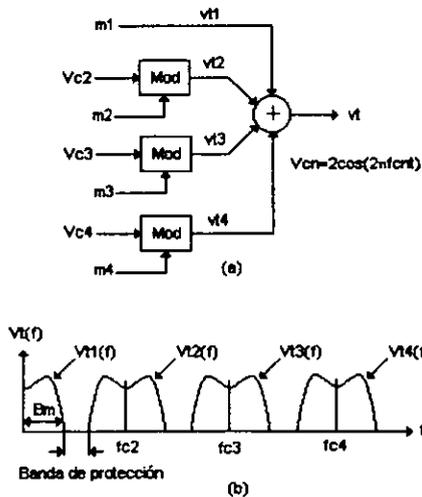


Fig. 2-5

## Modulación de Pulsos

La modulación de pulsos incluye muchos métodos diferentes de transferencia de pulsos de una fuente a un destino. Los cuatro métodos predominantes son modulación por ancho de pulsos (PWM), modulación por posición de pulsos (PPM), modulación por amplitud de pulsos (PAM) y modulación por código de pulsos (PCM). A continuación se muestra un diagrama con cada uno de ellos.

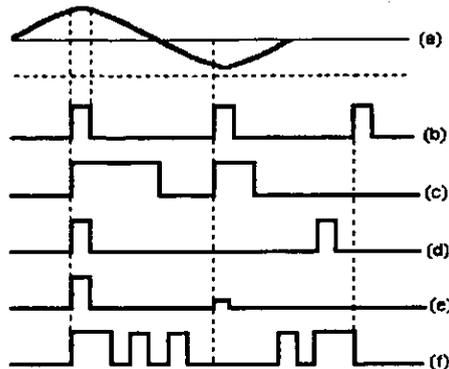


Fig.2-6 MODULACION DE PULSOS; (a)señal analógica, (b)pulso de muestreo, (c)PWM, (d)PPM, (e)PAM, (f)PCM

1.PWM: Este método es llamado a veces modulación por duración de pulso (PDM) o modulación por longitud de pulso (PLM). El ancho de pulso (porción activa del ciclo de trabajo) es proporcional a la amplitud de la señal analógica.

2.PPM: La posición de un pulso de ancho constante dentro de un espacio de tiempo preestablecido se varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

3.PAM: La amplitud de un pulso de ancho y posiciones constantes se varían de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

4.PCM: La señal analógica es muestreada y convertida en un número binario serial de longitud ajustada para su transmisión.

### Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM)

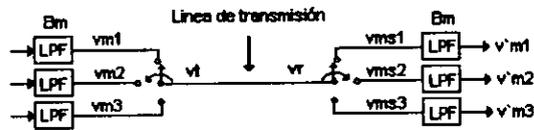
El sistema de comunicación PAM de la figura 2-7a logra el multiplexado por división de tiempo muestreando cada uno de los tres mensajes a un intervalo de  $T_s$ , y a continuación intercalando las muestras. Los filtros pasobajas en las entradas limitan el ancho de banda  $B_m$  de  $V_{m1}$ ,  $V_{m2}$  y  $V_{m3}$  para evitar el aliasing. Los mensajes filtrados se muestrean por turno, en la forma representada por el conmutador giratorio. (En realidad el muestreo se lleva a cabo electrónicamente mediante transistores interruptivos). La señal transmitida  $V_T$  es una serie de

pulsos, como en el ejemplo de la fig. 2-7b. Puesto que son tres los mensajes, el espaciamiento entre los pulsos transmitidos es de  $1/3 T_s$ .

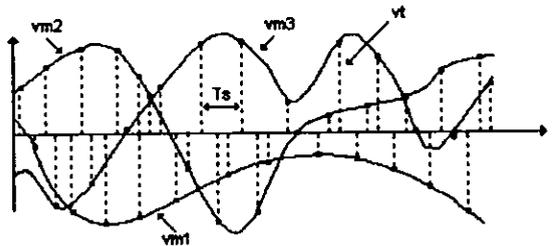
En el receptor se separan las muestras mediante un conmutador electrónico sincronizado, y mediante filtros pasobajas se recuperan los mensajes. En el caso de un sistema sin ruido o distorsión, la  $V_m$  y la  $V_m'$  son las mismas. Como el sistema no cambia el contenido en frecuencia de los mensajes en su proceso de muestreo (fig. 2-4), el multiplexado de frecuencia no interviene en este caso. Todas las señales muestreadas ocupan el mismo margen de frecuencias; se evitan unas a otras únicamente en el dominio del tiempo.

Todos los sistemas de transmisión tienen un ancho de banda limitado, pero es posible demostrar mediante el criterio de Nyquist que los mensajes pueden recuperarse plenamente si

$$Bt > 0.5Nfs \quad (2.5)$$



(a)



(b)

Fig. 2-7 (a) Sistema PAM que multiplexa por división de tiempo tres canales. (b) Los pulsos transmitidos  $V_t$  son los valores de las señales de mensaje muestreados por rotación.

En donde  $N$  es el número de mensajes multiplexados por división de tiempo y  $f_s$  es la tasa de muestreo para cada mensaje. La ecuación (2.4) junto con la ecuación (2.5) da

$$Bt > NBm \quad (2.6)$$

La demodulación en el receptor se realiza mediante un circuito que mide el ancho de cada pulso recibido. Se requiere un ancho de banda mayor en la transmisión para retener el área del pulso.

PAM es utilizada como una forma intermedia de modulación en PSK, QAM y PCM, aunque también es utilizada por si misma. PWM y PPM son usadas en sistemas de comunicaciones de propósitos especiales (usualmente por militares) pero también se usan para sistemas comerciales. PCM es por mucho el método mas utilizado para la transmisión de pulsos.

### Modulación por Codificación de Pulsos (PCM)

PCM es la única técnica de modulación de pulsos, de las antes mencionadas, que es un sistema de transmisión digital en si mismo. En PCM los pulsos son de longitud y amplitud ajustada. PCM es un sistema binario; un pulso o una porción de pulso dentro de un espacio de tiempo preestablecido representa una condición tanto de un 1 lógico como de un 0 lógico. En PWM, PPM o PAM; un pulso simple no representa un dígito binario (bit) simple. La fig. 1-8 representa un diagrama de bloques simplificado de un sistema PCM simplex de canal simple.

El filtro pasobanda limita la señal de entrada analógica a la banda de frecuencia estándar de la voz en el rango de 300 a 3000 Hz. El circuito de muestreo y reten (sample and hold) muestra periódicamente la entrada analógica y convierte esas muestras a una señal PAM de multinivel. El convertidor analógico-digital convierte las muestras PAM en un tren de datos binarios en serie para transmisión. Normalmente dicho medio es un cable metálico. En el extremo receptor, el convertidor digital-analógico convierte el tren de datos binarios en serie a una señal PAM multinivel. El circuito de muestreo y reten (sample and hold) y un filtro pasobajas convierten la señal PAM a su forma analógica original. El circuito integrado que lleva a cabo la codificación y decodificación PCM es llamado *codec* (codificador/decodificador).

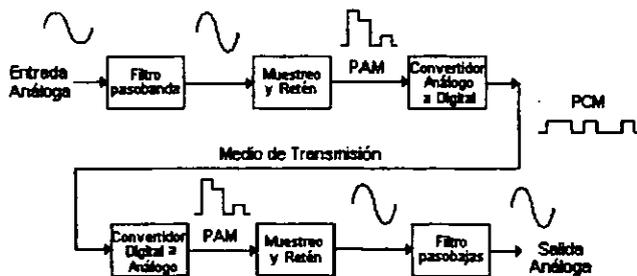


Fig. 2-8 Diagrama de bloques de un sistema PCM simplificado

### Circuito Muestreo y Reten (Sample and Hold)

El propósito de un circuito muestreo y reten es muestrear periódicamente la señal analógica de entrada (continuamente variable) y convertir la muestra en un serie de niveles PAM de amplitud constante. Para que un CAD pueda convertir de una manera precisa una señal a un código digital, la señal debe ser relativamente constante. Si no es así, antes de que el CAD pueda completar la conversión, la entrada cambiaría. Debido a eso el CAD continuamente estaría intentando seguir los cambios analógicos y nunca lograría estabilizarse en un código PCM.

La fig. 2-9 muestra el diagrama esquemático de un circuito muestreo y reten. El FET actúa como un simple interruptor, cuando se "activa" proporciona una trayectoria de baja impedancia para transferir la muestra analógica al capacitor C1. El tiempo que Q1 permanece "prendido" es llamado tiempo de apertura de adquisición. Esencialmente, C1 es el circuito reten. Cuando Q1 esta "apagado" el capacitor no tiene una trayectoria completa por donde descargarse y por lo tanto almacena el voltaje muestreado. El tiempo de almacenamiento del capacitor es llamado también tiempo de conversión A/D, porque es durante este tiempo que el CAD convierte el voltaje muestreado en un código digital. El tiempo de adquisición debe de ser muy corto. Esto asegura que solo ocurran cambios mínimos en la señal analógica mientras esta es depositada en C1. Si la entrada al CAD esta cambiando mientras se esta llevando a cabo la conversión, puede existir una distorsión. Esta distorsión es llamada distorsión de apertura. Por lo tanto, teniendo un tiempo de apertura corto y manteniendo la entrada al CAD relativamente constante, el circuito muestreo y reten reduce la distorsión de apertura. Si la señal analógica es muestreada durante un periodo de tiempo corto y el voltaje de muestreo es retenido en una amplitud constante durante el tiempo de conversión A/D se llama muestreo *flat-top*. Si el tiempo de muestreo se hace mayor y la conversión A/D tiene lugar con una señal analógica cambiante, esto es llamado muestreo *natural*. El muestreo natural ocasiona mayor distorsión de apertura que el muestreo *flat-top* y requiere de un convertidor A/D mas rápido.

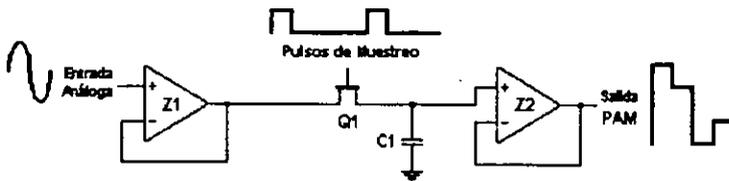


Fig.2-9 Circuito muestreo y reten (sample and hold)

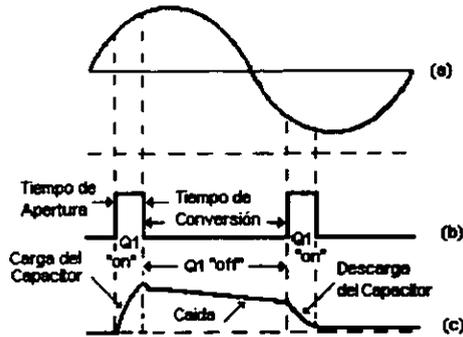


Fig. 2-10 Ondas de muestreo y retén: (a) entrada analógica, (b) pulso muestreador, (c) voltaje del capacitor

La fig. 2-10 muestra la señal analógica de entrada, el pulso de muestreo, y la forma de onda en C1. Es importante que la impedancia de salida del seguidor de voltaje Z1 y la resistencia de "prendido" de Q1 sean tan pequeñas como sea posible. Esto asegura que la constante de tiempo de carga del capacitor sea muy corto, permitiendo al capacitor cargarse o descargarse rápidamente durante el corto tiempo de adquisición. La rápida variación en el voltaje del capacitor que sigue inmediatamente a cada pulso de muestreo se debe a la redistribución de carga a través de C1. La capacitancia interelectrodos entre el *gate* y el *drain* del FET es colocada en serie cuando el FET está "apagado", por lo tanto actúa como una red divisora de voltaje capacitiva. También, nótese la descarga gradual del capacitor durante el tiempo de conversión. Esto es llamado caída y es causado por la descarga del capacitor a través de su resistencia de descarga y la impedancia de entrada del seguidor de voltaje Z2. Por lo tanto es importante que la impedancia de entrada de Z2 y la resistencia de descarga de C1 sean tan grandes como sea posible. Esencialmente, los seguidores de voltaje Z1 y Z2 aíslan el circuito muestreo y retén (Q1 y C1) de la circuitería de entrada y salida.

Con un sistema PCM-TDM, muchos canales con la banda de la voz pueden ser muestreados, convertidos a códigos PCM, y de ahí multiplexados (por división de tiempo) dentro de un cable metálico. La fig. 2-11 muestra un diagrama de bloques simplificado de un sistema de portadoras TDM-PCM de dos canales.

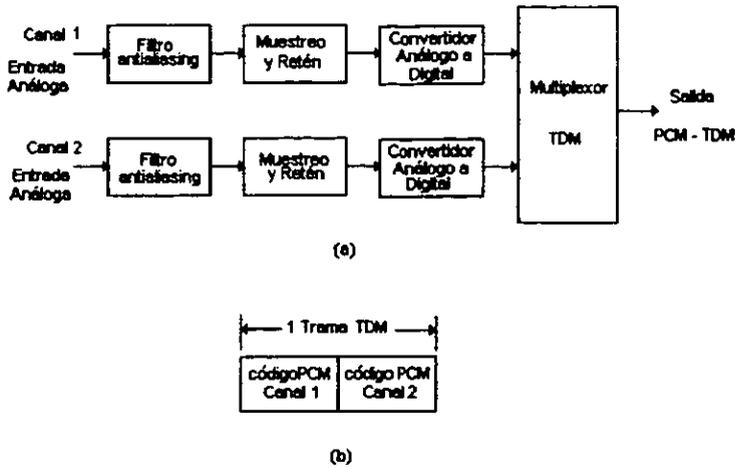


Fig. 2-11 Sistema de dos canales PCM-TDM:(a)diagrama de bloques,(b)Trama TDM

Cada canal es muestreado alternativamente y convertido a un código PCM. Mientras el código PCM para el canal 1 esta siendo transmitido, el canal 2 esta siendo muestreado, la siguiente muestra es tomada del canal 1 y convertida a un código PCM. Este proceso continua y las muestras son tomadas alternativamente de cada canal, convertidas a códigos PCM y transmitidas. El multiplexor es simplemente un interruptor con 2 entradas y una salida. El canal 1 y el canal 2 son seleccionados alternativamente y conectados a la salida del multiplexor. El tiempo que se tarda en transmitir una muestra de cada canal es llamado tiempo de trama. El código PCM para cada canal ocupa un espacio de tiempo preestablecido dentro de la trama TDM total. Con un sistema de dos canales, el tiempo asignado para cada canal es igual a la mitad del tiempo total de la trama. Una muestra de cada canal es tomada una vez durante cada trama. Por lo tanto, el tiempo de trama total es igual al recíproco de la tasa de muestreo ( $1/F_s$ ).

## 2.7 COMUNICACIONES DE DATOS (DATA COMMUNICATIONS)

### Introducción

Las *comunicaciones de datos* pueden ser definidas como la transmisión de información digital (usualmente en forma binaria) de una fuente a un destino. Los datos originales están en forma digital y los datos recibidos están en forma digital, aunque los datos pueden ser transmitidos en forma digital o analógica. La información fuente puede estar en forma de caracteres alfanuméricos codificados en forma binaria como ASCII o EBCDIC, códigos de operación de microprocesadores, palabras de control, direcciones de usuarios, datos de programa, o información de base de datos.

Una red de comunicaciones de datos pueden ser tan simple como un par de computadoras conectadas a través de la red pública de teléfono, o bien, puede comprender una red compleja de una o más computadoras centrales (mainframes) y cientos de terminales remotas. Las redes de comunicaciones de datos son usadas para conectar ATMs (automatic teller machines) con bancos (computadoras) o pueden ser usadas como interfaz entre CTs (computer terminals) o KDs (Keyboard Displays) y directamente la aplicación de programas en computadoras centrales (mainframes).

### Circuitos para Comunicaciones de Datos

La fig. 2-12 muestra un diagrama de bloques de un circuito de comunicaciones de datos. Cuenta con una fuente de información digital, un medio de transmisión, y un destino. Tanto el equipo fuente como el equipo destino son digitales; procesan la información en forma de pulsos binarios. El medio de transmisión puede ser un medio digital o analógico y puede estar compuesto por alguno de los siguientes: par metálico, cable coaxial, microondas, transmisión satelital o fibra óptica.

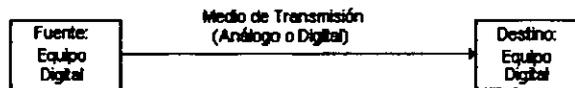


Fig. 2-12 Diagrama de bloques simplificado de un circuito de comunicaciones de datos

### Configuraciones y Topología de Circuitos para Comunicaciones de Datos

**Configuración:** Los circuitos de comunicaciones de datos pueden categorizarse como punto a punto o multipunto. Una configuración punto a punto cuenta con dos localizaciones o estaciones, por lo tanto una configuración multipunto cuenta con tres o mas estaciones. Un circuito punto a punto involucra la transferencia de información entre una computadora central (mainframe) y una terminal remota, o dos computadoras centrales, o dos terminales remotas. Un circuito multipunto es usado generalmente para interconectar una sola computadora central (mainframe host) y varias terminales remotas, aunque cualquier combinación de tres o mas computadoras constituye un circuito multipunto.

**Topologías:** La topología o arquitectura de los circuitos de comunicaciones de datos identifica la manera en que están interconectadas las varias terminales dentro de la red. Las topologías mas comúnmente usadas son: *punto a punto*, *estrella*, *bus o colector*, *lazo o anillo*, *malla* y *jerárquica*. Todas las anteriores son configuraciones multipunto, exceptuando la punto a punto. Mas adelante se dará una explicación mas detallada de cada una de ellas.

## Modos de Transmisión

Esencialmente, existen cuatro modos de transmisión en los que transmiten los circuitos de comunicaciones de datos: *simplex*, *half duplex*, *full duplex* y *full/full duplex*.

*Simplex*: Con la operación *simplex*, la transmisión de datos es unidireccional; la información solo puede ser mandada en una sola dirección. Las líneas *simplex* también son llamadas líneas de solo recepción, solo transmisión o líneas de vía única.

*Half Duplex (HDX)*: En el modo *half duplex*, la transmisión de datos es posible en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. Las líneas *half duplex* también son llamadas líneas de dos vías alternadas.

*Full Dúplex (FDX)*: En el modo *full dúplex*, la transmisión es posible en ambas direcciones simultáneamente, pero debe ser entre esas mismas dos estaciones. Las líneas *full dúplex* también son llamadas líneas de dos vías simultáneas o simplemente líneas dúplex.

*Full/Full Dúplex (F/FDX)*: En el modo *F/FDX*, la transmisión es posible en ambas direcciones al mismo tiempo pero no entre las mismas dos estaciones (p.e. una estación esta transmitiendo a una segunda estación y recibiendo de una tercera al mismo tiempo). *F/FDX* es posible solo en circuitos multipuntos.

## Códigos para Comunicaciones de Datos

Los códigos para comunicaciones de datos son usados para codificar caracteres y símbolos alfanuméricos y consecuentemente son llamados lenguajes de caracteres, juegos de caracteres o códigos de caracteres. Esencialmente, son usados tres tipos de caracteres en los códigos de comunicaciones de datos: caracteres de control de enlace de datos, los cuales son usados para facilitar el flujo ordenado de datos de la fuente al destino; caracteres de control gráfico, los cuales controlan la sintaxis o presentación de los datos en la terminal receptora; y los caracteres alfanuméricos, los cuales son usados para representar la variedad de símbolos utilizados para letras, números y signos de puntuación. Los tres códigos de caracteres mas utilizados son el código Baudot, el ASCII y el EBCDIC.

## Control de Errores

Un circuito de comunicaciones de datos puede ser tan corto como unos pocos metros de largo o tan largo como miles de kilómetros, y el medio de transmisión puede ser tan simple como un pedazo de cable o tan complejo como sistemas de microondas, satélites o fibra óptica. Por lo tanto y debido a las características de transmisión no ideales que están asociadas con cualquier sistema de comunicaciones, es inevitable que ocurran errores y es necesario desarrollar y llevar a cabo procedimientos de control de errores. El control de errores puede dividirse en dos: *detección y corrección*.

## Detección de Errores

La manera en que reaccione un sistema a la transmisión de errores depende del sistema y varía considerablemente. Las técnicas más comúnmente usadas para la detección de errores para los circuitos de comunicaciones de datos son: redundancia, codificación de conteo exacto, paridad, chequeo de redundancia vertical y longitudinal, y chequeo de redundancia cíclica.

**Redundancia:** En la redundancia cada carácter es transmitido dos veces, Si el mismo carácter no es recibido dos veces en sucesión, ha ocurrido un error de transmisión. El mismo concepto puede ser utilizado para mensajes. Si la misma secuencia de caracteres no es recibida dos veces en sucesión, en el orden exacto, ha ocurrido un error de transmisión.

**Codificación de conteo exacto:** Con la codificación de conteo exacto, el número de 1's en cada carácter es el mismo, p.e. En el código ARQ cada carácter tiene tres 1's en él, y por lo tanto un simple conteo del número de 1's recibidos puede determinar si ha ocurrido un error de transmisión.

**Paridad:** La paridad es probablemente el esquema de detección de error más simple usado para los sistemas de comunicaciones de datos y es usado tanto con el chequeo horizontal como vertical de redundancia. Con la paridad, un bit sencillo (llamado bit de paridad) es añadido a cada carácter para forzar un número total de 1's en el carácter, incluyendo el bit de paridad, siendo un número impar (paridad "impar") o un número par (paridad "par"), p.e. El código ASCII de la letra "C" es 43 hexadecimal o P1000011 binario, donde el bit P representa el bit de paridad. Existen tres 1s en el código, sin contar el bit de paridad. Si se usa paridad "impar" el bit P es hecho 0, manteniendo el número total de 1s en tres, siendo un tres un número impar. Si es usada paridad "par", el bit P es hecho 1 y el número total de 1's es cuatro, siendo cuatro un número par. Mirando con mayor detenimiento la paridad, puede observarse que el bit de paridad es independiente del número de 0's en el código y no es afectado por los pares de 1's. Para la letra "C", si todos los bits 0 no son tomados en cuenta, el código es P1----11. Para paridad "impar" el bit P sigue siendo un 0 y para paridad "par" el bit P sigue siendo un 1. Asimismo si los pares de 1s son también excluidos, el código sigue siendo P1-----, P-----1, P----1-. Y de nuevo, para paridad "impar" el bit P es 0, y para paridad "par" el bit es 1. La definición de paridad es equivalencia o igualdad. Una compuerta lógica que determina cuando todas las entradas son iguales (tanto 1s como 0s), la salida es un 0. Si no todas las entradas son iguales la salida es un 1. La fig. 2-13 muestra 2 circuitos que son usados comúnmente para generar un bit de paridad.

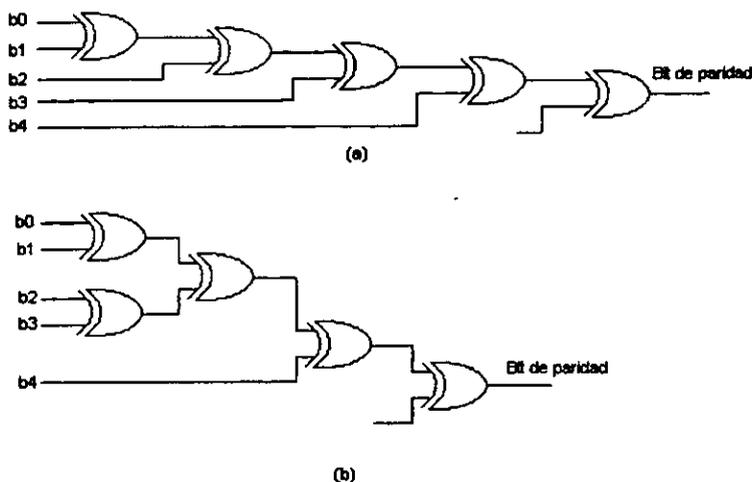


Fig. 2-13 Generadores de paridad: (a)serie, (b)paralelo.

Esencialmente, ambos circuitos llevan a cabo un proceso de comparación eliminando los 0s y los pares de 1. El circuito de la fig. 2-13a usa comparación secuencial (serie) y la fig. 2-13b usa comparación combinacional (paralelo). Con el generador de paridad secuencial; b0 es comparado en la compuerta XOR con b1, el resultado es comparado en la siguiente XOR con b2 y así en adelante. El resultado de la ultima operación XOR es comparado con un bit preasignado (bit de bias). Si se desea paridad par, el bit preasignado es hecho un 0 lógico. Si se desea paridad impar, el bit preasignado es hecho un 1 lógico. La salida del circuito es el bit de paridad, el cual es anexado al código de caracter. Con el generador de paridad paralelo, las comparaciones son hechas por pasos o niveles. Los pares de bits (b0 y b1, b2 y b3) son comparados en compuertas XOR. Los resultados de las compuertas XOR del primer nivel son comparadas entre ellas en el siguiente nivel de compuertas XOR. El proceso continua hasta que solo queda un bit, el cual es comparado con el bit preasignado en una compuerta XOR. De nuevo , si es deseada paridad par, el bit preasignado es hecho 0 lógico y si es deseada paridad impar, el bit preasignado es hecho un 1 lógico. Los circuitos mostrados en la figura 2-13 también pueden ser usados para el comprobador de paridad en el receptor. Un comprobador de paridad usa el mismo procedimiento que el generador de paridad exceptuando que la condición logica de la comparación final es usada para determinar si ha ocurrido una violación de paridad (para paridad impar un 1 indica un error y 0 indica que no hay error; para paridad par un 1 indica un error y un 0 indica que no hay error). La principal ventaja de la paridad es su simplicidad. Una desventaja es cuando se reciben un número par de bits erróneos, el comprobador de paridad no detectará el error. Consecuentemente, la paridad, en un largo periodo de tiempo solo detectará el 50% de los errores transmitidos.

**Comprobación de redundancia vertical y horizontal.** La comprobación de redundancia vertical (VRC) es un esquema de detección de error que usa paridad para determinar si ha ocurrido un error de transmisión dentro de un caracter. Por

ese motivo VRC es llamado paridad de caracter. Con VRC, cada caracter tiene un bit de paridad añadido previamente a su transmisión y puede usar cualquiera de los dos tipos de paridad (par o impar). El comprobador de redundancia horizontal o longitudinal (LRC) es un esquema de detección de error que utiliza paridad para determinar si ha ocurrido un error de transmisión en un mensaje y por eso es llamado paridad de mensaje. Con LRC, cada posición de bit tiene un bit de paridad. En otras palabras b0 de cada caracter en el mensaje es comparado en una XOR con todos los b0 de todos los otros caracteres del mensaje, ocurre lo mismo con todos los b1, b2, etc. de cada caracter en el mensaje. Esencialmente LRC es el resultado de comparar con XORs los caracteres que componen un mensaje.

*Comprobación de redundancia cíclica:* Probablemente el esquema mas eficaz de detección de errores es la comprobación de redundancia cíclica (CRC). Con CRC, aproximadamente el 95% de todos los errores de transmisión son detectados. Con CRC-16, Se usan 16 bits para la secuencia de chequeo de bloque(BCS). Esencialmente el caracter CRC es el residuo de un proceso de división. Un polinomio de mensaje de datos  $G(x)$  es dividido por una función polinomial generadora  $P(x)$ , el cociente es descartado, y el residuo es truncado a 16 bits y es añadido al mensaje como la secuencia de chequeo de bloque (BCS). Con la generación de CRC, la división no es llevada a cabo con un proceso de división aritmética estándar. En lugar de usar una resta común, el residuo se deriva de una operación con XOR. En el receptor, la secuencia de datos y la secuencia de chequeo de bloque son divididas por la misma función generadora  $P(x)$ . Si no ocurren errores en la transmisión, el residuo será cero.

### Corrección de Errores

Esencialmente existen tres métodos para corrección de errores: sustitución de símbolos, retransmisión y corrección posterior (forward).

*Sustitución de símbolos:* La sustitución de símbolos fue diseñada en un ambiente humano: cuando hay una persona en la terminal receptora para analizar los datos recibidos y tomar decisiones sobre la integridad del mensaje. Con la sustitución de símbolos, si es recibido un caracter erróneo, en lugar de revertirse a un nivel más alto de corrección de errores o desplegar el caracter incorrecto, un caracter único que no esta definido por el código de caracteres, como un signo de interrogación invertido, sustituye al caracter erróneo. Si el caracter erróneo no puede ser discernido por el operador, se solicitará una retransmisión.

*Retransmisión:* Como su nombre lo indica, es cuando se recibe un mensaje erróneo y automáticamente la terminal receptora solicita la retransmisión del mensaje completo. La retransmisión es comúnmente llamada ARQ (solicitud automática de retransmisión - automatic request for retransmission). Probablemente ARQ es el método mas seguro para corrección de errores, aunque no siempre es el más eficiente. Las fallas en la línea de transmisión ocurren súbitamente. Si se usan mensajes cortos, la probabilidad de que ocurran fallas durante la transmisión es pequeña. De cualquier manera, los mensajes cortos requieren más reconocimientos y regresos de línea (turnaround) que los mensajes largos. Los reconocimientos y regreso de línea son formas de "overhead" (caracteres adicionales a los datos que deben ser transmitidos). Con mensajes largos se

requiere menos tiempo de regreso de línea, aunque la probabilidad de ocurrencia de errores es mayor que para mensajes cortos.

*Corrección posterior (forward):* Llamado FEC, este es el único esquema de corrección de errores que de hecho detecta y corrige errores de transmisión en el extremo receptor sin necesidad de solicitar retransmisión. Con FEC se añaden bits previamente a la transmisión, consecuentemente los mensajes transmitidos son alargados. El propósito de los FEC es reducir o eliminar el tiempo perdido en retransmisiones. No obstante, la adición de bits para FEC a cada mensaje es un desperdicio de tiempo en sí mismo. Obviamente se hace una evaluación entre ARQ, FEC y los requerimientos del sistema para determinar cuál es el método idóneo para un sistema en particular.

## 2.8 SINCRONIZACION

*Sincronización* significa concordancia o coincidencia en el tiempo. En las comunicaciones de datos, hay cuatro tipos de sincronización que deben llevarse a cabo correctamente: sincronización de reloj o de bit, sincronización de portadora o módem, sincronización de caracteres y sincronización de mensaje.

### Sincronización de Caracteres

La sincronización de reloj asegura que el transmisor y el receptor concuerden en el espacio de tiempo preciso de la ocurrencia de un bit. Cuando es recibida una cadena continua de datos, es necesario identificar que bit corresponde a que caracter y cual bit es el menos significativo, cuál es el de paridad y cual el final. En esencia, *sincronización de caracteres* es: la identificación del inicio y finalización del código de caracteres. En los circuitos de comunicaciones de datos existen dos formatos para llevar a cabo correctamente la sincronización de caracteres: *el síncrono y el asíncrono*.

### Formato de datos asíncronos

Con los datos asíncronos, cada caracter es estructurado (framed) entre un bit de inicio y uno de finalización, la fig. 2-14 muestra el formato usado para estructurar un caracter para una transmisión de datos asíncrona. El primer dato transmitido es el bit de inicio y es siempre un 0 lógico. Los siguientes bits de código de caracteres transmitidos empiezan con el LSB (bit menos significativo) y continúan hasta MSB (bit más significativo). El bit de paridad (si es que se usa) es transmitido directamente después del MSB del caracter. El último bit transmitido es el de finalización, el cual es siempre un 1 lógico. Un 0 lógico es utilizado como bit de inicio ya que la condición de inactividad (la no transmisión de datos) en un circuito de comunicaciones de datos es identificado por la transmisión de 1's continuos (esto es llamado 1's de línea inactiva). Por lo tanto, el bit de inicio del primer caracter es identificado como una transición de alto a bajo en los datos recibidos, y el bit que sigue inmediatamente al bit de inicio es el LSB del código de caracteres. Todos los bits de finalización son 1's lógicos, lo que garantiza una transición de alto a bajo al inicio de cada caracter. Después de que el bit de inicio es detectado, los bits de datos y de paridad son cronometrados dentro del receptor. Si los datos son transmitidos en tiempo real (p.e. un operador tecllea

datos en su terminal), el número de 1's de línea inactiva entre cada caracter variarán. Durante este "tiempo muerto", el receptor simplemente esperará la ocurrencia de otro bit de inicio antes de cronometrar el siguiente caracter.

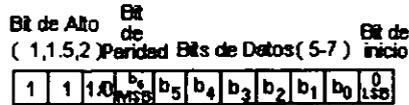


Fig. 2-14 formato de datos asíncronos

### Formato de datos síncronos

Con los datos síncronos, en lugar de estructurar cada caracter independientemente con bits de inicio y finalización, un caracter de sincronización único llamado caracter SYN es transmitido al inicio de cada mensaje. Por ejemplo, con el código ASCII, el caracter SYN es 16H. El receptor pasa por alto la llegada de datos hasta que reciba el caracter SYN, entonces cronometra los siguientes 7 bits y los interpreta como un caracter. El caracter que es usado para indicar el fin de la transmisión varia dependiendo del tipo de protocolo usado y de la clase de transmisión que sea. Con datos asíncronos no es necesario que los relojes de transmisión y recepción sean sincronizados continuamente. Solo es necesario que operen aproximadamente a la misma tasa y sean sincronizados al inicio de cada caracter. Este fue el propósito del bit de inicio, establecer un tiempo de referencia para la sincronización de caracteres. Con datos síncronos, los relojes transmisores y receptores deben ser sincronizados porque la sincronización de caracteres ocurre solo una vez al inicio del mensaje. Con los datos asíncronos, cada caracter lleva 2 o 3 bits añadidos a cada caracter. Estos bits son contenido adicional (overhead) y por eso se reduce la eficiencia de la transmisión. Los datos síncronos llevan dos caracteres SYN (16 bits adicionales) añadidos en cada mensaje. Por lo tanto, los datos asíncronos son más eficientes para mensajes cortos, y los datos síncronos son más eficientes para mensajes largos.

## 2.9 HARDWARE DE COMUNICACIONES DE DATOS

La Figura 2-15 muestra el diagrama de bloques de un circuito de comunicaciones de datos multipunto que usa una topología de bus. Este arreglo es una de las configuraciones más comunes utilizada para circuitos de comunicaciones de datos. En una estación hay una computadora central (mainframe) y en cada una de las otras dos estaciones hay un "racimo" de terminales. El hardware y la circuitería asociada que conecta la computadora central a las terminales remotas se llama enlace de comunicaciones de datos (data communications link).

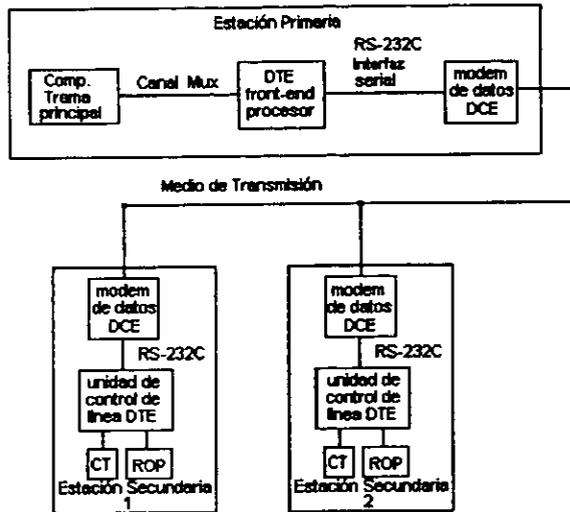


Fig. 2-15 diagrama de bloques de un circuito de comunicación de datos multipunto.

La estación con la mainframe es llamada host o primaria y las otras estaciones son llamadas secundarias o simplemente remotas. Un arreglo de estos es llamado "red centralizada"; en él hay una estación localizada centralmente (el host) con la responsabilidad de asegurar un flujo ordenado de datos entre las estaciones remotas y ella. El flujo de datos es controlado por un programa de aplicaciones el cual está almacenado en la estación primaria. En la estación primaria existe una computadora central (mainframe), una unidad de control de línea (LCU), y un módem. En cada estación secundaria hay un módem, una LCU, y un equipo de terminal. La estación primaria tiene la capacidad de almacenar, procesar o retransmitir los datos que recibe de las estaciones secundarias.

### Unidad de Control de Línea (LCU)

La LCU tiene muchas funciones importantes. La LCU en la estación primaria sirve como interfaz entre la computadora central y los circuitos a los que ella sirve. Cada circuito que es servido esta conectado a diferentes puertos de la LCU. La LCU dirige el flujo de entrada y salida de datos entre los diferentes enlaces de comunicaciones de datos y sus respectivos programas de aplicaciones. La LCU lleva a cabo la conversión de paralelo-serie y serie-paralelo de los datos. El multiplexor es el canal de interfaz entre la mainframe y la LCU que transfiere los datos en paralelo. La transferencia de datos entre la LCU y el módem se hace serialmente. Así mismo la LCU almacena la circuitería que lleva a cabo la detección y corrección de errores. También los caracteres de control de enlace de datos (DLC - data link control) son insertados y eliminados en la LCU. La LCU opera sobre los datos cuando están en forma digital y por eso es llamada equipo

terminal de datos (DTE). Esencialmente, cualquier pieza de equipo entre la computadora central y el módem o el equipo de estación y su módem son clasificados como equipo terminal de datos. El módem es llamado equipo de comunicaciones de datos (DCE) porque es la interfaz entre el DTE digital y la línea de transmisión analógica. Dentro de la LCU hay un circuito integrado sencillo que lleva a cabo muchas de las funciones de la LCU. Este circuito es llamado UART (receptor/transmisor asíncrono universal) si se usa transmisión asíncrona o USRT (receptor/transmisor síncrono universal) si se usa transmisión síncrona.

### **Interfaces seriales**

Para asegurar el flujo ordenado de los datos entre la LCU y el módem, se coloca una interfaz serial entre ellos. Esta interfaz coordina el flujo de datos, las señales de control, y el tiempo de información asignado entre los DCE y los DTE.

### **Modems**

El propósito principal de los módem es el de servir de interfaz entre los DTEs y los canales de comunicaciones analógicas. En el extremo transmisor el módem convierte pulsos digitales de la interfaz serial a señales analógicas, y en el extremo receptor, el módem convierte señales analógicas a pulsos digitales. Los modems se clasifican generalmente en síncronos o asíncronos y usan diferentes tipos de modulación ya sea FSK, PSK o QAM. En los módem síncronos, la información cronometrada es recuperada en el módem receptor; con los módem asíncronos esto no sucede. Los módem asíncronos usan modulación FSK y están restringidos a aplicaciones de baja velocidad. Los módem síncronos usan modulación PSK o QAM y sus aplicaciones son de media y alta velocidad.

## **2.10 PROTOCOLOS PARA COMUNICACIONES DE DATOS**

Un protocolo de comunicaciones de datos es un conjunto de reglas que controlan el intercambio ordenado de datos de información. La función de una unidad de control de línea (LCU) es controlar el flujo de datos entre programas de aplicación y terminales remotas. Es por eso que deben existir reglas que controlen la manera en que una LCU inicia o responde a los diferentes tipos de transmisión. Este conjunto de instrucciones es llamado protocolo de enlace de datos. Esencialmente, un protocolo de enlace de datos es un conjunto de procedimientos que aseguran un intercambio ordenado de datos entre dos LCUs. En los circuitos de comunicaciones de datos, la estación que se encuentra transmitiendo es llamada maestro (master) y la estación que se encuentra recibiendo es llamada esclavo (slave). En una red centralizada la estación primaria controla los momentos en que una estación secundaria puede transmitir. Cuando una estación secundaria esta transmitiendo, es la estación maestra y la primaria es la esclava. El rol de estación maestra es temporal y cual estación es una maestra es delegado por la estación primaria. Inicialmente la estación primaria es la maestra. La estación primaria solicita a cada estación secundaria, en turno, mediante *poleo*. El poleo es la invitación de una estación primaria a una secundaria para que transmita un mensaje. Las secundarias no pueden polear a una primaria. Cuando una primaria polea a un secundaria, lo que hace la primaria

es iniciar un retorno de línea; la estación secundaria poleada es designada maestra y debe responder. Si la primaria selecciona a una secundaria, la secundaria es identificada como un receptor. Una selección es hecha por una primaria acerca de la secundaria para determinar el estado de la secundaria. Las estaciones secundarias no pueden seleccionar a las primarias. Las transmisiones de la primaria van a todas las secundarias; ya depende de las estaciones secundarias el decodificar individualmente cada transmisión y determinar si se refiere a ella. Cuando una secundaria transmite, su envío solo va hacia la primaria. Los protocolos de enlace de datos se categorizan generalmente como síncronos o asíncronos.

### **Protocolos asíncronos y síncronos**

Los protocolos asíncronos son orientados a caracteres; esto significa que los caracteres de control de enlace de datos, como son fin de transmisión (EOT - end of transmission) e inicio de texto (STX - start of text), no importa en qué momento de una transmisión ocurran, la función o acción que representan está garantizada en ese momento. Consecuentemente, debe tenerse cuidado que las secuencias de bits para los caracteres de control de los datos no ocurran dentro de un mensaje a menos que lo que se requiere es que se lleven a cabo las funciones de enlace de datos designadas. La paridad VRC es el único tipo de detección de errores usados con los protocolos asíncronos, y para corrección de errores se utilizan sustitución de símbolos y retransmisión ARQ. En referencia a los protocolos síncronos solo mencionaremos que estos pueden ser orientados tanto a objetos como a bits.

### **Jerarquía de protocolos ISO**

La jerarquía de protocolos ISO se muestra en la figura 2-16. Esta jerarquía fue desarrollada para facilitar la intercomunicación de los equipos de procesamiento de datos separando las responsabilidades de la red en siete niveles o plataformas. El concepto básico de niveles de responsabilidades es que cada plataforma agregue valor a los servicios provistos por el conjunto de plataformas en un nivel más bajo. De esta manera, la plataforma más alta ofrece el conjunto total de servicios necesarios para correr una aplicación de datos distribuida. De la figura 2-16 se puede ver que cada nivel de la jerarquía añade algo a los datos. De hecho, si los siete niveles se encuentran direccionados, menos del 15% del mensaje transmitido es información fuente. Los servicios básicos provistos por cada plataforma de la jerarquía son resumidos a continuación.

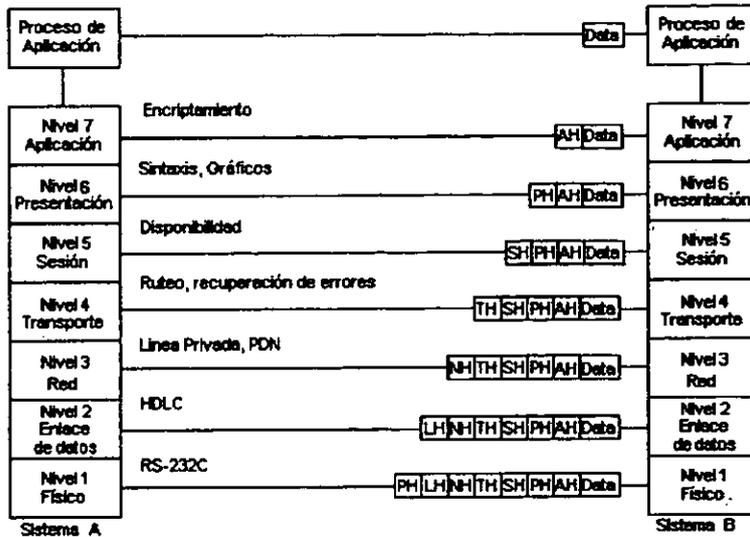


Fig. 2-16 Jerarquía de protocolos ISO

**1. Nivel Físico:** Este es el nivel más bajo de la jerarquía y especifica los estándares físicos, eléctricos, funcionales y de procedimientos para acceder a la red de comunicaciones de datos.

**2. Nivel de Enlace de Datos:** Este nivel es el responsable de la comunicación entre los nodos primario y secundarios dentro de la red. El nivel de enlace proporciona un medio para activar, mantener y desactivar el enlace de datos. El nivel de enlace proporciona la estructura final del entorno de información, facilita el flujo ordenado de los datos entre nodos, y permite la detección y corrección de errores.

**3. Nivel de Red:** Este nivel determina qué configuración de red es la más apropiada para la función provista por la red.

**4. Nivel de Transporte:** Este controla la integridad del mensaje de extremo a extremo, el cual incluye el enrutamiento, segmentación y recuperación de error del mensaje. El nivel de transporte actúa como interfaz entre la red y niveles de sesión.

**5. Nivel de Sesión:** El nivel de sesión es responsable de la disponibilidad de la red (p.e. almacenamiento en memoria intermedia (buffer) y capacidad de procesamiento). Sus responsabilidades también incluyen procedimientos de conexión y desconexión a la red, así como la autenticación de usuarios. Una sesión es la condición temporal que existe cuando los datos están en proceso de ser transferidos y no incluye procedimientos tales como establecimiento de llamada, dada de alta o procesos de desconexión. La plataforma de sesión determina el tipo de dialogo disponible (p.e. simplex, dúplex, etc)

**6. Nivel de Presentación:** A este nivel le corresponde la sintaxis o representación. Las funciones de presentación incluyen formato de datos, codificación, encriptación/descriptación de mensajes, procedimientos de dialogo, sincronización, interrupción y finalización. El nivel de presentación lleva a cabo la traducción de los conjuntos de códigos y caracteres y determina el mecanismo de despliegue de los mensajes.

**7. Nivel de Aplicación:** Este es análogo al administrador general de la red. El nivel de aplicación controla la secuencia de actividades dentro de un aplicación y también la secuencia de eventos entre la aplicación de la computadora y el usuario de otra aplicación. El nivel de aplicación comunica directamente con el programa de aplicación del usuario.

## 2.11 REDES DE AREA LOCAL

Una LAN es una red de comunicaciones de datos que esta diseñada para proveer comunicación en dos sentidos entre una larga variedad de equipo de terminales de comunicaciones de datos dentro de un área geográfica relativamente pequeña. Las LAN son operadas y mantenidas de manera privada y se usan para interconectar DTEs en el mismo edificio o complejo de edificios.

### Consideraciones de las LAN

#### Topología

La topología o arquitectura física de una LAN como se han interconectado las estaciones. Las configuraciones mas comunes utilizadas con las LAN son estrella, anillo, bus y malla.

#### Medio de Conexión

Actualmente la mayoría de las LAN utilizan cable UTP como su medio de transmisión, aunque algunas ya utilizan la fibra óptica.

#### Formato de Transmisión

Existen dos tipos básicos de formato de transmisión para las LAN: *banda base* y *banda ancha*. La transmisión en *banda base* usa el medio de conexión como dispositivo de canal sencillo. Solo una estación puede transmitir en un momento dado y todas las estaciones deben transmitir y recibir el mismo tipo de señales (mismos esquemas de codificación y tasas de transmisión). Esencialmente un formato de *banda base* usa la multiplexion por división de tiempo de las señales dentro del medio de transmisión. La transmisión en *banda ancha* usa el medio de conexión como dispositivo multicanal. Cada canal ocupa diferente banda de frecuencias (p.e. FDM). En consecuencia cada canal contiene diferentes esquemas de codificación y opera a diferentes tasas de transmisión. Una red de

banda ancha permite que sean transmitidos simultáneamente sobre el mismo medio voz, datos y vídeo.

### **Acceso al Medio**

El acceso al medio describe el mecanismo usado por una estación para ganar el acceso a una LAN. Existen esencialmente dos métodos usados para el acceso al medio; acceso múltiple y sensado de portadora, con detección de colisión *CSMA/CD* y *token passing*.

*CSMA/CD*: En este método de acceso una estación "monitorea" o "escucha" la línea para determinar si se encuentra ocupada. Si una estación tiene un mensaje para transmitir pero la línea se encuentra ocupada, espera una condición de inactividad antes de transmitir su mensaje. Si dos estaciones comienzan a transmitir al mismo tiempo, ocurre una colisión. Cuando sucede esto, ambas estaciones cesan de transmitir y cada estación espera un tiempo aleatorio antes de intentar la retransmisión. El tiempo aleatorio de retardo es diferente para cada estación y es por eso que permite dar prioridad a ciertas estaciones de la red. Con *CSMA/CD*, las estaciones contienden por la red. Una estación no tiene garantizado su acceso a la red. Para detectar la ocurrencia de una colisión, una estación debe ser capaz de transmitir y recibir simultáneamente. *CSMA/CD* es utilizado por la mayoría de las LAN en banda base con configuración de bus. Ethernet es una LAN popular que utiliza banda base con transmisión *CSMA/CD*. La tasa de transmisión en Ethernet es de 10 Mbps sobre cable coaxial.

*TOKEN PASSING*: Este es el método de acceso al medio más compatible con una topología de anillo ya sea en banda base o banda ancha. Con *token passing*, un "token" (código) eléctrico circula alrededor del anillo de estación en estación. Y cada estación adquiere por turnos el código. Para poder transmitir, una estación debe poseer primero el código; entonces la estación desecha el código y coloca su mensaje en la línea. Después de que una estación transmite, pasa el código a la siguiente estación en secuencia. Con *token passing*, cada estación cuenta con igual acceso al medio de transmisión.

### **Topologías de redes**

Existen diversas formas en las que podrían organizarse las redes, y la mayoría de ellas se encuentran en un constante estado de transición y desarrollo. Si la red de computadoras tiene solo una ubicación central o computadora anfitriona que realiza todas las tareas de procesamiento de datos desde uno o mas lugares distantes o remotos, se trata de una red centralizada. Si hay computadoras distantes procesando trabajos para usuarios finales, y también una computadora ubicada en un sitio central, entonces podemos tener los inicios de una red distribuida. Una red distribuida puede ser centralizada o dispersa; pero una red en la que no se realiza procesamiento distribuido solo puede ser centralizada, ya que todas las tareas de procesamiento de datos se efectúan en una computadora ubicada en un sitio central. Es posible que un solo sistema de comunicaciones genere comunicaciones para dos o mas redes de computadoras en operación

concurrente. Haremos un repaso de varias configuraciones de redes características: punto a punto, multipuntos, estrella, anillo, estructura de bus o colector y jerárquica. La fig. 2-17 contiene representaciones diagramáticas de las diversas configuraciones o topologías de redes.

### **Redes de Punto a Punto**

Una red de punto a punto es sin duda la mas sencilla, ya que tiene solo una computadora, una línea de comunicaciones y una terminal en el otro extremo del cable. La terminal puede ser una terminal de lote distante (RBT) o interactiva. Esta fue la primera forma de red existente, y muchas redes siguen conservando dicha estructura, desarrollándose gradualmente en entidades más complejas. En un sistema de este tipo la computadora central no necesita ser grande. Una microcomputadora puede actuar como anfitriona de una o más terminales. Sin embargo, normalmente estos sistemas tienen una computadora grande como sistema anfitrión.

### **Redes Multipuntos**

Las redes multipuntos constituyeron originalmente una extensión directa de sistemas punto a punto en que en vez de haber una sola estación remota existen múltiples estaciones distantes. Esas estaciones pueden conectarse vía líneas de comunicación independientes a la computadora o pueden multiplexarse en una misma línea.

En un sistema punto a punto o multipuntos, las características de las estaciones de trabajo remotas son función del trabajo que se realizará en el sitio distante. Las redes locales, en algunas de sus manifestaciones, son expansiones del concepto multipuntos. En su contexto original un sistema multipuntos contenía solo un nodo con "inteligencia". Una red local tendrá normalmente inteligencia en todos o en la mayoría de los puntos del sistema sin que se necesite ningún sistema central.

### **Redes Estrella (centralizadas)**

Para reiterar, una red centralizada es aquella en la cual las operaciones de cómputo primarias se realizan en un solo lugar, donde todas las estaciones distantes alimentan de información a la central. A menudo un sistema de este tipo es concebido como una red en estrella donde cada sitio remoto ingresa al sistema central vía una línea de comunicaciones, aunque los sistemas punto a punto y multipuntos clásicos eran también redes centralizadas. Sin embargo, en términos generales una red multipuntos no tenía recursos de procesamiento distribuido, aunque una red en estrella puede tener otras computadoras en el otro extremo de sus líneas de comunicación. La computadora que soportaba una red multipuntos tradicional podría haber sido enlazada a una red en estrella. Los sistemas EPABX, basados en la tecnología telefónica, es la tecnología de redes de área local que utiliza una topología de estrella donde el conmutador o interruptor constituye el nodo central.

### Redes Anillo (distribuidas)

Una red anillo se organiza conectando nodos de la red en un ciclo cerrado con cada nodo enlazado a los nodos contiguos a la derecha y a la izquierda. La ventaja de una red anular es que se puede operar a grandes velocidades, y los mecanismos para evitar colisiones son sencillos. La topología anular o de anillo no tiene la flexibilidad que tienen las estructuras de bus o colector; no obstante, induce más regularidad en el sistema. Algunas veces, las redes anulares utilizan esquemas de *transmisión de señales* para determinar qué nodo puede tener acceso al sistema de comunicaciones.

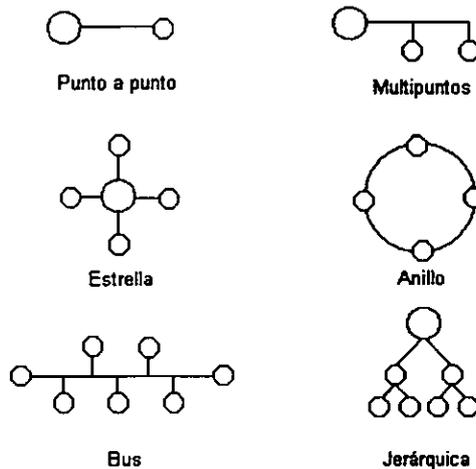


Fig. 2.17 Topologías de Red

### Estructuras de Bus o Colector (distribuidas)

La red de bus o colector que representa la fig. 2.17 está configurada, cuando menos lógicamente, con derivaciones (o ramales) que se extienden desde un sistema central. Cuando una señal atraviesa el bus o colector (normalmente un cable coaxial, de fibras ópticas o dúplex trenzado) todas y cada una de las conexiones escuchan la señal que lleva consigo una designación de dirección.

Los sistemas de bus o colector, como Ethernet, o la mayoría de los sistemas de banda ancha (televisión por cable), emplean un cable bidireccional con trayectorias de avance y regreso sobre el mismo medio, o bien emplean un sistema de cable doble o dual para lograr la bidireccionalidad. Con sistemas basados en la televisión por cable, existe un procesador de señales en el *extremo principal* que toma una señal de entrada baja de un dispositivo del bus o colector y lo convierte para retransmitirlo en un canal de frecuencia mayor.

## **Redes Jerárquicas (distribuidas)**

Una red jerárquica representa una red completamente distribuida en la que computadoras alimentan de información a otra computadoras, que a su vez alimentan a otras. Las computadoras que se utilizan como dispositivos remotos pueden tener recursos en niveles superiores o inferiores conforme se reúnen información u otros recursos.

## **2.12 REDES DISTRIBUIDAS**

Las redes de la década de los 90 son descentralizadas porque el procesamiento y las bases de datos son cada vez más distribuidos. Las implicaciones organizacionales de dicha situación son polifacéticas; pero una implicación importante es la descentralización de las responsabilidades .

Las redes locales distribuyen casi siempre el procesamiento entre muchos nodos inteligentes, por lo general enlazados por conexiones fijas, se ha hablado bastante de procesamiento centralizado y distribuido como si los dos conceptos en las redes estuvieran en extremos opuestos de algún enlace continuo, aunque este no sea el caso. Una definición señala que la computación distribuida coloca una parte sustancial de pre y posprocesamiento de datos, y acceso a datos, en los lugares donde se originan y se utilizan los datos al mismo tiempo que se conserva el control central de la red.

### **Computación Distribuida**

Un sistema de *procesamiento de datos distribuido* (DDP) es aquel que emplea más de un procesador geográficamente distanciados y enlazados por telecomunicaciones.

La *inteligencia distribuida* tiene que ver con el uso de procesadores en terminales, controladores o máquinas periféricas para ejecutar funciones que en forma individual no desempeñan el procesamiento completo de una transacción.

### **Necesidad de conectividad**

La conectividad es un concepto fundamental en el campo de las redes de área local; significa que cualquier dispositivo conectado a la LAN puede ser direccionado como una conexión individual. En el caso de una computadora grande con muchos puertos, cada puerto es una conexión; en tanto que una terminal o microcomputadora un usuario es asimismo una conexión. Se llevan a cabo sesiones cuando se establece un circuito entre dos o más conexiones. *Algunas LAN tienen la capacidad de aceptar sesiones de multidifusión o de transmisión* (transmisiones a un subconjunto de todas las conexiones o bien a todas las conexiones).

Los nodos de la red son dispositivos inteligentes y pueden soportar una o mas conexiones. Las redes de características similares o diferentes pueden conectarse entre sí a través de vías de acceso las cuales, en principio, permiten que otro usuario/conexión en una red se comunique con un usuario/conexión en otra red.

## CAPITULO 3

### BASES Y OBJETIVOS DE UN SISTEMA CAN

#### 3.1 ANTECEDENTES

El protocolo CAN, desarrollado por Robert Bosch GmbH, ofrece una solución para el manejo de comunicación entre múltiples CPUs. El protocolo CAN especifica unos identificadores de mensajes muy versátiles que pueden direccionarse hacia categorías de control de información específicas. La comunicación puede darse a una tasa máxima recomendada de 1 Mb/seg. (con una longitud de 40 m. aproximadamente). El protocolo ha encontrado amplia aceptación en aplicaciones automotrices así como en muchas otras aplicaciones no automotrices, y esto es debido al bajo costo, alto desempeño, y la disponibilidad de hardware que cuenta con el protocolo CAN.

Los protocolos de red para automóviles deben cumplir con requisitos únicos que no se encuentran en otros protocolos como son los protocolos de telecomunicaciones y de procesamiento de datos. Algunos de estos requisitos deben incluir un alto nivel de detección de errores, periodos de tiempos latentes cortos y flexibilidad de configuración.

El protocolo CAN proporciona cuatro beneficios principales. Primero: un protocolo de comunicaciones estándar simplifica y economiza las tareas de interfaz entre los subsistemas de varios componentes convirtiéndolos en una red común. Segundo: la responsabilidad de las comunicaciones ya no recae en el CPU-huésped sino en un periférico inteligente, por lo tanto el CPU-huésped cuenta con más tiempo para realizar tareas del sistema. Tercero: El CAN, como red multiplexada, reduce en gran medida el tamaño del cableado del arnés y elimina el alambrado punto a punto. Por último: como un protocolo estándar, el CAN cuenta con un amplio y atractivo mercado que motiva los fabricantes de semiconductores a desarrollar dispositivos CAN a precios competitivos.

Un ejemplo de una aplicación adecuada del protocolo CAN es la de redes de comunicación automotriz ya que muchos de los módulos y sistemas dentro de los automóviles son interdependientes. Subsistemas tales como el motor, transmisión, frenos antibloqueo y sistemas para evitar accidentes requieren del intercambio de información particular acerca de la posición y el desempeño de ellos, por lo que tiene que definirse un estado latente en las comunicaciones. El motor envía parámetros de velocidad y aceleración hacia la transmisión para permitir cambios graduales. Probablemente la transmisión solicite al motor que reduzca la inyección de combustible antes de un cambio en la caja de velocidades.

#### 3.2 CARACTERISTICAS BASICAS DE PROTOCOLOS

La creciente demanda de las comunicaciones ha conducido a la existencia y especificación de varios protocolos de comunicaciones. De acuerdo al área de

aplicación para la cual han sido diseñados y debido a razones históricas, los protocolos pueden diferir poco o mucho. Algunos de ellos han sido establecidos como estándares internacionales o, por lo menos, casi estándares por la manera en que son usados. Los protocolos de comunicación para aplicaciones industriales comprenden tanto el "nivel final alto" llamado "bus de fábrica", que es usado para proporcionar información total del sistema de la fábrica a los directores de operaciones, así como el "nivel final bajo" de las redes de comunicaciones en los llamados "bus de campo" (fieldbus), que son aplicadas para intercomunicación entre procesadores así como para la comunicación de sensores y actuadores.

Especialmente el área de aplicación del fieldbus ha ganado importancia debido al gran incremento del mercado relacionado. Otro factor en favor de los sistemas distribuidos en general y en particular en el caso de las redes es el gran progreso en cuanto a tecnologías de silicio, que ofrecen cada año un incremento en su funcionalidad y un menor costo. Debido a esto, el desarrollo de soluciones con sensores y actuadores más inteligentes se ha ido fomentando, y por lo tanto demanda cada vez más estándares para su interconexión así como protocolos de comunicación estandarizados que los complementen. Desde un punto de vista más general, el mercado está demandando soluciones altamente competitivas, que se caractericen por sistemas de control con alta flexibilidad. Y esto requiere un alto grado de estandarización lo cual conduce a soluciones reutilizables en términos de módulos de hardware y software que son fáciles de adaptar de acuerdo a las diferentes necesidades y soluciones de cada campo de aplicación individual. La clave para alcanzar estos requisitos es proporcionar módulos de control con una interfaz de red "estándar".

Al observar la variedad de protocolos de comunicaciones existentes, empiezan a surgir cuestionamientos tales como: ¿por qué existen tantos?, ¿y de qué manera evolucionará esta tecnología en el futuro?. La intención original era especificar una interfaz *única* para simplificar el diseño de sistemas modulares. Existen varias razones para explicar la diversificación en los protocolos actuales, tales como la evolución individual por parte de las compañías en busca de protocolos, el fenómeno de "lo no inventado aquí", la esperanza de proteger de otros competidores el mercado de nuevos sistemas, la gran cantidad de dinero invertido y por último, pero no menos importante, las razones técnicas. Por eso en la realidad, aún dentro de un sistema simple, se pueden aplicar muchos protocolos diferentes, y además pueden ser necesarios para los varios niveles de aplicación, cada uno de ellos satisfaciendo las necesidades específicas de las características de aplicación dadas.

Aunque se apliquen diferentes protocolos, los diseñadores de sistemas requerirán interfaces de comunicación más generales. Tal interfaz permitiría un diseño más simple del sistema, gran independencia en la realización de las aplicaciones de los niveles inferiores, mejorar la reusabilidad de las soluciones existentes, complejidad reducida para el diseñador, reducción en el tiempo de desarrollo del sistema y una mayor confiabilidad y calidad de la solución. Recordando el hecho de que un protocolo es solamente la parte que sirve de "pegamento" en un sistema distribuido, el desarrollo de una arquitectura de comunicaciones más general debe de ir a la par del sistema completo. Las tareas individuales residen en los

controladores distribuidos, y cada uno es responsable de una parte del programa de control total.

Básicamente, un sistema distribuido (de los que se ha hablado previamente) que haga uso del sistema CAN puede representarse como se muestra en la figura 3.1, del cual se observa que varios módulos de control se comunican sobre un bus (CAN). Estos módulos sirven de interfaz al proceso que se está controlando a través de las interfaces IO del sensor y el actuador. Cada controlador contiene su programa de control local, se encarga de leer las entradas locales, de comunicarse con los otros módulos a través de la red, de procesar los datos y de escribir los nuevos valores de salida que van hacia los actuadores. Además existen procesos de administración del sistema y de los nodos que corren en los controladores que se encargan de revisar el estado del controlador local, sus correspondientes entradas/salidas y el estado de la información en la red y de las comunicaciones en relación con los otros controladores.

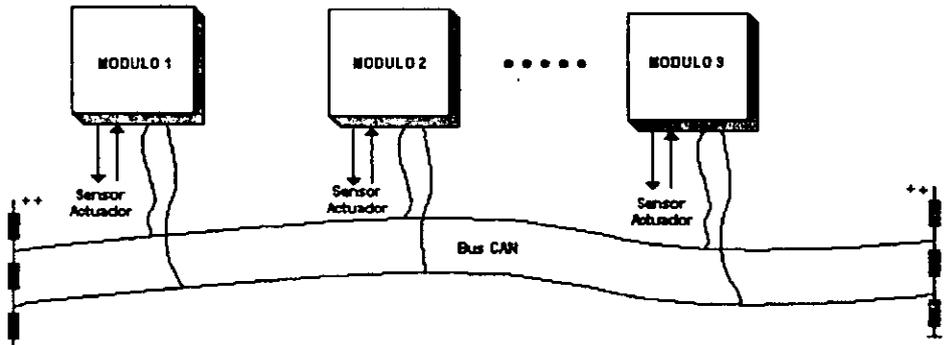


Fig. 3.1

Los protocolos actuales típicamente proporcionan al usuario una interfaz de hardware en un nivel alto o un software de nivel de aplicación que corresponde a la funcionalidad del nivel 2 de OSI. La figura 3.2 muestra la estructura interna del módulo de comunicaciones y su interfaz hacia el resto del sistema y el manejador del nivel de aplicación de red.

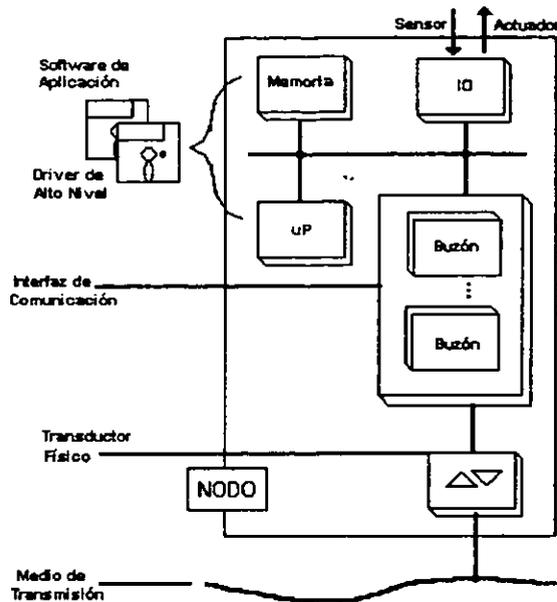


Fig. 3.2 Sistema Distribuido - Arquitectura Interna de un Nodo

Este cuenta con un bus (paralelo) de control, datos y direcciones enlazando el controlador central, la memoria para el programa y los datos, los dispositivos de entrada/salida y la interfaz de red todo esto sobre una tarjeta del sistema controlador de nivel local. Desde el punto de vista del microcontrolador, la interfaz de comunicación puede ser vista como un conjunto de buzones. Cada uno de los buzones sirve casi como una interfaz de registro lógica entre el controlador local y los nodos remotos. Cualquier nodo que desee comunicarse -transmitir o recibir- debe habilitar los buzones correspondientes a la transmisión o la recepción antes que se pueda llevar a cabo cualquier comunicación. Existen varias técnicas para implantar dichos buzones. La idea de los buzones descrita arriba representa una implantación más o menos ideal, en la cual para cada variable de comunicación específica hay disponible un buzón físico de comunicación correspondiente.

### 3.3 ARQUITECTURAS DE COMUNICACIONES

Una aproximación para determinar las diferentes arquitecturas de comunicaciones es aplicando los llamados principios de nodo maestro único (single master) y multinodos maestros (multimaster). La técnica de control en el llamado nodo maestro único, el nodo maestro contactará secuencialmente a todos los nodos esclavos y les consultará la información deseada y/o les proporcionará información que requieran. En la arquitectura de comunicación de multimaestro, cualquier

nodo puede comunicarse en cualquier momento. En cualquier momento que un nodo tenga cierta información lista para comunicarla, tratará de transmitirla a través de la red. Por supuesto debe de instalarse un esquema de arbitraje para evitar problemas de colisiones, en los momentos que varios nodos traten de acceder el medio de comunicación simultáneamente. El último principio corresponde a una arquitectura de eventos manejados por intercambio de variables, mientras que el primero corresponde a una técnica cíclica, de intercambio de variables más determinística. Ambas técnicas proporcionan diferentes ventajas. El procedimiento cíclico proporciona básicamente una aproximación de transferencia de mensajes determinística, pero requiere ancho de banda adicional para comunicación para solicitar la información requerida. La técnica manejada por eventos de la arquitectura multinodos maestros no requieren de la solicitud de información adicional, pero los tiempos latentes que los mensajes duran para ser transferidos varían, dependiendo de la situación de carga de la red y de qué tantos nodos estén en la cola para la transmisión de mensajes pendientes. Deben tomarse medidas para programar quién tiene prioridad de transmisión en caso de existir más de un mensaje en espera de ser transferido.

Todos los comentarios, realizados párrafos arriba, definen las características, el comportamiento y el desempeño de un protocolo de comunicaciones dadas las restricciones por un perfil de aplicación de las comunicaciones dado.

### **3.4 EL CAN Y OTROS PROTOCOLOS (DE BUS) AUTOMOTRICES.**

Los factores que condujeron al desarrollo del CAN y otros protocolos de bus automotrices ("autobus protocols") fueron las necesidades en la industria automotriz de buscar nuevas soluciones para satisfacer las crecientes necesidades de comunicación en los automóviles teniendo en cuenta los impedimentos para reducir los problemas dada la desafiante complejidad del arnés del automóvil. El cableado en un carro puede tener más de 2000 m. de longitud, pesar más de 100 kg. y es difícil de instalar. Algunos automóviles de tamaño mediano requieren más de 600 tipos diferentes de cables para el arnés, en un solo modelo, poniendo demasiada presión en cuanto a la logística para cumplir los tiempos, además de representar un obstáculo para la reducción de costos. Desde la década de los 80 casi todas las compañías importantes que se encontraban envueltas en el negocio automotriz comenzaron a investigar y a desarrollar esfuerzos para especificar un protocolo de comunicaciones. Un área de aplicación es la llamada "Clase C" (que se explicará más adelante), enfocándose en la comunicación entre controladores de tiempo real demasiado críticos tales como los controladores del motor, el controlador de la caja de cambios, controlador de los frenos, controlador de estabilidad, etc.

Otra área de aplicación es la relacionada a la "clase A" y que comprende el control de espejos, ventanas, seguros de las puertas, posición de los asientos, aire acondicionado, luces, etc. Esta área es menos crítica en cuanto a tiempo de respuesta y requiere menos carga de comunicación, pero es muy sensible.

Como resultado de estas diferentes clases de requisitos se han desarrollado varios protocolos (de bus) automotrices (CAN, VAN, J1850, ABUS, CCD, etc.).

Desde 1994/95 el CAN ha sido el protocolo más aceptado para aplicaciones automotrices.

Desde principios de los 90, el CAN se ha convertido en una realidad en aplicaciones automotrices así como para el diseño en el control industrial. Esto es debido a su alto desempeño y bajo costo, así como la facilidad de encontrarlo en el mercado hablando en cuanto a proveedores/fabricantes de semiconductores.

El CAN fue aplicado por primera ocasión en los automóviles Mercedes Clase S, salidos al mercado en 1992, proporcionando una red de alta velocidad para la comunicación entre el controlador de motor, la caja de cambios y el tablero; también utilizaba una red de baja velocidad para el control distribuido del aire acondicionado. BMW, Porsche, Jaguar, entre otras, aplicaron el CAN poco tiempo después. Mientras tanto Volkswagen, Fiat, Renault, PSA y otras también decidieron aplicar el CAN.

En la actualidad el CAN se ha implantado dentro de otras áreas relacionadas con los vehículos y el control industrial, tales como:

- Vehículos con comunicación CAN:  
Carros de pasajeros, Camiones, Aviones, Trenes, Botes, Máquinas Agrícolas, Excavadoras, Máquinas Pavimentadoras, etc.
- Control Industrial con comunicación CAN:  
Controladores Lógicos Programables (PLC), Control de Robots, Control Inteligente de Motores, Entradas/Salidas Inteligentes de sensores y actuadores, Hidráulica, Sensores/Contadores Inteligentes para diversas aplicaciones como Consumo de Agua, Consumo de Potencia Eléctrica, etc., Industria Textil, Industria Médica, Automatización de Laboratorios, Edificios, Elevadores, Máquinas Expendedoras/Parlantes, Juguetes, Herramientas Mecánicas, etc.

### 3.5 ESTÁNDARES DE MULTIPLEXAJE

Al inicio de las redes de comunicación estas hacían uso de buses seriales exclusivos de las compañías que instalaban dichas redes a través de UART's genéricos (Transmisores/Receptores Asíncronos Universales) o dispositivos con adecuaciones, sin embargo, en la actualidad cada vez más empresas manufactureras recurren a proveedores externos. Los protocolos exclusivos representan muchas dificultades para los proveedores, ya que necesitan realizar diseños especiales de los sistemas para adecuarse a los diferentes protocolos. Los protocolos estándar permiten que los módulos de diferentes proveedores se conecten de manera sencilla creando un tipo de "arquitectura abierta". Las arquitecturas abiertas permiten diagnósticos estandarizados que permiten a los proveedores obtener beneficios económicos con la producción masiva de dispositivos que manejen protocolos estándar.

## **Clasificación SAE**

Para clasificar los diferentes estándares, La SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) ha definido tres categorías básicas para las redes de comunicación dentro de los vehículos basadas en la velocidad de la red y sus funciones.

### **Clase A**

Baja Velocidad (<10 Kbits/s)  
Características de Conveniencia (audio, computadora de viaje, etc.)

### **Clase B**

Velocidad Media (10 Kbits/s hasta 125 Kbits/s)  
Transferencia de Información General (conexiones de instrumentos, velocidad del vehículo, etc.)

### **Clase C**

Alta Velocidad (125 Kbits/s hasta 1Mbits/s o mayor)  
Control de Tiempo Real (control de la potencia, dinámica del vehículo, frenos, etc.)

En una red CAN (Clase C) de alta velocidad el tiempo de llegada es mucho menor que para un protocolo clase B. Este tiempo de llegada, conocido como latencia, es crítico para la seguridad y control en los sistemas de tiempo real, ya que cualquier retardo en la comunicación puede resultar desastroso.

#### **Multiplexaje en Redes Clase A**

La mayor parte de las funciones que hacen uso de clase A requieren comunicación de baja velocidad y de bajo costo y típicamente utilizan UART's genéricos.

#### **Multiplexaje en Redes Clase B**

El protocolo J1850 se ha adoptado como estándar para las redes clase B. En la actualidad el J1850 se esta implantando en la producción de muchos vehículos para compartir datos y con propósitos de diagnostico entre los sistemas.

#### **Multiplexaje en Redes Clase C**

El protocolo clase C predominante es el CAN. Las redes CAN en vehículos automotores consisten en nodos de red independientes que llevan a cabo funciones distribuidas las cuales son altamente interdependientes.

## CAPITULO 4

### VISION GENERAL DEL CAN

#### 4.1 PRELIMINARES

El sistema CAN (Controller Area Network) es un bus de difusión compartido que trabaja a velocidades de hasta 1 Mbps y esta basado en un protocolo con el mismo nombre (protocolo CAN); el cual es un protocolo de comunicaciones serial que soporta eficientemente control distribuido en tiempo real con un alto nivel de seguridad y funciona enviando mensajes (paquetes o tramas) de longitud variable, la interfaz entre el bus CAN y la unidad central de procesamiento (CPU) es llamada controlador CAN.

El CAN también ha sido llamado red multiemisora (multicast), red de difusión (broadcast) o red punto a punto. La figura 4-A ilustra como cada nodo CAN se interconecta con el bus lineal. Los sistemas CAN son puestos en operación mediante una conexión Half-Duplex *-Un nodo transmite y todos los demás nodos reciben-*. De tal forma, cualquier nodo puede iniciar una transmisión en cualquier momento. Esto contrasta con las configuraciones tipo *estrella, anillo o master-slave*.

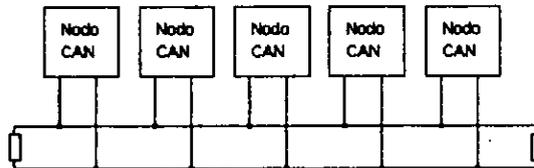


Fig. 4-A La topología de derivación múltiple del CAN permite fácil acceso de entrada y fácil acceso de salida del bus.

CAN soporta un modelo donde los datos y no su origen son lo importante. A diferencia de otras redes; el CAN no maneja el concepto de direcciones de nodo, y ninguna dirección de nodo se encuentra asociada con ningún mensaje.

En vez de eso los mensajes tienen identificadores y prioridades. Cualquier nodo puede producir o utilizar información. Cualquier nodo del bus CAN es capaz de transmitir o recibir cualquier mensaje. Ciertos mensajes son producidos normalmente por ciertos nodos y otros nodos son los que hacen uso de dichos mensajes *-la fuente o el destino de un mensaje es irrelevante-*.

Cada mensaje tiene un identificador único, que a su vez funciona como prioridad del mensaje. Un bit diferencia una trama de datos de una trama de solicitud de transmisión remota (RTR=Remote Transmission Request).

Ya que cualquier nodo puede recibir cualquier trama, los controladores CAN activan una máscara de aceptación. La máscara de aceptación oculta los mensajes no requeridos, esto evita que el controlador CAN genere una interrupción en el procesador central cada vez que se envía un mensaje.

El esquema de arbitraje de mensajes del CAN requiere que haya nodos para la observación (monitoreo) del bus mientras se esta transmitiendo. Para que un nodo pueda transmitir un mensaje que pudiese ser recibido por él mismo, éste debe de contar con un buffer (memoria remota o intermedia) de recepción libre. (p.e. El identificador de mensajes pasa la máscara de aceptación del nodo transmisor)

Se requiere de un buffer de recepción libre porque, cuando un nodo inicia una transmisión, este no sabe si su transmisión tendrá preferencia sobre un mensaje de más alta prioridad. El hardware del CAN cuenta con múltiples buffers de recepción (mínimo dos) para permitir a un mensaje ser transmitido antes de que un mensaje recibido sea leído del buffer. El CAN especifica una tasa máxima de datos de 1 Mbps, pero no especifica un número máximo de nodos. La máxima tasa de datos permitida y el máximo número de nodos están determinados por las capacidades del soporte físico. La violación del protocolo y la detección del error cíclico de redundancia (CRC: Cyclic Redundance Control) están integrados dentro del hardware del controlador CAN.

Es importante notar que el protocolo CAN no especifica su soporte físico (p.e. las conexiones eléctricas o los niveles de señal requeridos para transmitir información de un nodo a otro). El CAN solo requiere que el soporte físico tenga la habilidad de generar bits dominantes y recesivos.

Un bit dominante es capaz de ser sobrescrito sobre un bit recesivo cuando ambos son transmitidos simultáneamente por diferentes nodos. Una manera común de llevar a cabo el esquema de "*Bit Dominante-Recesivo*" es haciendo uso de una "OR en colector abierto" (ver fig.4-B). Cualquier nodo que este transmitiendo un bit dominante conecta el bus a tierra por lo tanto los bits transmitidos por nodos recesivos son rechazados.

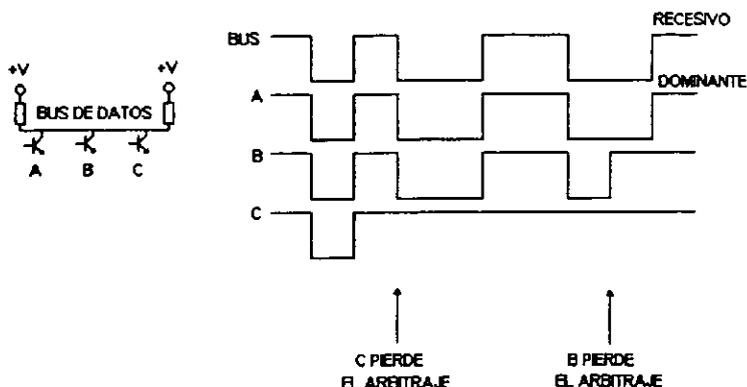


Fig. 4-B. El arbitraje de bits dominante-recesivo del CAN garantiza que no haya pérdida de tiempo o datos en un evento donde se presente colisión por acceso al bus.

Existen diferentes métodos para llevar a cabo la configuración dominante-recesivo en el hardware. Esta configuración es requerida para poner en operación el arbitraje de prioridad de los mensajes del CAN. Para distancias cortas y tasas de bits bajas una "OR en colector abierto" es suficiente.

#### 4.2 CAN Estandar y CAN Extendido

El protocolo CAN existe en dos versiones: CAN 1.0 y CAN 2.0. La versión 2.0 acepta completamente lo estipulado en la versión 1.0, y la mayoría de los nuevos controladores hacen uso de la 2.0. La versión CAN 2.0 consta de dos partes: parte A y parte B.

Con CAN 1.0 y CAN 2.0A, los identificadores sólo pueden ser de 11 bits (identificadores estandar).

Con CAN 2.0B los identificadores pueden ser de 11 bits (identificadores estandar) o de 29 bits (identificadores extendidos).

Para que un controlador funcione de acuerdo a la versión CAN 2.0 puede ser:

- pasivo (en cuanto a la versión 2.0 parte B),
- o activo (en cuanto a la versión 2.0 parte B).

Lo anterior se refiere a que:

Si es pasivo, entonces deberá de ignorar las tramas extendidas (los controladores con la versión CAN 1.0 generarán tramas de error cuando detecten tramas con identificadores de 29 bits), y si es activo, entonces permitirá que las tramas extendidas puedan ser transmitidas y recibidas.

Existen algunas reglas de compatibilidad para el envío y recepción de los dos tipos de tramas:

- Los controladores activos para la versión CAN 2.0B pueden enviar y recibir los dos tipos de tramas, ya sean estandard o extendidas.
- Los controladores pasivos para la versión CAN 2.0B pueden enviar y recibir tramas estandard y descartar las tramas extendidas sin causar errores.
- Los controladores versión CAN 1.0 generarán errores cuando detectan tramas extendidas.

Debido a esto, en una red donde exista por lo menos un controlador CAN 1.0 en la red, esta no podrá funcionar con tramas extendidas; y todos los controladores deberán enviar sus mensajes haciendo uso de tramas estandard.

### 4.3 ARQUITECTURAS CAN

#### Arquitecturas de controladores

La arquitectura de los controladores no se encuentra explicada por el estandard CAN, y debido a eso existen variaciones en cuanto a su uso. Existen, sin embargo, dos aproximaciones generales: BasicCAN y FullCAN; los cuales difieren en la manera que los buffers manejan los mensajes. Es muy importante mencionar que BasicCAN y FullCAN no deben de ser confundidas con CAN 1.0 y CAN 2.0, ni tampoco con identificadores estandard e identificadores extendidos.

En un controlador BasicCAN la arquitectura es similar a una UART simple, con la excepción de que en lugar de caracteres se envían tramas completas: Típicamente cuenta con un solo buffer transmisor y un buffer receptor doble. El CPU coloca una trama en el buffer transmisor, y hace una interrupción cuando la trama es enviada; el CPU recibe una trama en el buffer receptor, hace una interrupción y vacía el buffer (antes de que una trama subsecuente sea recibida). El CPU debe hacerse cargo de la transmisión y la recepción, así como manejar el almacenado de las tramas.

En un controlador FullCAN las tramas son almacenadas en el controlador. Solo un número limitado de tramas puede ser manejado (típicamente 16); ya que puede haber muchas tramas más en la red, cada buffer es etiquetado con el identificador de la trama indicada al buffer. El CPU puede actualizar una trama en el buffer y marcarla para ser transmitida; los buffers pueden ser examinados para ver si una trama con un identificador de sincronización ha sido recibido.

La intención del diseño FullCAN es proporcionar un conjunto de "variables compartidas" en la red; periódicamente el CPU actualiza las variables, es decir el contenido de las tramas en los buffers; el CPU también puede examinar las variables. En la práctica, las cosas no son así de simples debido a la concurrencia de dificultades: mientras se lee un conjunto de bytes de una trama, el controlador puede sobrescribir los datos con el contenido de una nueva trama, y en muchos controladores esto es señalizado sólo mediante una bandera de status.

## **Arquitectura estructurada del CAN de acuerdo al modelo de referencia OSI**

Para alcanzar transparencia en el diseño y flexibilidad en la implantación el CAN ha sido subdividido en diferentes niveles o plataformas de acuerdo al modelo de referencia ISO/OSI:

- El Nivel de Enlace de Datos
  - El Subnivel de Control de Enlace Lógico (LLC: logical link control)
  - El Subnivel de Control de Acceso al Medio (MAC: media access control)
- El Nivel Físico

Esta subdivisión es el punto de partida de la versión 2.0B. En versiones previas (versión 2.0A y anteriores) de la especificación del CAN los servicios y funciones de los subniveles LLC y MAC del Nivel de Enlace de Datos ha sido descrito en niveles denotados como "Nivel de Objeto" y "Nivel de Transferencia". El alcance del Subnivel LLC es:

- Proporcionar servicios para la transferencia de datos y para la solicitud remota de datos,
- Decidir qué mensajes recibidos por el subnivel LLC deben ser realmente aceptados,
- Proporcionar medios para el manejo de recuperación y notificaciones de sobrecarga.

Existe mucha libertad para definir el manejo de objetos. El alcance del Subnivel MAC es principalmente el protocolo de transferencia, es decir; control del entramado, desempeño del arbitraje, chequeo de errores, señalización de errores y restricción de errores. Dentro del Subnivel MAC se decide si el bus se encuentra libre para empezar una nueva transmisión o si una recepción se encuentra iniciando. También algunas características generales de la temporización de bits son consideradas como parte del Subnivel MAC. Es parte de la naturaleza del Subnivel MAC que no haya libertad para modificaciones.

El alcance del Nivel Físico es la transferencia real de bits entre diferentes nodos con respecto a todas las propiedades eléctricas. Dentro de una red el Nivel Físico, por supuesto, tiene que ser el mismo para todos los nodos. Pero de cualquier manera debe haber mucha libertad para seleccionar el nivel físico.

**Resumiendo:**

-El nivel físico define la manera en que las señales son transmitidas y por lo tanto se encarga de definir la temporización de bits, la codificación de bits y la sincronización.

-El Subnivel MAC representa el kernel del protocolo CAN. Este presenta mensajes recibidos desde el subnivel LLC y acepta mensajes para ser transmitidos al subnivel LLC. El subnivel MAC es responsable del entramado de mensajes, del arbitraje, del reconocimiento, y de la detección y señalización de errores. El

subnivel MAC se encuentra supervisado por una entidad administradora llamada restricción de fallas que es un mecanismo de auto-comprobación encargada de distinguir entre perturbaciones cortas y fallas permanentes.

-El subnivel LLC maneja lo concerniente al filtrado de mensajes, la notificación de sobrecarga y manejo de recuperación.

#### 4.4 VERSION CAN 2.0 B

El CAN cuenta con las siguientes características:

- Priorización de Mensajes.
- Garantía de Tiempos Latentes.
- Flexibilidad en la Configuración.
- Recepción de Múltiples Emisores (multicast reception) con sincronización de tiempo.
- Sistema de Amplia Consistencia de Datos.
- Múltiples Nodos Maestros (multimaster).
- Detección y Señalización de Errores.
- Retransmisión Automática de Mensajes Incorrectos tan pronto el Bus este inactivo.
- Distinción entre errores temporales y fallas permanentes de los nodos y desconexión autónoma de nodos defectuosos.

#### Mensajes

La información a través del bus es mandada en mensajes con formato ajustado de longitud diferente pero limitada. Cuando el bus se encuentra libre cualquier unidad conectada puede empezar a transmitir un nuevo mensaje.

#### Ruteo de Información

En los sistemas CAN un nodo CAN no hace uso de ninguna información concerniente a la configuración del sistema, por ejemplo de las direcciones de estación. Esto conlleva varias consecuencias importantes;

- Flexibilidad del Sistema: Se pueden añadir nodos a la red CAN, sin que se requiera ningún cambio en el software o hardware de cualquier nodo o nivel de aplicación.
- Ruteo de Mensajes: El contenido de un mensaje es etiquetado por un IDENTIFICADOR, El IDENTIFICADOR no indica el destino del mensaje, pero describe el significado de los datos, por eso todos los nodos de la red son capaces de decidir, mediante el filtrado de mensajes si los datos están referidos a ellos o no.
- Múltiples Emisores (multicast): Como consecuencia del concepto de Filtrado de Mensajes, cualquier cantidad de nodos pueden, de manera simultánea, recibir y actuar en referencia al mismo mensaje.

- **Consistencia de los Datos:** Dentro de una red CAN se garantiza que un mensaje sea simultáneamente aceptado por todos los nodos, o bien, por ninguno. Esta consistencia de los datos de un sistema es lograda mediante los conceptos de múltiples emisores y por el manejo de errores.

### **Tasa de bits**

La velocidad del CAN puede ser diferente en sistemas diferentes. De cualquier forma, en cualquier sistema dado la tasa de bits es uniforme y esta ajustada.

### **Prioridades**

El *identificador* define la prioridad de mensaje estático durante el acceso al bus.

### **Solicitud remota de datos**

Mediante el envío de una TRAMA REMOTA un nodo que requiera cierta información puede solicitar a otro nodo el envío de la TRAMA DE DATOS correspondiente. La TRAMA DE DATOS y la TRAMA REMOTA correspondiente son etiquetadas por el mismo identificador.

### **Múltiples nodos maestros (multimaster)**

Cuando el bus se encuentra libre cualquier unidad puede iniciar la transmisión de un mensaje. La unidad que tenga el mensaje con mayor prioridad de transmisión ganará el acceso al bus.

### **Arbitraje**

En cualquier momento que el bus este libre, cualquier unidad puede iniciar una transmisión de mensaje. Si dos o más unidades inician una transmisión de mensajes al mismo tiempo, el conflicto por acceso al bus será resuelto mediante el arbitraje de importancia de bits (bitwise) usando el IDENTIFICADOR. El mecanismo de arbitraje evita que existan pérdidas tanto de tiempo como de información. Si una TRAMA DE DATOS y una TRAMA REMOTA con el mismo identificador son iniciadas al mismo tiempo, la TRAMA DE DATOS prevalece sobre la TRAMA REMOTA. Durante el proceso de arbitraje cualquier transmisor compara el nivel del bit transmitido con el nivel del bit monitoreado en el bus. Si estos niveles son iguales la unidad puede seguir enviando. Cuando un nivel "recesivo" es enviado un nivel "dominante" es monitoreado, la unidad ha perdido el arbitraje y debe detenerse sin enviar un solo bit más.

### **Seguridad**

Con la finalidad de lograr la mayor seguridad en la transferencia de datos, se implantan poderosas medidas en cada uno de los nodos CAN para detección, señalización y auto-comprobación de errores;

- **Detección de Errores:** Se deben tomar las siguientes medidas para detección de errores;
  - **Monitoreo** (los transmisores compararan los niveles de bit a ser transmitidos con los niveles de bit detectados en el bus).
  - **Chequeo de Redundancia Cíclica.**
  - **Llenado de Bits.**
  - **Chequeo de Trama de Mensaje.**
- **Desempeño de la Detección de Errores;**

Los mecanismos para detección de errores tienen las siguientes propiedades:

- Todos los errores globales son detectados.
- Todos los errores locales en los transmisores son detectados.
- Hasta 5 errores distribuidos aleatoriamente en un mensaje son detectados.
- Errores de Desconexión (apertura súbita) menores a 15 pulgadas son detectados.
- Errores de cualquier numero impar en un mensaje son detectados.

La probabilidad de error residual total para mensajes incorrectos no detectados es menor a:

$$\text{tasa de error de mensaje} * 4.7E-11$$

### **Señalización de error y tiempo de recuperación**

Los mensajes incorrectos llevan una bandera colocada por cualquier nodo detector del error. Dichos mensajes son abortados y serán retransmitidos automáticamente. El tiempo de recuperación desde la detección de un error hasta el inicio del siguiente mensaje es cuando mucho 31 ocurrencias de bit, si es que no hay un error posterior.

### **Restricción de fallas**

Los nodos CAN son capaces de distinguir entre perturbaciones cortas y fallas permanentes. Los nodos defectuosos son desconectados.

### **Conexiones**

El enlace de comunicación serial del CAN es un bus al cual pueden ser conectados cierta cantidad de unidades. Esta cantidad no tiene un límite teórico. Prácticamente el número total de unidades estará limitada por los tiempos de retardo y/o por las cargas eléctricas en la línea del bus.

### **Canal sencillo**

El bus consiste de un canal sencillo que acarrea bits. Debido a esta resincronización de datos la información puede ser derivada. El medio en el que

es implantado este canal no se define en este capítulo. (Es decir un cable sencillo (más tierra), dos cables diferenciales, fibra óptica, etc.)

### Valores del bus

El bus puede tener uno de dos valores lógicos complementarios: "dominante" o "recesivo". Durante la transmisión simultánea de bits "dominantes" y "recesivos", el valor resultante en el bus será "dominante". Por ejemplo, en caso de tener una conexión tipo AND del bus, el nivel "dominante" se representaría por un "0" lógico y el nivel "recesivo" por un "1" lógico. Los estados físicos (es decir voltaje, luz) que representan los niveles lógicos no se proporcionan en este capítulo.

### Reconocimiento

Todos los receptores comprueban la consistencia del mensaje que esta siendo recibido y reconocerán un mensaje consistente y pondrán una bandera en los mensajes inconsistentes.

### Modo dormido (sleep)/despierto (wake-up)

Para reducir el consumo de potencia del sistema, un dispositivo CAN puede ponerse en el modo de "dormido" el cual no tiene actividad interna y con los manejadores de bus desconectados. El modo de "dormido" se termina con el modo de "despierto" el cual es debido a cualquier actividad en el bus o por condiciones internas del sistema. En el modo de despierto, la actividad interna es reiniciada, aunque el subnivel MAC esperará a la estabilización del oscilador del sistema y entonces esperará hasta que se haya sincronizado a sí mismo con la actividad del bus (mediante el chequeo de la presencia de 11 bits "recesivos" continuos), antes de que los manejadores del bus sean puestos en un estado de "bus-encendido" nuevamente.

## 4.5 TRANSFERENCIA DE MENSAJES

### Formatos de tramas

Existen dos formatos diferentes los cuales se diferencian en la longitud del campo IDENTIFICADOR: tramas con un numero de 11 bits en el identificador son denominadas TRAMAS ESTANDARD. En contraste, las tramas que contienen 29 bits en el identificador son denominadas TRAMAS EXTENDIDAS.

### Tipos de tramas

La transferencia de mensajes se manifiesta y es controlada por cuatro diferentes tipos de tramas:

- Una TRAMA DE DATOS acarrea datos desde un transmisor hasta los receptores.

- Una TRAMA REMOTA es transmitida por una unidad de bus para solicitar la transmisión de una TRAMA DE DATOS con el mismo IDENTIFICADOR.
- Una TRAMA DE ERROR es transmitida por cualquier unidad que detecte un error en el bus.
- Una TRAMA DE SOBRECARGA se usa para proporcionar un retardo extra entre las TRAMAS DE DATOS o REMOTAS previas y las posteriores.

Las TRAMAS DE DATOS y las TRAMAS REMOTAS pueden usarse tanto en el formato de TRAMA ESTANDAR como en el formato de TRAMA EXTENDIDA; las cuales se encuentran separadas de las tramas previas por un ESPACIO INTERTRAMA.

### Trama de datos

Una TRAMA DE DATOS esta compuesta por siete diferentes campos de bits: INICIO DE TRAMA, CAMPO DE ARBITRAJE, CAMPO DE CONTROL, CAMPO DE DATOS, CAMPO CRC, CAMPO ACK y FIN DE TRAMA. El CAMPO DE DATOS puede ser de longitud cero.

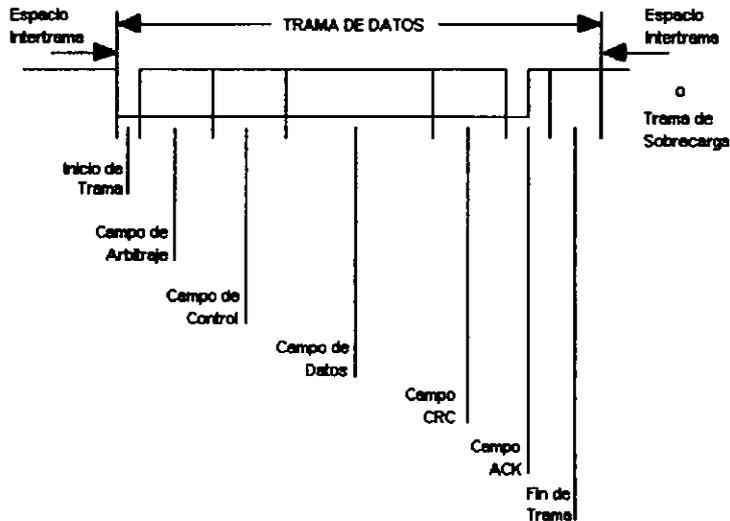


Fig.4-1 INICIO DE TRAMA (Tanto en FORMATO ESTANDAR como en FORMATO EXTENDIDO)

El INICIO DE TRAMA (SOF) marca el inicio de las TRAMAS DE DATOS y de las TRAMAS REMOTAS. Este consiste de un simple bit "dominante". Una estación puede iniciar una transmisión solamente si el bus se encuentra inactivo. Todas las estaciones se tienen que sincronizar con el extremo líder ocasionado por el INICIO DE TRAMA de la estación que originalmente inició la transmisión.

**CAMPO DE ARBITRAJE** (Es diferente para el **FORMATO ESTANDARD** y para el **FORMATO EXTENDIDO**).

- En el formato estandard el campo de arbitraje consiste en un identificador de 11 bits y un bit-RTR. Los bits identificadores se denotan por ID-28... ID-18
- En el formato extendido el campo de arbitraje consiste en un identificador de 29 bits, un bit-SRR, el bit-IDE y el bit-RTR. Los bits identificadores son denotados por ID-28... ID-0.

Con la finalidad de distinguir entre los formatos estandard y extendidos el bit reservado r1 en especificaciones previas del CAN (versiones 1.0-1.2) ahora es denotado como bit-IDE.

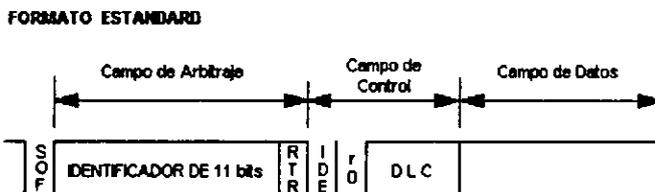


Fig.4-2

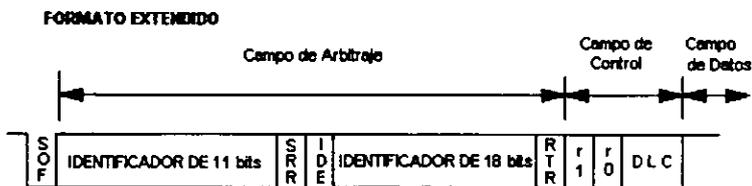


Fig.4-3

### Identificador

Para formato estandard, la longitud del identificador es de 11 bits y corresponde al ID BASE en el formato extendido. Estos bits son transmitidos en orden desde el ID-28 hasta el ID-18. El bit menos significativo es ID-18. Los 7 bits más significativos (ID-28 - ID-22) no pueden ser todos "recesivos". En contraste al

formato estandard, el formato extendido consiste de 29 bits. Este formato comprende dos secciones:

ID BASE con 11 bits y él  
ID EXTENDIDO con 18 bits

El ID BASE consiste de 11 bits. Este es transmitido en forma ordenada desde ID-28 hasta ID-18. Este es equivalente al formato del identificador estandard. El ID BASE define la prioridad base (básica) de la trama extendida.

El ID EXTENDIDO consiste de 18 bits y es transmitido en forma ordenada desde ID-17 hasta ID-0. En la trama estandard el IDENTIFICADOR es seguido por el bit RTR

**BIT RTR (Tanto en FORMATO ESTANDARD como en FORMATO EXTENDIDO)**  
BIT de solicitud de transmisión remota. En las TRAMAS DE DATOS el bit RTR tiene que ser "dominante". Dentro de una TRAMA REMOTA el bit-RTR tiene que ser "recesivo". En una trama extendida el ID BASE es transmitido primero, seguido por el bit-IDE y el bit-SRR. El ID EXTENDIDO es transmitido después del bit-SRR.

**BIT SRR (Formato Extendido)**

BIT de solicitud remota de sustitución. SRR es un bit recesivo. Es transmitido en una trama extendida en la posición del bit-RTR en tramas estándar y así sustituye al bit-RTR en la trama estandard. Por lo tanto las colisiones de una trama estandard y una trama extendida, partiendo de que el ID BASE es el mismo que el identificador de la trama estandard, son resueltas de tal forma que la trama estandard prevalece sobre la trama extendida.

**BIT IDE (Formato Extendido)**

BIT de extensión de identificador.

El BIT IDE pertenece a:

- El CAMPO DE ARBITRAJE para el formato extendido
- El CAMPO DE CONTROL para el formato estandard

El BIT IDE en el formato estandard es transmitido como "dominante", y en el formato extendido el bit IDE es recesivo.

**CAMPO DE CONTROL (Tanto en FORMATO ESTANDARD como en FORMATO EXTENDIDO).**

El CAMPO DE CONTROL consiste de 6 bits. El formato del CAMPO DE CONTROL es diferente para el formato estandard y para el formato extendido. Las tramas en el formato estandard incluyen el CODIGO DE LONGITUD DE DATOS, el bit IDE (el cual es transmitido como "dominante") y el bit reservado r0. Las tramas en el formato extendido incluyen el CODIGO DE LONGITUD DE DATOS y

dos bits reservados; r0 y r1. Los bits reservados tienen que ser mandados como "dominantes", pero los receptores aceptan los bits "dominantes" y "recesivos" en todas las combinaciones.

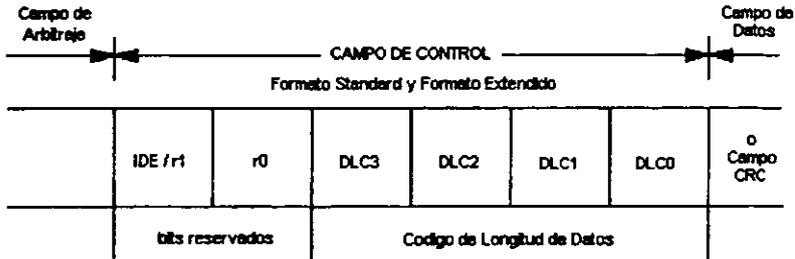


Fig.4-4

**CODIGO DE LONGITUD DE DATOS (Tanto en FORMATO ESTANDARD como en FORMATO EXTENDIDO).**

El número de bytes en el CAMPO DE DATOS se encuentra indicado por el CODIGO DE LONGITUD DE DATOS. Este CODIGO DE LONGITUD DE DATOS tiene una longitud de 4 bits y es transmitido dentro del CAMPO DE CONTROL.

Las abreviaciones para la codificación del número de bytes de datos dado el CODIGO DE LONGITUD DE DATOS son:

Número de bytes de Datos	Código de Longitud de Datos			
	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

**TRAMA DE DATOS:** Número admisible de bytes de datos: {0,1,.....7,8}

Otros valores no son utilizados

**CAMPO DE DATOS (Tanto en FORMATO ESTANDARD como en FORMATO EXTENDIDO)** El CAMPO DE DATOS consiste de los datos que van a ser transferidos dentro de una TRAMA DE DATOS. Este puede contener de 0 a 8 bytes, y cada uno contiene 8 bits los cuales son transferidos partiendo del MSB.

**CAMPO CRC (Tanto en FORMATO ESTANDARD como en FORMATO EXTENDIDO)**

Este campo contiene la SECUENCIA CRC seguida del DELIMITADOR CRC.

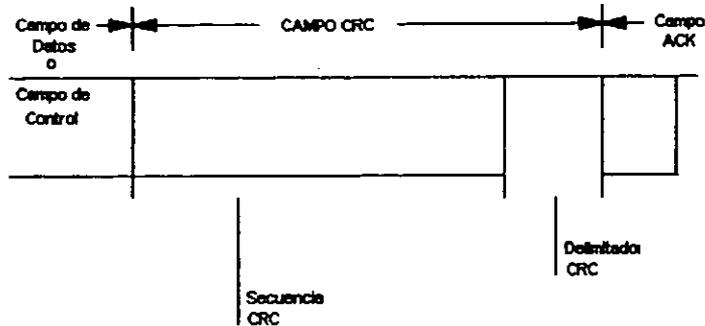


Fig.4-5

**SECUENCIA CRC (Tanto en FORMATO ESTANDARD como en FORMATO EXTENDIDO)** La secuencia de comprobación de trama se deriva del código de redundancia cíclica mas apropiado para las tramas con números de bits menores a 127 (código BCH). Con la finalidad de llevar a cabo el cálculo de CRC el polinomio a ser dividido se definirá como el polinomio, los coeficientes que son proporcionados por la trama de bits de vaciado consisten del INICIO DE TRAMA, del CAMPO DE ARBITRAJE, del CAMPO DE CONTROL, del CAMPO DE DATOS (si se presenta) y para los 15 coeficientes más bajos, por 0. Este polinomio es dividido por el polinomio-generator:

$$X^{15} + X^{14} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^4 + X^3 + 1$$

El residuo de esta división de polinomios es la SECUENCIA CRC transmitida por el bus. Con el fin de implantar esta función, puede ser usado un registro de variación de 15 bits CRC\_RG(14:0). Si NXTBIT denota el bit siguiente de la trama de bits, proporcionado por la secuencia de vaciado de bits desde el INICIO DE TRAMA hasta el final del CAMPO DE DATOS, la SECUENCIA CRC se calcula como sigue:

```

CRC_RG=0; //inicializa el registro de variación
REPEAT
  CRCNXT = NXTBIT EXOR CRC_RG(14);
  CRC_RG(14:1) = CRC_RG(13:0); //variación a la izquierda por
  CRC_RG(0) = 0; //una posición
  IF CRCNXT THEN
    CRC_RG(14:0) = CRC_RG(14:0) EXOR (4599hex);
  ENDIF
UNTIL (CRC SEQUENCE inicie o exista una condición de ERROR)
    
```

Después de la transmisión/recepción del último bit del CAMPO DE DATOS, CRC\_RG contiene la secuencia CRC.

**DELIMITADOR CRC** (Tanto en FORMATO ESTANDAR como en FORMATO EXTENDIDO). La SECUENCIA CRC es seguida por el DELIMITADOR CRC el cual consiste de un bit "recesivo" simple.

**CAMPO ACK** (Tanto en FORMATO ESTANDAR como en FORMATO EXTENDIDO). El CAMPO ACK es de dos bits de longitud y contiene la RANURA(SLOT) ACK y el DELIMITADOR ACK. En el CAMPO ACK la estación transmisora manda dos bits, "recesivos". Un RECEPTOR que ha recibido correctamente un mensaje válido, reporta esto al TRANSMISOR enviando un bit "dominante" durante la RANURA ACK (este envía "ACK").

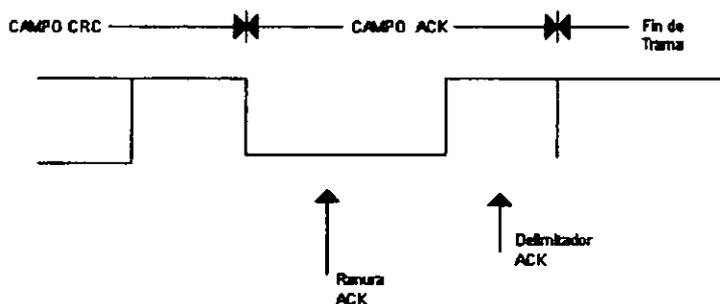


Fig.4-6

### Ranura ACK

Todas las estaciones que hayan recibido la SECUENCIA CRC de acoplamiento lo reportarán dentro de la RANURA ACK mediante la sobrescritura de un bit dominante en el bit "recesivo" del TRANSMISOR.

### Delimitador ACK

El DELIMITADOR ACK es el segundo bit del CAMPO ACK y tiene que ser un bit "recesivo". Como consecuencia de lo anterior, la RANURA ACK esta rodeada de 2 bits "recesivos". (DELIMITADOR CRC y DELIMITADOR ACK).

**FIN DE TRAMA** (Tanto en FORMATO ESTANDAR como en FORMATO EXTENDIDO) Cada TRAMA DE DATOS y cada TRAMA REMOTA están delimitadas por una secuencia bandera que consiste en siete bits "recesivos".

**Trama remota**

Una estación que se encuentra actuando como RECEPTORA para ciertos datos puede iniciar una transmisión de los datos respectivos mediante su nodo fuente enviando una TRAMA REMOTA.

Una TRAMA REMOTA, tanto en el formato estándar como en el formato extendido, en ambos casos se encuentra compuesta de seis diferentes campos de bits:

1. INICIO DE TRAMA
2. CAMPO DE ARBITRAJE
3. CAMPO DE CONTROL
4. CAMPO CRC
5. CAMPO ACK
6. FIN DE TRAMA

Al contrario de las TRAMAS DE DATOS, el bit RTR de las TRAMAS REMOTAS es "recesivo". No tiene un CAMPO DE DATOS, independientemente de los valores del CODIGO DE LONGITUD DE DATOS el cual puede señalar cualquier valor dentro del rango admisible (0... 8). El valor es el CODIGO DE LONGITUD DE DATOS de la TRAMA DE DATOS correspondiente. La polaridad del bit RTR indica si una trama transmitida es una TRAMA DE DATOS (bit RTR dominante) o si es una TRAMA REMOTA (bit RTR recesivo).

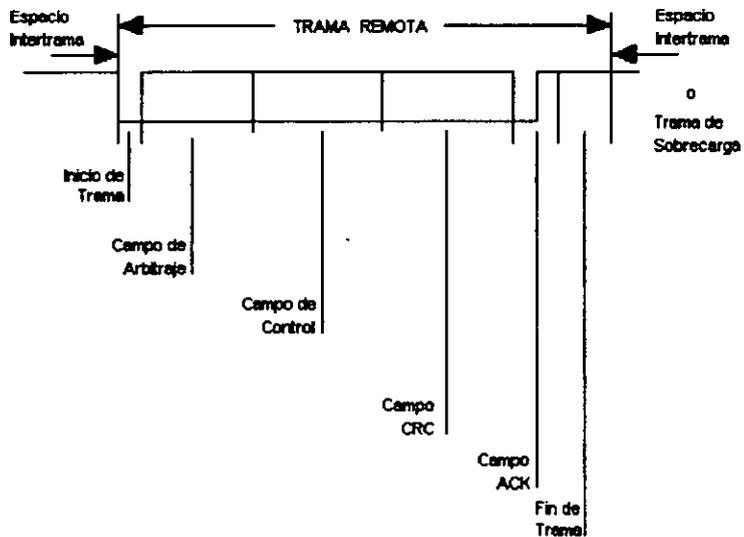


Fig. 4-7

### Trama de error

La TRAMA DE ERROR consiste de dos campos diferentes. El primer campo está dado por la superposición de BANDERAS DE ERROR proporcionadas por diferentes estaciones. El segundo campo es el DELIMITADOR DE ERROR. Con el fin de terminar correctamente una TRAMA DE ERROR, un nodo en "error pasivo" puede necesitar que el bus se encuentre en el estado de "bus inactivo" por lo menos en tres tiempos de ocurrencia de bit (si hay un error local en un receptor en "error pasivo"). Por eso el bus no debe estar cargado al 100%.

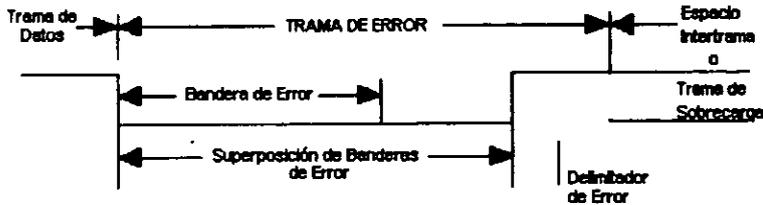


Fig. 4-8

### Bandera de error

Existen 2 formas de BANDERA DE ERROR: Una BANDERA DE ERROR ACTIVO y una BANDERA DE ERROR PASIVO.

- La BANDERA DE ERROR ACTIVO consiste en seis bits dominantes consecutivos.
- La BANDERA DE ERROR PASIVO consiste en seis bits recesivos consecutivos a menos que se sobrescriban en ellos bits dominantes de otros nodos.

Una estación de "error activo" que detecta una condición de error lo señala transmitiendo una BANDERA DE ERROR ACTIVO, la forma de las BANDERAS DE ERROR violan la ley de llenado de bits aplicadas a todos los campos desde el de INICIO DE TRAMA hasta el DELIMITADOR CRC o destruye la forma ajustada del CAMPO ACK o del FIN DE TRAMA. Como consecuencia, todas las demás estaciones detectan una condición de error y por su parte inician la transmisión de una BANDERA DE ERROR. Por lo tanto la secuencia de bits dominantes la cual puede ser monitoreada en el bus nos lleva a una superposición de diferentes BANDERAS DE ERROR transmitidas por estaciones individuales. La longitud total de esta secuencia varía entre un mínimo de seis y un máximo de 12 bits. Una estación de "error pasivo" que detecta una condición de error trata de señalar esto mediante una transmisión de una BANDERA DE ERROR PASIVO. La estación de "error pasivo" espera la llegada de seis bits consecutivos de igual polaridad, empezando al inicio de la BANDERA DE ERROR PASIVO. La BANDERA DE ERROR PASIVO se completa cuando estos seis bits iguales han sido detectados.

**Delimitador de error**

El DELIMITADOR DE ERROR consiste de ocho bits recesivos. Después de la transmisión de una BANDERA DE ERROR cada estación envía bits recesivos y monitorean al bus hasta detectar un bit recesivo. Después de todo eso inician la transmisión de siete bits recesivos más.

**Trama de sobrecarga**

La TRAMA DE SOBRECARGA contiene dos campos de bits; BANDERA DE SOBRECARGA y DELIMITADOR DE SOBRECARGA. Existen dos tipos de condición de sobrecarga, las cuales encabezan la transmisión de una BANDERA DE SOBRECARGA:

1. Las condiciones internas de un receptor, el cual requiere un retraso de las siguientes TRAMA DE DATOS o TRAMA REMOTA.
2. Detección de un bit dominante primero y un bit de INTERMEDIO segundo.
3. Si un nodo CAN muestrea como bit dominante el octavo bit (el último) de un DELIMITADOR DE ERROR o del DELIMITADOR DE SOBRECARGA, este iniciará la transmisión de una TRAMA DE SOBRECARGA (no una TRAMA DE ERROR). Los contadores de error no se incrementarán.

El inicio de una TRAMA DE SOBRECARGA debido a la condición de SOBRECARGA 1 sólo le será permitido iniciar en la primera ocurrencia de bit de un INTERMEDIO esperado, de donde las TRAMAS DE SOBRECARGA debidas a las condiciones de SOBRECARGA 2 y 3 inician un bit después de detectado el bit dominante. Cuando mucho pueden ser generadas dos TRAMAS DE SOBRECARGA para retrasar la siguiente TRAMA DE DATOS o TRAMA REMOTA.

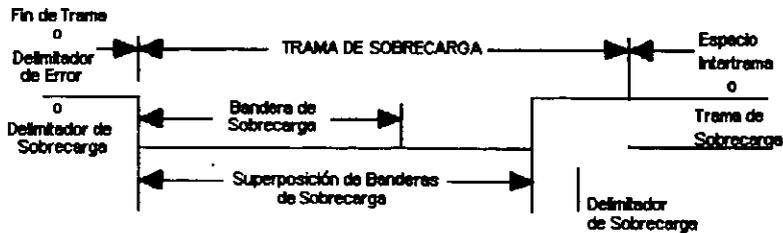


Fig. 4-9

### **Bandera de sobrecarga**

Consiste en seis bits dominantes. La forma completa corresponde a la de la BANDERA DE ERROR ACTIVA. La forma de la BANDERA DE SOBRECARGA destruye la forma ajustada (fixed) del campo de INTERMEDIO. En consecuencia todas las otras estaciones también detectan una condición de SOBRECARGA y por su parte inician la transmisión de una BANDERA DE SOBRECARGA. En caso de que se detecte un bit dominante durante el tercer bit de INTERMEDIO se interpretará (este bit) como un INICIO DE TRAMA.

NOTA: Los controladores basados en la especificación del CAN versiones 1.0 y 1.1 tienen otra interpretación del tercer bit de INTERMEDIO: Si es detectado un bit dominante localmente por un nodo, los otros nodos no interpretarán correctamente la BANDERA DE SOBRECARGA, pero interpretarán el primero de estos seis bits dominantes como INICIO DE TRAMA; el sexto bit dominante violará la regla del llenado de bits causando una condición de error.

### **Delimitador de sobrecarga**

Consiste de ocho bits recesivos. El DELIMITADOR DE SOBRECARGA tiene la misma forma que el DELIMITADOR DE ERROR. Después de la transmisión de una BANDERA DE SOBRECARGA la estación monitorea al bus hasta que detecta una transición de bit dominante a bit recesivo. En este momento todas las estaciones del bus han terminado de mandar sus BANDERAS DE SOBRECARGA y todas las estaciones iniciarán la transmisión de siete bits recesivos más coincidiendo.

### **Espaciamiento Intertramas**

Las TRAMAS DE DATOS y las TRAMAS REMOTAS están separadas de las tramas precedentes cualesquiera que sea su tipo (TRAMA DE DATOS, TRAMA REMOTA, TRAMA DE ERROR, TRAMA DE SOBRECARGA) mediante un campo de bits llamado ESPACIO INTERTRAMA. En contraste, las TRAMAS DE SOBRECARGA y las TRAMAS DE ERROR no se encuentran precedidas por un ESPACIO INTERTRAMA y múltiples TRAMAS DE SOBRECARGA no se encuentran separadas tampoco por un ESPACIO INTERTRAMA.

### Espacio Intertrama

Este contiene los campos de bits de INTERMEDIO y de BUS INACTIVO y, para estaciones en error pasivo, que han sido las TRANSMISORAS del mensaje previo, TRANSMISION SUSPENDIDA. Para estaciones que no son de error pasivo o han sido RECEPTORAS del mensaje previo:



Fig. 4-10

Para estaciones en error pasivo que han sido TRANSMISORAS del mensaje previo:

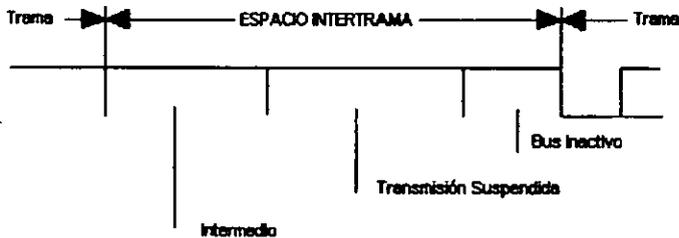


Fig.4-11

### Intermedio

Consiste en tres bits recesivos. Durante la ocurrencia del INTERMEDIO la única acción que se tomará es la señalización de una condición de SOBRECARGA y ninguna estación tiene permitido iniciar activamente una transmisión de una TRAMA DE DATOS o de una TRAMA REMOTA.

**NOTA:** Si un nodo CAN tiene un mensaje en espera para transmisión y este detecta un bit dominante en el tercer bit de INTERMEDIO, este lo interpretará como un bit de INICIO DE TRAMA, y, con el siguiente bit, iniciará transmitiendo su

mensaje con el primer bit de su IDENTIFICADOR sin transmitir primero un bit de INICIO DE TRAMA y sin convertirse en receptor.

### **Bus Inactivo**

El periodo de BUS INACTIVO puede ser de longitud arbitraria. Se reconocerá que el bus esta libre y cualquier estación que tenga algo para transmitir puede acceder al bus. Un mensaje, que se encuentra pendiente para ser transmitido durante la transmisión de otro mensaje, es iniciado en el primer bit que sigue al INTERMEDIO. La detección de un bit dominante en el bus es interpretada como INICIO DE TRAMA.

### **Transmisión suspendida**

Después de que una estación en error pasivo ha transmitido un mensaje, envía ocho bits recesivos siguiendo al INTERMEDIO antes de iniciar una transmisión de un mensaje posterior o del reconocimiento de la inactividad del bus. Si mientras se inicia una transmisión (ocasionada por otra estación) la estación se convertirá en receptora de este mensaje.

### **Conformado con relación a formatos de trama**

El formato estándar es equivalente al formato de trama de datos/remotos tal como se describe en la especificación 1.2 del CAN. En contraste en el formato extendido existe una nueva característica del protocolo CAN. Con la finalidad de permitir el diseño de controladores relativamente simples, la implantación del formato extendido no requiere llegar hasta su completa extensión (p.e. enviar mensajes o aceptar datos de mensajes en formato extendido) donde el formato estándar debe poder ser soportado sin restricción.

Se consideran nuevos controladores para conformarse de acuerdo con su especificación de CAN, si cuentan cuando menos con las siguientes propiedades respecto a los formatos de trama definidos previamente:

- Todo nuevo controlador soporta el formato estándar.
- Todo nuevo controlador puede recibir mensajes del formato extendido.

Esto requiere que las tramas extendidas no sean destruidas debido a su formato.

Esto significa, de cualquier manera, que no se requiere que el formato extendido deba ser soportado por nuevos controladores

### **Definición de Transmisor/Receptor**

#### **Transmisor**

Una unidad que origina un mensaje es llamada "TRANSMISOR" del mensaje. La unidad permanecerá como TRANSMISOR hasta que el bus se encuentre inactivo o la unidad pierda el ARBITRAJE.

## Receptor

Una unidad es llamada "RECEPTOR" de mensaje, si esta no es un TRANSMISOR de ese mensaje o el bus no se encuentra inactivo.

### 4.6 FILTRADO DE MENSAJES

El filtrado de mensajes se basa en la totalidad del identificador. Los registros de máscara opcionales que permiten a un bit de identificador ser puesto en la opción "don't care" para el filtrado de mensajes, puede ser usado para seleccionar grupos de identificadores para ser mapeados en los buffers (memoria intermedia) receptores anexados. Si los registros de máscara son implantados, todos los bits de los registros de máscara deben ser programables, es decir pueden ser habilitados o deshabilitados para el filtrado de mensajes. La longitud del registro de máscara puede contener todo el IDENTIFICADOR o solo una parte de él.

### 4.7 VALIDACION DE MENSAJES

El instante de tiempo en el cual un mensaje es aceptado como válido, es diferente para el transmisor y los receptores del mensaje.

*Transmisor:* El mensaje es válido para el transmisor, si no existe error detectado hasta el final de FIN DE TRAMA. Si un mensaje se encuentra dañado (o es incorrecto), automáticamente se iniciará la retransmisión de acuerdo a la prioridad. Esto con el fin de permitir que el mensaje compita por el acceso al bus con otros mensajes, la retransmisión empezará tan pronto como el bus este inactivo.

*Receptores:* El mensaje es válido en los receptores, si no hay error hasta el penúltimo bit de FIN DE TRAMA. El valor del último bit de FIN DE TRAMA es tratado como un "don't care", un error dominante no conduce a un ERROR DE FORMA.

### 4.8 CODIFICACION

#### Codificación de tren de bits

Los segmentos de trama INICIO DE TRAMA, CAMPO DE ARBITRAJE, CAMPO DE CONTROL, CAMPO DE DATOS y SECUENCIA CRC son codificados por el método de llenado de bits. En cualquier instante que un transmisor detecte cinco bits consecutivos de valor idéntico, en el tren de bits que van ha ser transmitidos, automáticamente inserta un bit complementario en el tren de bits transmitido en ese momento. Los campos de bits restantes de la TRAMA DE DATOS o de la TRAMA REMOTA (DELIMITADOR CRC, CAMPO ACK y FIN DE TRAMA) son de forma ajustada y no codificados mediante el llenado de bits. La TRAMA DE ERROR y la TRAMA DE SOBRECARGA son de forma ajustada también y no codificados por el método de llenado de bits. El tren de bits en un mensaje es codificado de acuerdo al método NRZ (no regreso a cero). Esto significa que durante el tiempo total de transmisión de bits el nivel de bit generado puede ser tanto dominante como recesivo.

## 4.9 MANEJO DE ERRORES

### Detección de errores

Existen 5 tipos de errores (que no son mutuamente exclusivos):

#### - ERROR DE BIT

Una unidad que se encuentra enviando un bit por el bus también lo monitorea. Un ERROR DE BIT es detectado en ese tiempo de ocurrencia de bit, cuando el valor del bit que es monitoreado es diferente del valor de bit que es enviado. Una excepción sería cuando se envía un bit recesivo durante el llenado del tren de bits de un CAMPO DE ARBITRAJE o durante una RANURA ACK. Entonces no ocurrirá un bit de error cuando es monitoreado un bit dominante. Un TRANSMISOR que se encuentre enviando una BANDERA DE ERROR PASIVO y detecte un bit dominante no interpretará éste como un BIT DE ERROR.

#### - ERROR DE LLENADO

Un ERROR DE LLENADO tiene que ser detectado al momento de la ocurrencia de un sexto bit consecutivo con el mismo nivel en un campo de mensaje que debe ser codificado por el método de llenado de bits.

#### - ERROR DE CRC

La secuencia CRC consiste en el resultado del cálculo CRC hecho por el transmisor. Los receptores calcularán CRC de la misma manera que el transmisor. Un ERROR DE CRC será detectado, si el resultado calculado no es el mismo que el recibido en la secuencia CRC.

#### - ERROR DE FORMA

Un ERROR DE FORMA se detectará cuando un campo de bits de forma ajustada contenga uno o más bits ilegales. (Nótese que para un receptor un bit dominante que ocurra en el último bit de FIN DE TRAMA no será tratado como ERROR DE FORMA).

#### - ERROR DE RECONOCIMIENTO

Un ERROR DE RECONOCIMIENTO será detectado por un transmisor en cualquier momento que no detecte un bit dominante durante la RANURA ACK.

### Señalización de errores

Una estación que detecta una condición de error lo señala transmitiendo una BANDERA DE ERROR. Para un nodo en error activo esta será una BANDERA EN ERROR ACTIVO, para un nodo de error pasivo esta será una BANDERA EN ERROR PASIVO. En cualquier momento que se detecten ERROR DE BIT, ERROR DE LLENADO, ERROR DE FORMA o un ERROR DE RECONOCIMIENTO es transmitida, por la estación que lo detecta, una BANDERA DE ERROR a partir del siguiente bit. En cualquier momento que un ERROR CRC es detectado una BANDERA DE ERROR inicia a partir del siguiente bit después del DELIMITADOR DE RECONOCIMIENTO (ACK), a menos que una BANDERA DE ERROR dada otra condición haya sido iniciada.

#### 4.10 RESTRICCIÓN DE FALLAS

Respecto a la restricción de errores una unidad puede estar en uno de los siguientes tres estados:

- error activo
- error pasivo
- bus apagado

Una unidad en error activo puede tomar parte de manera normal en la comunicación del bus y en enviar una BANDERA DE ERROR ACTIVO cuando un error sea detectado.

Una unidad en error pasivo no debe enviar una BANDERA DE ERROR ACTIVO. Esta toma parte en la comunicación del bus, pero cuando un error ha sido detectado solo es enviada una BANDERA DE ERROR PASIVO. También después de una transmisión, una unidad en error pasivo esperará antes de iniciar una transmisión posterior. Una unidad en estado de bus apagado no tiene permitido influir sobre el bus. Para la restricción de fallas son implantados dos contadores en cada unidad del bus:

- 1) CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO
- 2) CONTADOR DE ERROR RECIBIDO

Estos contadores son modificados de acuerdo a las siguientes reglas:  
(Nótese que más de una regla puede aplicarse durante una transferencia de mensaje dada).

1. Cuando un RECEPTOR detecta un error, el CONTADOR DE ERROR RECIBIDO se incrementará en 1, exceptuando cuando el error detectado fuese un ERROR DE BIT durante el envío de una BANDERA DE ERROR ACTIVO o una BANDERA DE SOBRECARGA.

2. Cuando un RECEPTOR detecte un bit dominante como primer bit después de enviada una BANDERA DE ERROR el CONTADOR DE ERROR RECIBIDO se incrementará en 8.

3. Cuando un TRANSMISOR envíe una BANDERA DE ERROR el CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO se incrementará en 8.

Excepción 1: Si el TRANSMISOR está en estado de error pasivo y detecta un ERROR DE RECONOCIMIENTO (ACKNOWLEDGMENT) por no detectar un ACK dominante y no detectar un bit dominante mientras envíe una BANDERA DE ERROR PASIVO.

Excepción 2: Si el TRANSMISOR envía una BANDERA DE ERROR porque un ERROR DE LLENADO ocurrió durante el ARBITRAJE, y debió haber sido recesivo, y fue enviado como recesivo pero monitoreado como dominante. En las excepciones 1 y 2 el CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO no cambia.

4. Si un TRANSMISOR detecta un ERROR DE BIT mientras está enviando una BANDERA DE ERROR ACTIVO o una BANDERA DE SOBRECARGA el CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO es incrementado en 8.

5. Si un RECEPTOR detecta un ERROR DE BIT cuando esta enviando una BANDERA DE ERROR ACTIVA o una BANDERA DE SOBRECARGA el CONTADOR DE ERROR RECIBIDO es incrementado en 8.

6. Cualquier nodo tolera hasta 7 bits dominantes consecutivos después de enviar una BANDERA DE ERROR ACTIVO, una BANDERA DE ERROR PASIVO o una BANDERA DE SOBRECARGA. Después de haber detectado el 14avo bit dominante consecutivo (en el caso de una BANDERA DE ERROR ACTIVO o una BANDERA DE SOBRECARGA) o después de haber detectado el octavo bit dominante consecutivo siguiendo a una BANDERA DE ERROR PASIVO, y después de cada secuencia de ocho bits dominantes consecutivos todos los TRANSMISORES incrementarán el CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO en 8 y cada RECEPTOR incrementará su CONTADOR DE RECEPCION DE ERROR en 8.

7. Después de la transmisión exitosa de un mensaje (consiguiendo un ACK y ningún error hasta que el FIN DE TRAMA haya terminado) el CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO se decrementará en 1 a menos que ya sea 0.

8. Después de la recepción exitosa de un mensaje (recepción sin error en la RANURA ACK y el envío exitoso del bit ACK) el CONTADOR DE ERROR RECIBIDO se decrementará en 1, si este se encuentra entre 1 y 127. Si el CONTADOR DE ERROR RECIBIDO fuese 0, permanecerá en 0, pero si fuera mayor a 127, entonces se ajustara en un valor entre 119 y 127.

9. Un nodo está en error pasivo cuando el CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO sea igual o mayor a 128, o cuando el CONTADOR DE ERROR RECIBIDO es igual o mayor a 128. Una condición de error que induzca a un nodo al estado de error pasivo provocará que el nodo envíe una BANDERA DE ERROR ACTIVO.

10. Un nodo estará en estado de bus apagado cuando el CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO sea mayor o igual a 256.

11. Un nodo estará en error pasivo y se convertirá al estado de error activo de nuevo cuando tanto el CONTADOR DE ERROR TRANSMITIDO y el CONTADOR DE ERROR RECIBIDO sean menores o iguales a 127.

12. Un nodo en el estado de bus apagado puede llegar a estado de error activo (ya no en bus apagado) cuando sus contadores de error estén puestos ambos en 0 después de que 128 ocurrencias de 11 bits recesivos consecutivos hayan sido monitoreadas en el bus.

\*Nota: Un contador de error con valor mayor a 96 indicará que se tiene un bus con muchas perturbaciones. Esto puede ser una ventaja para proporcionar los medios para probar dicha condición.

\*\*Nota: Encendedor (start-up)/Despertador(weak-up) Si durante el encendido (start-up) sólo un nodo se encuentra en línea, y si este nodo transmite algún mensaje, este no será reconocido, detectará un error y repetirá el mensaje. Y dicho nodo puede ponerse en estado de error pasivo pero no en estado de bus apagado debido a esta razón.

#### 4.11 TOLERANCIA DEL OSCILADOR

La tolerancia máxima del oscilador de 1.58% ya esta dada y debido a eso el uso de un resonador cerámico a una velocidad de bus de hasta 125 kb/s es una regla empírica. Para el rango máximo de velocidad del bus del protocolo CAN, se requiere un oscilador de cuarzo. El chip CAN de red con el mas alto requerimiento de precisión del oscilador determinará la precisión de oscilador que será requerida para los demás nodos.

\*Nota: Los controladores CAN que siguen lo dicho por este capítulo y los controladores que siguen las versiones previas 1.0 y 1.1, usados en la misma red, deben estar (todos) equipados con un oscilador de cuarzo. Esto quiere decir que sólo se pueden usar resonadores cerámicos en las redes cuyos nodos (todos) sigan las especificaciones del protocolo CAN en sus versiones 1.2 o posteriores.

#### 4.12 REQUISITOS PARA LA TEMPORIZACION DE BITS

##### Tasa de bits nominal

La tasa de bits nominal es el número de bits por segundo transmitidos en ausencia de resincronización mediante un transmisor ideal.

**Tiempo de bits nominal**

$$\text{TIEMPO DE BITS NOMINAL} = 1 / \text{TASA DE BITS NOMINAL}$$

El tiempo de bits nominal puede entenderse como si fuese dividido en segmentos de tiempo separados sin traslape, estos segmentos son:

- SEGMENTO DE SINCRONIZACION (SYNC\_SEG).
- SEGMENTO DE TIEMPO DE PROPAGACION (PROP\_SEG).
- SEGMENTO1 DE BUFFER DE FASE (PHASE\_SEG1).
- SEGMENTO2 DE BUFFER DE FASE (PHASE\_SEG2).

Y forman el tiempo de bit como se muestra en la figura 4-12.

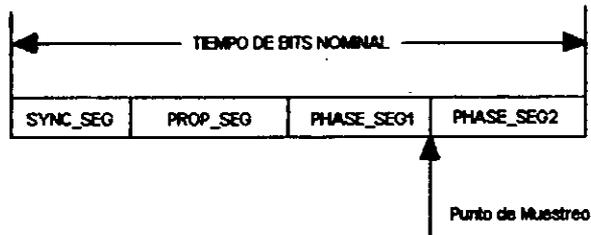


Fig.4-12 Partición de tiempo de bit

**SYNC SEG**

Esta parte del tiempo de bit se usa para sincronizar los varios nodos del bus. Se espera que haya un limite dentro de este segmento.

**PROP SEG**

Esta parte del tiempo de bit se usa para compensar los tiempos de retardo dentro de la red. Y es el doble de la cantidad del tiempo de propagación de la señal en la línea del bus, el retardo del comparador de entrada y el retardo del manejador de salida.

**PHASE SEG1, PHASE SEG 2**

Estos segmentos de buffer de fase son usados para compensar errores de fase límites. Estos segmentos pueden ser alargados o recortados mediante resincronización.

### **Punto de muestreo**

El PUNTO DE MUESTREO es el momento o instante de tiempo en el cual es leído e interpretado el nivel del bus como el valor de ese bit respectivo. Y se localiza al final de PHASE\_SEG1.

### **Tiempo de procesamiento de información**

El TIEMPO DE PROCESAMIENTO DE INFORMACION es el segmento de tiempo que inicia con el punto de muestreo reservado para el cálculo del subsecuente nivel de bit.

### **Quantum de tiempo**

El QUANTUM DE TIEMPO es una unidad de tiempo ajustada que se deriva del periodo del oscilador. Ahí existe un preescalador programable, con valores integrales, que están en el rango que va de por lo menos 1 hasta 32. Iniciando con el QUANTUM DE TIEMPO MINIMO, El QUANTUM DE TIEMPO puede tener una longitud de:

$$\text{QUANTUM DE TIEMPO} = m * \text{QUANTUM DE TIEMPO MINIMO}$$

donde m es el valor del preescalador.

### **Longitud de los segmentos de tiempo**

- SYNC\_SEG tiene una longitud de 1 QUANTUM DE TIEMPO.
- PROP\_SEG se puede programar para tener una longitud de 1,2... 8 QUANTUMS DE TIEMPO.
- PHASE\_SEG1 se puede programar para tener una longitud de 1,2... 8 QUANTUMS DE TIEMPO.
- PHASE\_SEG2 es el máximo de PHASE\_SEG1 y del TIEMPO DE PROCESAMIENTO DE INFORMACION.
- El TIEMPO DE PROCESAMIENTO DE INFORMACION es menor o igual a 2 veces la longitud de un QUANTUM DE TIEMPO.

El número total de QUANTUMS DE TIEMPO en un tiempo de bits tiene que ser programable cuando menos de 8 a 25.

Nota: Es común que las unidades de control no hagan uso de osciladores para el CPU local y su dispositivo de comunicación. Por eso la frecuencia de oscilador de un dispositivo CAN tiende a ser el mismo que el del CPU local y se determina por los requerimientos de la unidad de control. Con la finalidad de obtener la tasa de bits deseada es necesario que la temporización de bits sea programable. En el caso de implantar sistemas CAN que están diseñados para usarse sin un CPU local la temporización de bits no puede ser programable. Por otro lado estos dispositivos permiten escoger un oscilador externo de tal manera que el dispositivo se ajuste a la tasa de bits apropiada de tal manera que la programación no sea

requerida para tales componentes. La posición del punto de muestreo debe ser seleccionada de acuerdo a todos los nodos. Por lo tanto la temporización de bits de dispositivos SLIO debe ser compatible con la siguiente definición de tiempo de bit:

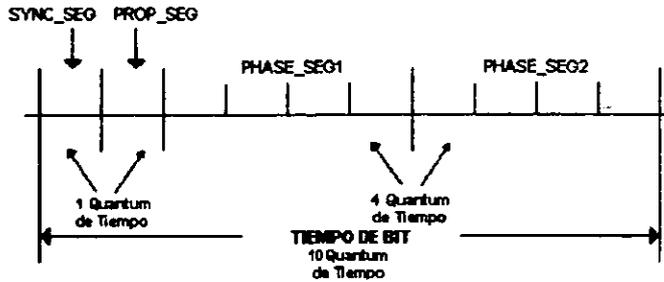


Fig.4-13

### Sincronización dura

Después de una SINCRONIZACION DURA el tiempo de bit interno es reiniciado con SYNC\_SEG. Debido a esta sincronización dura se fuerza al límite que ha causado la SINCRONIZACION DURA a situarse dentro del SEGMENTO DE SINCRONIZACION del tiempo de bit reiniciado.

### Ancho de salto de resincronización

Como resultado de la RESINCRONIZACION el PHASE\_SEG1 puede ser alargado o el PHASE\_SEG2 puede ser acortado. Lo que se obtiene por alargar o acortar los SEGMENTOS DE BUFFER DE FASE tiene un límite superior dado por el ANCHO DE SALTO DE RESINCRONIZACION. El ANCHO DE SALTO DE RESINCRONIZACION debe ser programable entre 1 y min. (4,PHASE\_SEG1). La información temporizada puede ser derivada de transiciones del valor de un bit a otro. La propiedad de que solo un número máximo fijo de bits sucesivos tienen el mismo valor da la posibilidad de resincronizar una unidad de bus con el tren de bits durante una trama. La longitud máxima entre 2 transiciones que puede ser usada para resincronización es 29 tiempos de bit.

### Error de fase de un límite

El ERROR DE FASE DE UN LIMITE esta dado por la posición del límite relativo a SYNC\_SEG, medido en QUANTUMS DE TIEMPO, el signo para el ERROR DE FASE se define como sigue:

- $e = 0$  si el límite se sitúa dentro de SYNC\_SEG.
- $e > 0$  si el límite se sitúa antes del PUNTO DE MUESTREO.
- $e < 0$  si el límite se sitúa después del PUNTO DE MUESTREO del bit previo.

### **Resincronización**

El efecto de una RESINCRONIZACION es el mismo que el de una SINCRONIZACION DURA cuando la magnitud del ERROR DE FASE del limite que causa la RESINCRONIZACION es menor o igual al valor programado del ANCHO DE SALTO DE RESINCRONIZACION. Cuando la magnitud del ERROR DE FASE es mayor que el ANCHO DE SALTO DE RESINCRONIZACION:

- Y si el ERROR DE FASE es positivo, entonces PHASE\_SEG1 es alargado hasta que sea igual al ANCHO DE SALTO DE RESINCRONIZACION.
- Y si el ERROR DE FASE es negativo, entonces PHASE\_SEG2 es acortado hasta que sea igual al ANCHO DE SALTO DE RESINCRONIZACION.

### **Reglas de sincronización**

La SINCRONIZACION DURA y la RESINCRONIZACION son las dos formas de SINCRONIZACION, y obedecen las siguientes reglas:

1. Solo es permitida una SINCRONIZACION en un solo tiempo de bit.
2. Un límite será usado para SINCRONIZACION solo si el valor detectado en el PUNTO DE MUESTREO previo (lectura previa del valor del bus) difiere del valor de bus inmediatamente posterior al límite.
3. Se llevará a cabo SINCRONIZACION DURA en cualquier momento que haya un límite de recesivo a dominante durante el estado de bus inactivo.
4. Todos los otros límites recesivos a dominantes que cumplan las reglas 1 y 2 se usarán para resincronización con excepción de un nodo que este transmitiendo un bit dominante y que no llevará a cabo una RESINCRONIZACION como resultado de un límite de recesivo a dominante con un ERROR DE FASE positivo si solo son usados límites de recesivo a dominante para resincronización.

## CAPITULO 5

### EL CAN EN LOS AUTOMOVILES

#### 5.1 NECESIDAD / SOLUCION

Para satisfacer los deseos por parte de los clientes de mayor seguridad, confort y conveniencia; y para adecuarse a las crecientes demandas de los gobiernos para el mejoramiento en el control de la contaminación y la reducción en el consumo de combustible, la industria automotriz ha tenido que desarrollar una gran cantidad de sistemas electrónicos, como son; Sistemas de Frenos Antibloqueo, Sistemas de Control del Motor, Control de Tracción, Control del Aire Acondicionado, Seguros Eléctricos, Control Eléctrico de Asientos y Espejos son sólo unos ejemplos.

La complejidad de estos sistemas de control, y la necesidad de intercambio de información (datos) entre dichos sistemas significa el empleo de más y más cableado (líneas de señales dedicadas exclusivamente para dicho fin) el cual tiene que ser provisto.

Los sensores tendrían que duplicarse si los parámetros a medirse fueran necesitados por diferentes controladores. Y sin tener en cuenta el costo del cableado para interconectar todos estos componentes, la cantidad de todo el cable haría imposible acomodarla alrededor del vehículo (por ejemplo en paneles de control en las puertas).

Además del costo, el mayor número de conexiones entorpece seriamente la seguridad, el diagnóstico de fallas y la reparación de fallas tanto durante la manufactura como durante el servicio.

La compañía Robert Bosch proporcionó la respuesta a mediados de la década de los ochentas creando el CAN.

Bosch creó el protocolo, que posteriormente fue estandarizado y dio licencias a cierto número de compañías para que diseñaran controladores compatibles y otros dispositivos con el protocolo CAN.

#### 5.2 INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

La industria automotriz esta haciendo un uso extensivo del CAN en modelos de carros que se están desarrollando en la actualidad. Todos las grandes compañías manufactureras de Europa, incluyendo a BMW, Mercedes Benz, PSA, Renault, Fiat, Volvo y Saab, están desarrollando modelos donde el CAN juega un rol muy importante en la conexión de los diferentes componentes electrónicos. Actualmente existen vehículos en venta que ya están haciendo uso del sistema CAN. Tanto en la industria automotriz como en la camionera ya existe un uso extensivo del CAN. La industria automotriz ha conseguido algunos progresos en cuanto a protocolos de alto nivel se refiere.

La sociedad de ingenieros automotrices (SAE) ha desarrollado un estándar llamado SAEJ1939 que esta dirigido a las industrias automotriz y camionera. Este trata de proporcionar la capacidad de "enchufa y funciona" (*plug and play*) para los usuarios de vehiculos.

### 5.3 UNIDADES DE CONTROL ELECTRÓNICO

Las *unidades de control electrónico* (ECUs por sus siglas en ingles) juegan un papel muy importante en el desarrollo de los vehiculos automotores hoy en día, y este papel será todavía mayor en el futuro. Las ECUs se encargan de manejar ciertas funciones del automóvil el control de la potencia motriz, la suspensión activa y los frenos, y los sistemas de navegación. Las ECUs hacen uso de software de control integrado (*embedded*), que normalmente consiste en miles de líneas de código.

En la medida en que las empresas manufactureras de vehiculos incorporan más sistemas basados en las ECUs, también crecen los incentivos para mejorar el proceso de desarrollo de las ECUs y por consiguiente crece también la habilidad de las empresas manufactureras de vehiculos de ofrecer características competitivas dentro de los estrictos tiempos de lanzamiento al mercado, costo, seguridad y requerimientos regulatorios.

Como se menciona con anterioridad el creciente uso y demanda basados en las ECUs dentro de los sistemas automotrices ha llevado a un correspondiente incremento en la complejidad del cableado y el software de control; asociados a dichas aplicaciones.

En los modelos de acabados de lujo, los entramados del cableado convencionales, que se toman caros y engorrosos en la medida que crece su complejidad, se están sustituyendo por redes de cables multiplexadas usando protocolos de comunicaciones como el CAN. Una red multiplexada requiere solamente un bus con uno o dos cables, permitiendo ahorros en lo referente a cantidad de componentes además de permitir una simplificación en los diagnósticos.

El crecimiento en la complejidad del *hardware* va a la par con cambios similares en el *software* que se necesita para controlar al primero. En el área de control del motor, el crecimiento previsto entre 1979 y el año 2000 está estimado en 26% anual. Al mismo tiempo, las presiones competitivas provocan que los ciclos de desarrollo de nuevos modelos estén decreciendo. Los ingenieros automotrices que tradicionalmente han desarrollado el software de control en lenguaje ensamblador actualmente se están encontrando con sistemas cada vez más complejos que están conduciendo al uso de lenguajes de alto nivel, como C y sistemas operativos comercialmente disponibles. Cualquier desarrollo que se lleve a cabo en este sentido, sus componentes y sistemas resultantes sólo serán compatibles si se integran a un estándar, y tal es la finalidad del OSEK/VDX en cuanto al protocolo CAN.

#### 5.4 APLICACIÓN TÍPICA CON UN TRANSMISOR/RECEPTOR CAN ROBUSTO

Con el pre-requisito de usar cable sin blindaje de bajo costo como medio de transmisión (respecto a la plataforma física de OSI) en los sistemas de cableado para multiplexaje, las empresas manufactureras de automóviles están demandando de los circuitos transmisores/receptores un alto desempeño para la reducción de la Interferencia por Radio Frecuencia (RFI) normalmente asociada con los circuitos digitales de alta velocidad. Además, se requiere que dichos circuitos de interfaz funcionen dentro del rudo entorno automotriz y sean capaces de soportar cortos circuitos y transitorios. A continuación se describirá un circuito integrado CAN transmisor/receptor con un acoplamiento de salida simétrica incorporada necesaria para una transmisión libre de ruido. Se hará un particular énfasis en el análisis de los circuitos de aplicación automotrices típicos y se discutirá las topologías de cableado potenciales para el futuro. Adicionalmente, se analiza la operación del transmisor/receptor durante diferentes fallas del bus y se demuestra la operación tolerante a fallas del dispositivo. Y se concluirá comparando resultados de mediciones prácticas y de experiencias contra las expectativas del mercado confirmando que las metas han sido alcanzadas.

El desarrollo de nuevos productos en el competitivo mercado actual solo puede llevarse a cabo exitosamente en estricta cooperación con los usuarios finales para satisfacer las necesidades de los clientes. Un transmisor/receptor CAN para aplicaciones automotrices no es la excepción.

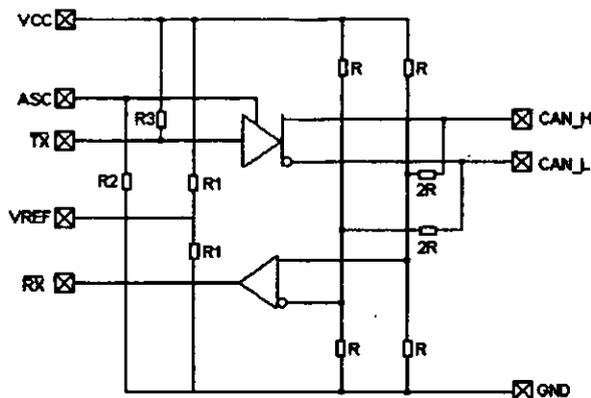
Un transmisor/receptor es requerido para proporcionar una interfaz entre el controlador CAN y el bus físico. La especificación del CAN define una tasa máxima de datos de 1 Mbaud, pero de cualquier forma la mayor parte de las aplicaciones dan tasas de datos hasta de 500 kbaud. Es imperativo utilizar cable sin blindaje de bajo costo para conseguir un bajo costo del sistema total, mientras que la interferencia de radio frecuencia (RFI) tiene que ser minimizada. Además, el medio del nivel físico requiere un alto grado de inmunidad a la interferencia electromagnética para prevenir que la parte electrónica de los nodos sufra perturbaciones externas.

Debido a la exposición de la red del bus en un vehículo, es posible que durante el servicio y la operación normal la red pueda sufrir perturbaciones. En este caso es necesario proporcionar un nivel de operación degradado para entender las fallas más comunes del bus. La red del bus es propensa a cambios de tierra de los cuales resulta la transmisión de una señal sujeta a grandes señales de modo común. Estas influencias tienen que ser consideradas junto con los niveles de temperatura extremos encontrados en el entorno automotriz.

A continuación se describirá el funcionamiento del transmisor/receptor y de la tecnología de silicio escogida, se revisará un circuito de aplicación típico y se concentra en la naturaleza robusta del dispositivo y en el comportamiento operativo asociado dentro de las diferentes topologías del cableado.

**Funcionalidad**

El transmisor/receptor se encuentra integrado dentro de un paquete SOIC de 8 pines de bajo costo. La figura 5-1 muestra el diagrama de bloques interno simplificado.



**Fig 5-1** Diagrama de bloques del transmisor /receptor CAN

La parte del transmisor tiene acoplada un manejador de salida simétrica, protegida contra corto circuito combinada con un mecanismo de apagado térmico. Cuando la salida TX se mantiene alta en un "1" lógico o flotante, las salidas CAN\_L y CAN\_H son llevadas a un nivel aproximado de 2.5 V trayendo como resultado un estado de alta impedancia o de bus recesivo. La salida del receptor está subsecuentemente conectada a un nivel alto o de "1" lógico.

La transición, de la entrada TX en el manejador, de un "1" lógico a un "0" conduce a que las salidas CAN\_L y CAN\_H lleguen, respectivamente, a niveles de entre 1.5 y 3.5 volts aproximadamente. Esto genera un voltaje de bus diferencial de 2 volts nominales, resultando en el paso de un estado de bus recesivo a uno dominante. El estado dominante se define cuando por lo menos un transmisor se encuentra activo. La salida del receptor es conectada simultáneamente de un "1" a un "0" lógicos.

La figura 5-2 muestra los niveles de voltaje definidos para el bus CAN.

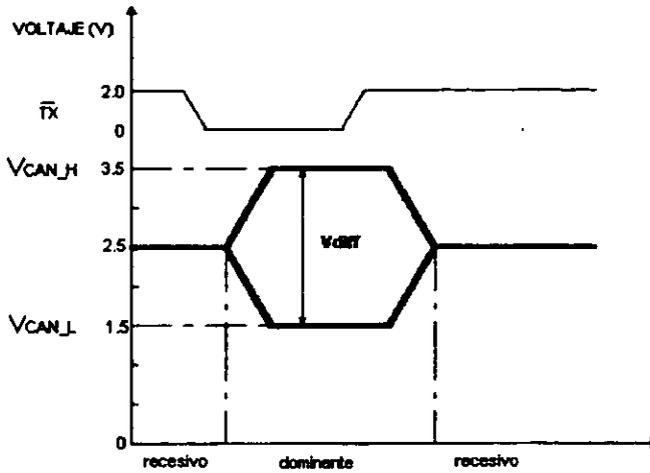


Fig. 5-2 Formas de onda de voltaje del bus CAN.

### Tecnología

Con la finalidad de hacer un paquete de tamaño compacto para que pueda alojarse en un entorno reducido y además se mantenga el desempeño adecuado del dispositivo, fue escogida la tecnología LinBiCMOS. La tecnología LinBiCMOS proporciona los componentes bipolares robustos necesarios para los manejadores y los circuitos de precisión que controlan la tasa de respuesta (slew rate). Capacitores de alto voltaje y área eficiente también asisten con el control simétrico de salida. La tecnología de aislamiento de colector difuso da como resultado inherente dispositivos bipolares pequeños permitiendo un área de empaquetado pequeña. La capa inferior P+ altamente dopada proporciona una trayectoria de baja impedancia para corrientes de la capa inferior y por lo tanto se reduce la susceptibilidad al latch-up. La disponibilidad de componentes CMOS de alto voltaje y diodos Schottky integrados proporciona un alto grado de protección contra condiciones de sobrevoltaje en las salidas del bus. Poliresistores laminados con alto aislamiento son colocados idealmente para referencias y redes de atenuación y pueden operar fuera del canal fuente. Un dispositivo CMOS digital de 2 micras es usado para implementar compuertas lógicas e interruptores y selectores de resistencia incrustados. La figura 5-3 muestra el corte de una sección de una línea de base de la tecnología LinBiCMOS .

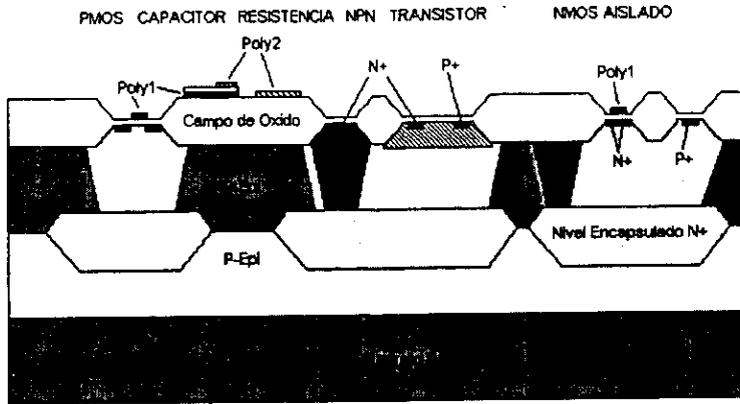


Fig. 5-3 Corte seccional de una línea de base analógica de LinBICMOS

### Aplicación típica

La mayor parte de las aplicaciones para multiplexado automotriz utilizan tres componentes principales; *un microcontrolador de aplicación, un controlador de protocolo y un transmisor/receptor*. Muchas empresas manufactureras están ofreciendo microcontroladores con módulos del protocolo CAN integrados. Con circuitería de soporte adicional para regular las fuentes de poder y para proporcionar funciones de supervisión que también son necesarias. El circuito de aplicación mostrado en la fig5-4 muestra una propuesta optimizada para un típico nodo CAN. Un microcontrolador de 8 bits, TMS370C010, es conectado por medio de una interfaz (vía enlace síncrono serial) al controlador de protocolo. El microcontrolador está configurado con 4 kb en ROM, 128 bytes en RAM, 256 bytes en EEPROM, reloj, SPI, I/O's y se integra dentro de un empaque PLCC de tamaño eficiente de 28 pines.



abierto o bien conectado directamente a tierra mediante una resistencia para que opere por debajo de los 125 kbauds. Cuando el pin ASC depende de VCC el transmisor/receptor es configurado para que opere a 125 kbauds o menos. Controlando las transiciones del voltaje del bus la generación de interferencia de radio frecuencia puede ser minimizada.

La inclusión de una resistencia de levantamiento (pull-up) en la entrada del transmisor asegura una salida definida durante el encendido y un reinicio del controlador de protocolo. Una resistencia externa conectada entre la entrada del transmisor y el controlador de protocolo reduce el efecto de alimentación del reloj desde el microcontrolador y el controlador de protocolo hacia el bus. Con una resistencia de 1000 ohms en conjunción con la capacitancia de entrada típica del pin transmisor TX de 8pF se obtiene un filtro paso bajas para la red. Se puede añadir un capacitor externo adicional si se requieren cambiar las características del filtro.

El transmisor/receptor proporciona un voltaje de referencia nominal de 2.5 V dado un divisor de la red igual a  $VCC/2$ . Dicho voltaje originalmente se requería para ser usado con el controlador de protocolo AN82526 de Intel pero también puede ser usado como un voltaje de referencia de propósito general. La figura 5-5 muestra la manera en que Vref puede ser configurado para proporcionar una tierra virtual o como referencia positiva para un convertidor analógico-digital.

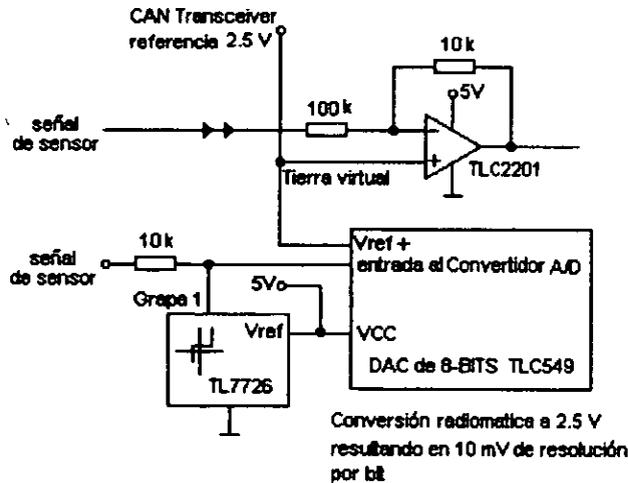


Fig. 5-5 Aplicación para Vref de salida

### Topologías de cableado

La red CAN utiliza un sistema de comunicación diferencial basado en la necesidad de un medio por el cual las tasas de datos circulen por distancias de hasta 40 metros operando dentro del relativamente ruidoso entorno automotriz. La

transmisión diferencial de datos tiene una ventaja sobre la transmisión sencilla ya que es mayor su inmunidad a la interferencia por ruido. Los voltajes inducidos en la línea del bus por el ruido o los transitorios aparecen como señales de modo común en la entrada del receptor. Ya que el receptor tiene una entrada diferencial esta corresponde solamente a la señal de datos diferencial.

Generalmente el valor absoluto del voltaje de modo común de DC de los dos cables de comunicación no es importante. Sin embargo, en la práctica, los transmisores y receptores tienen un rango finito de voltaje de modo común en el cual pueden operar. En el caso del transmisor/receptor CAN SN75LBC031 el rango de modo común VIC recomendado está entre -2V y 7V, aunque puede mantener su funcionalidad en un rango de entre -5V y 20V.

El cable de par trenzado comúnmente es usado para comunicaciones diferenciales ya que su naturaleza trenzada tiende a cancelar los campos magnéticos generados por el flujo de corriente a través de cada cable, con lo cual se reduce la inductancia efectiva en el par trenzado. En un sistema de transmisión diferencial ideal el bus terminará en una resistencia de tal forma que la impedancia de terminación sea igual a la impedancia característica  $Z_0$ . La impedancia característica de un par trenzado está entre 100-120 ohms. Cuando la señal alcanza el extremo receptor del bus este interpreta el final como una continuación del bus. El voltaje en el bus no cambiará y la corriente a través del bus fluirá por la resistencia final y regresará al manejador vía el otro cable del sistema. Si, por alguna razón, la impedancia final es diferente a la impedancia característica del bus, el voltaje en el punto final se alterará.

El voltaje en el punto terminal depende del tamaño relativo de la impedancia final a la impedancia del bus. Si la impedancia final es mayor que la impedancia del bus, el voltaje del bus se incrementará y se mostrará como una reflexión de voltaje positiva de la señal. Cuando la impedancia final es menor que la impedancia del bus, el voltaje del bus decrecerá provocando una reflexión negativa. El mismo efecto se tendrá en las terminales de salida del manejador debido al desacoplamiento de impedancias entre el manejador y el bus. Las reflexiones descritas pueden causar problemas como un disparo falso del receptor y distorsiones de onda de la señal.

Aunque la transmisión diferencial es más compleja y cara que la transmisión sencilla, la ventaja de correr a tasas de datos más altas a mayores distancias con un incremento en los rechazos al ruido y a las variaciones de tierra justifican el costo adicional.

Adicionalmente al considerar la atenuación de la señal, los efectos del ruido, la distorsión y la parte final correcta del bus, también se debe tener en cuenta la manera en que las unidades de control electrónico son conectadas al bus. Existen dos métodos básicos de conexión básicos, el clásico o cadena de margarita y la conexión en estrella.

Conexión clásica o cadena de margarita

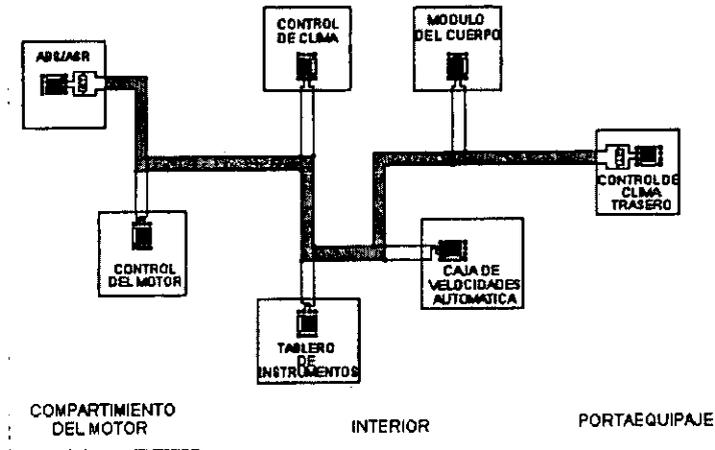


Fig. 5-6 Topología de Cableado Clásica.

La figura 5-6 muestra una representación de la conexión clásica que se realiza actualmente dentro de un vehículo. De la teoría de las líneas de transmisión, debe de ser colocada una resistencia en el extremo final de las líneas del bus. Las empresas manufactureras de automóviles requieren que las unidades de control electrónico se encuentren lo más alejadas posible del bus físico, así como entre ellas. Idealmente esto significa que la unidad de control electrónico se encuentre en el compartimiento del motor y en el área de la cajuela. A veces esta situación no es tan óptima por los problemas de logística dados que pueden seguir debido a que algunas unidades de control electrónico no ofrecen características estándar dentro de un rango de modelos.

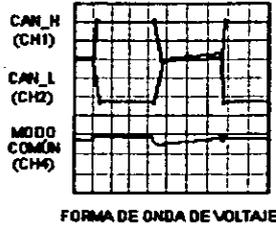
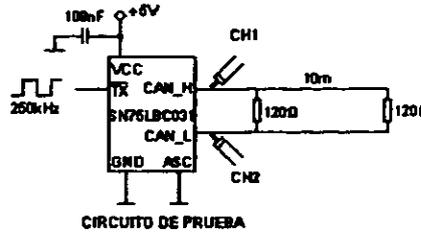


Fig. 5-7 Resultados de pruebas para una conexión clásica de la red

Las medidas de la forma de onda del voltaje dinámico se muestran en la figura 5-7 para el transmisor/receptor CAN conectado de la manera clásica con una longitud de bus de 10 metros. La figura muestra claramente la excelente simetría de la señal diferencial de CAN\_L y CAN\_H resultando en una señal de modo común con un pico de 300mV.

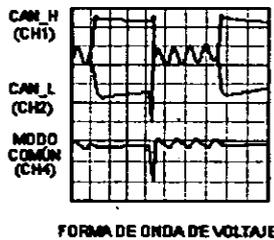


Fig. 5-8 Versión previa de un circuito integrado transmisor/receptor CAN

La fig. 5-8 muestra los resultados de la puesta en marcha de un circuito integrado transmisor/receptor CAN que carece del control de simetría requerido. La señal de bus diferencial correspondiente se encuentra altamente distorsionada dando como resultado una señal de modo común que excede 1V. Dado lo anterior son radiados niveles inaceptables de interferencia por radiofrecuencia haciendo prohibitivo el uso de transmisores/receptores con cables de par trenzado sin blindaje de bajo costo.

### Conexión en estrella

Con el fin de combatir el problema de cuál será la mejor localización para colocar la resistencia de terminación, una red conectada en estrella ofrece una topología

alternativa donde las resistencias de terminación se colocan en el acoplador de estrella del bus en lugar de en las unidades de control electrónico. Aunque esto resuelve un problema, crea la necesidad de implantar un cable más largo entre la unidad de control electrónico y uno de los puntos de terminación creando en algunos casos largos tramos que a su vez provocan una línea de transmisión desbalanceada. La figura 5-9 muestra una red conectada en estrella dentro de un vehículo e ilustra la necesidad de optimizar la accesibilidad de las resistencias de terminación. Obviamente tiene que tenerse cuidado para la disposición de la arquitectura escogida y la optimización del sistema completo.

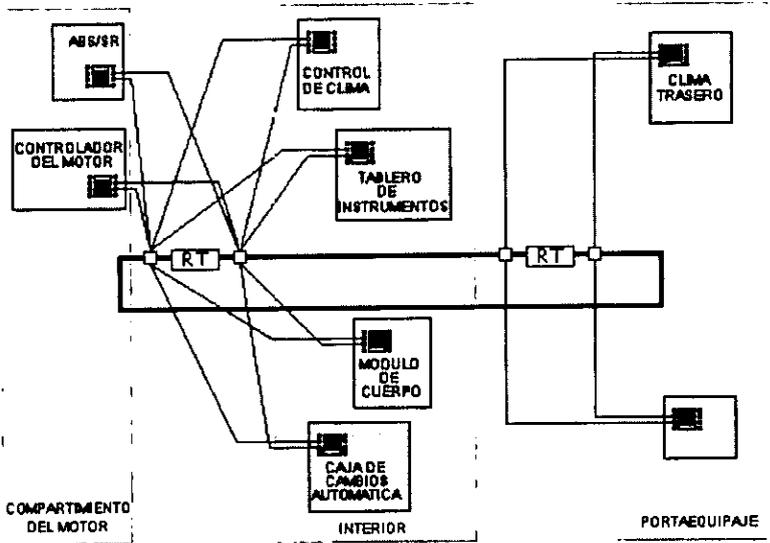


Fig. 5-9 Topología de cableado en estrella

Sin tomar en cuenta el problema de los largos tramos de cable indeterminados, el transmisor/receptor CAN continúa funcionando adecuadamente aunque con cierta degradación en su desempeño comparado con la conexión clásica. La figura 5-10 muestra la forma de onda del voltaje de una red hipotética conectada en estrella con una longitud del cable del bus de 2 metros entre los resistores de terminación y un tramo de conexión adicional de circuito abierto de 10 metros. Las etapas de salida suprimen reflexiones las cuales se presentan normalmente con los transmisores/receptores convencionales como se ve en la figura 5-11.

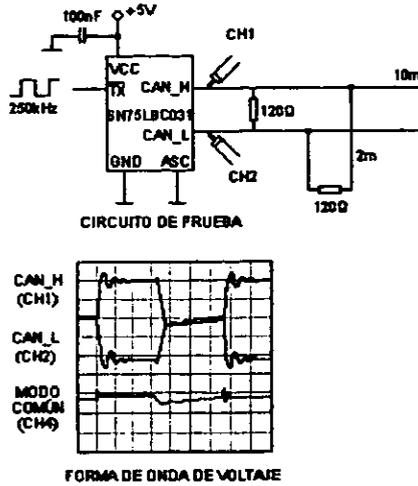


Fig. 5-10 Resultados de prueba de una red conectada en estrella

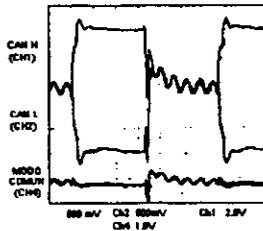


Fig. 5-11 Transmisor/Receptor tradicional conectado en estrella

Aunque la señal diferencial no es tan limpia como la de una conexión clásica, la simetría mantiene excelentes resultados en una señal de modo común comparable. Dichas conexiones en estrella son consideradas actualmente por las manufactureras de automóviles de autos y pueden proporcionar eventualmente una solución viable para la producción de vehículos en el futuro.

### Robustez del Transmisor/Receptor

Con el fin de proporcionar una operación confiable sobre la vida de la aplicación, se ha tenido especial cuidado para maximizar la robustez del transmisor/receptor CAN. Se ha hecho un particular énfasis en las salidas expuestas del bus que son vulnerables a cortos y transitorios. La figura 5-12 muestra la estructura de las salidas del bus. La sección que sigue proporciona una mirada dentro de la operación del dispositivo bajo ciertas condiciones de falla comunes. Un resumen completo del comportamiento de la red CAN en condiciones generales y en estado de corto y transitorios es tabulado en la sección del sumario de fallas del bus.

### **Corto con la batería**

Unos de los requisitos clave inicial fue proteger las salidas del bus siguiendo un corto circuito hacia la batería. Los desarrollos previos de transmisores/receptores CAN tenían deficiencias al respecto. Dada esta situación las salidas del transmisor receptor CAN SN75LBC031 se encuentran completamente protegidas y pueden soportar dicha condición de falla de una batería de hasta 24V (como las de los camiones).

### **Apagado térmico**

En cualquier condición de operación o en alguna falla donde el dispositivo sobre-disipe potencia, es activado un mecanismo de apagado térmico, protegiendo al transmisor receptor de cualquier daño permanente. La caracterización del dispositivo ha mostrado que la variación térmica para operar a una temperatura extrema es aproximadamente 160 grados centígrados.

### **Protección contra transitorios**

Los pines de salida del bus están adecuadamente protegidos contra altos voltajes transitorios. La caracterización de la capacidad contra transitorios se mide comparando contra la especificación DIN 40839 usando un generador Schaffner.

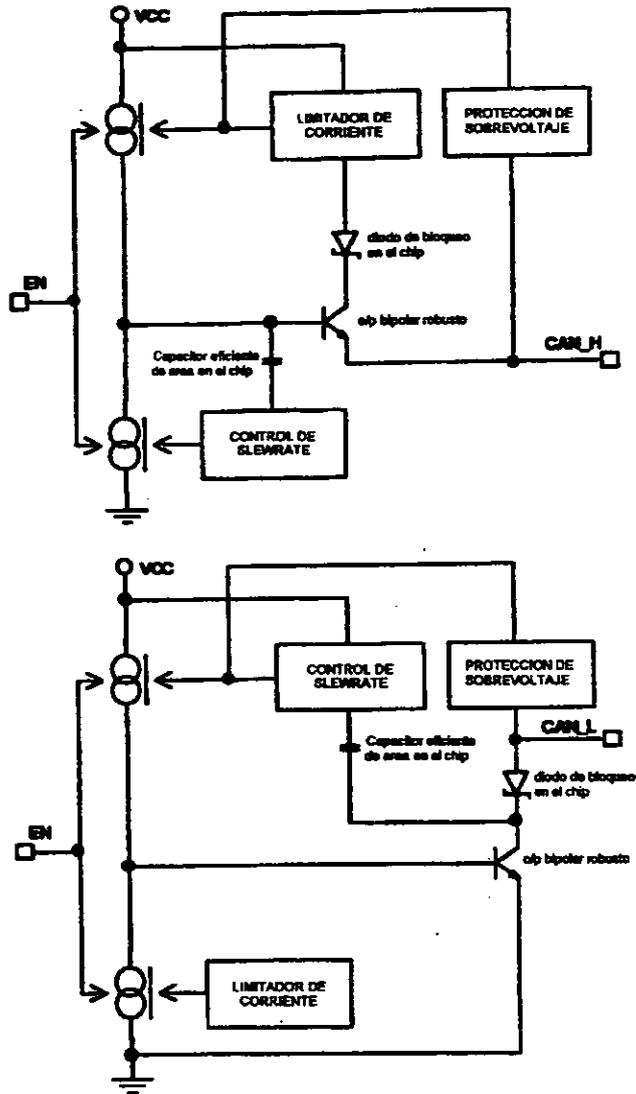


Fig. 5-12 Estructura típica de las salidas del bus

El dispositivo receptor incluye un filtro paso bajas que inhibe los falsos disparos de señal filtrando los pulsos con un ancho menor a los 30 ns.

**TABLA DE FALLAS DEL BUS**

**Fallas Generales**

Descripción	Comportamiento de la red CAN
Nodo totalmente desconectado del bus	La comunicación en los nodos restantes permanece sin perturbaciones
Pérdida de potencia de un nodo	La comunicación en los nodos restantes permanece sin perturbaciones.
Nodo desconectado de tierra	La comunicación en los nodos restantes permanece sin perturbaciones.
Pérdida de la conexión blindada en cualquier nodo	La comunicación de todos los nodos permanece sin perturbaciones

**Fallas por circuito abierto y corto**

Descripción	Comportamiento de la red CAN
CAN_H interrumpido	La comunicación en los nodos restantes permanece sin perturbaciones; pero a los nodos afectados se les reduce su relación señal a ruido.
CAN_L interrumpido	La comunicación en los nodos restantes permanece sin perturbaciones; pero a los nodos afectados se les reduce su relación señal a ruido.
CAN_H en corto con la batería	No es posible la comunicación; a voltajes mayores a 9 volts el transmisor está inhibido internamente.
CAN_L en corto con tierra	Todos los nodos continúan comunicándose pero el desempeño en cuanto EMI/RFI se reduce.
CAN_H en corto con tierra	No es posible la comunicación; la protección contra corto circuito integrada en el CAN_H y el apagado térmico evitan el daño del transmisor/receptor.
CAN_L en corto con la batería	No es posible la comunicación; la protección contra corto circuito integrada en el CAN_H y el apagado térmico evitan el daño del transmisor/receptor.
El cable de CAN_L en corto con el cable de CAN_H	No es posible la comunicación; la protección contra corto y la protección térmica evitan daños del transmisor/receptor.
CAN_L y CAN_H se encuentran interrumpidos en el mismo punto	Los nodos del subsistema restante que contengan una terminación de red continúan comunicándose. Si ocurriera reflexión, serían desconectados por los receptores siempre y cuando la longitud de la línea sea menor a 20 metros.
Pérdida de una conexión con la terminación de la red.	Todos los nodos continúan comunicándose. Si ocurriera reflexión, serían desconectados siempre y cuando la longitud de la línea sea menor a 20 metros.

**Modo de operación deteriorado**

Generalmente la prioridad durante una condición de falla del bus es proteger al transmisor y evitar perturbaciones en los otros nodos así como mantener la comunicación dentro de la red. La protección del dispositivo es llevada a cabo inhibiendo las etapas de salida. De cualquier forma, cuando CAN\_L se encuentra en corto a tierra el bus CAN\_H es capaz de operar independientemente, aunque con un modo de operación degradado. En este modo la operación diferencial

simétrica se encuentra menoscabada pero la comunicación continua con un desempeño menor en cuanto a IEM e IRF.

### **Ruido de banda ancha**

Las señales de modo común de la transmisión de datos diferencial es la principal causa de la generación de ruido de banda ancha (RFI) junto con las variaciones de tierra del sistema. Naturalmente, para todas las compañías manufactureras de carros la reducción de la RFI es una preocupación clave. Existen tres medios potenciales para controlar el ruido provocado por los sistemas de transmisión de datos.

1. Los cables blindados proporcionan una buena protección contra RFI pero es caro y es difícil de encontrar interfaces con conectores estándar. De cualquier manera para tasas de datos demasiado altas probablemente sea la única alternativa viable.

2. Diseñando las señales de salida del transmisor de tal manera que sean simétricas resultara en una señal de modo común mínima y limitará el problema de RFI a la fuente.

3. Añadiendo reguladores (chokes) de modo común a cada ECU en serie con las dos salidas del bus CAN no solo se minimizará el ruido radiado si no que también minimizará las variaciones de tierra. Pero aunque los reguladores (chokes) son una buena solución estos incrementan el número de componentes y el costo por nodo.

### **Prueba de línea continua**

Las empresas manufactureras de automóviles y sus proveedores están empezando a usar el método de la línea continua para la medición del ruido radiado. La figura 5-13 muestra los resultados de la prueba de la línea continua aplicada al transmisor/receptor SN75LBC031 configurado con y sin los reguladores (chokes) de modo común

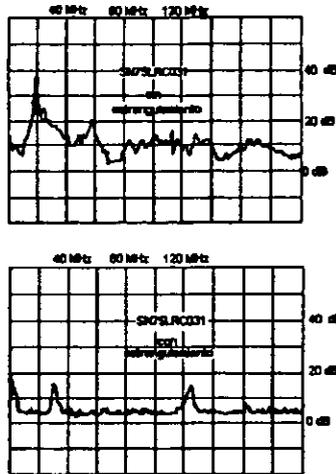


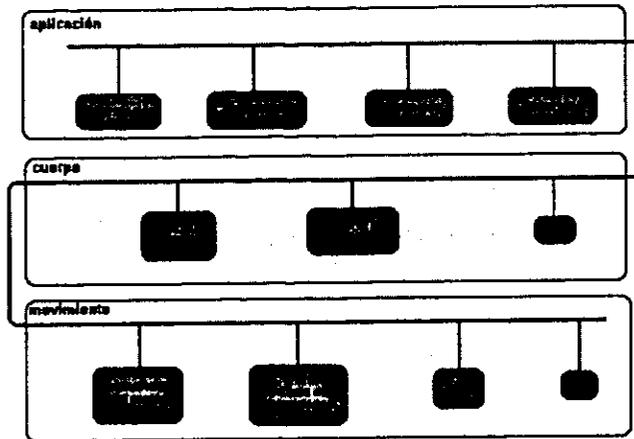
Fig. 5-13 Resultados de la prueba de línea continua

El resultado sin los reguladores muestra un nivel de aproximadamente 15dBmicroV a través del espectro de frecuencia. El pico del rango de frecuencia más baja es atribuible al circuito de prueba de línea continua. La inclusión de reguladores provoca una mejora, pero de cualquier forma un límite definido claramente para que sea aceptable a nivel del vehículo todavía se encuentra sujeto a ciertas conjeturas.

## 5.5 EL CAN COMO BASE PARA NUEVAS APLICACIONES AUTOMOTRICES

### Sistema: Vehículo.

Los nuevos vehículos, que se encuentran actualmente en la fase de diseño y desarrollo, tienen que tener muchas más características que los modelos actuales. Algunas características, como un sistema de navegación del carro son más confortables para el conductor, otras son usadas para el manejo del permanentemente creciente tráfico. Pero todos ellos tienen algo en común: sistemas electrónicos complejos. Y para manejar la complejidad de dichos sistemas a bordo de un vehículo, estos controladores electrónicos se conectan a través de una red; que puede basarse muy bien en el CAN.



Diag. 5-1 Arquitectura básica sistema de red para vehículos.

Los controladores electrónicos pueden ser asignados a diferentes campos. Su área básica es el movimiento o puesta en marcha. Los controladores electrónicos para el motor y la caja de cambios son parte de este campo. Todos ellos son relevantes para las funciones vitales del vehículo. También son consideradas como funciones de seguridad.

La segunda área de control son las unidades de control para el cuerpo del vehículo. Ejemplos para el control de puerta, son los controles electrónicos de los seguros y las ventanas.

La tercer área son los controladores para las aplicaciones expandidas a bordo del vehículo.

### Aplicaciones

Ejemplos de aplicaciones de a bordo de un vehículo son los sistemas de: protección antirrobo, de navegación del carro, recolección automática de cuotas (peaje), manejo del tráfico. Algo común a todas estas aplicaciones es que ellas no son necesarias para la función básica del vehículo: el manejo. Ellas pueden servir para diferentes tareas:

- Información.
- Comunicación.
- Seguridad.
- Navegación.
- Propósitos especiales.

Pero las aplicaciones no se encuentran limitadas a automóviles. Un área mucho más variada de aplicaciones móviles se encuentra en vehículos comerciales como camiones y autobuses. Algunos ejemplos serían sistemas de información a

bordo de los vehículos de transporte público, sistemas de información sobre flotillas para camiones, o la parte hidráulica de una excavadora.

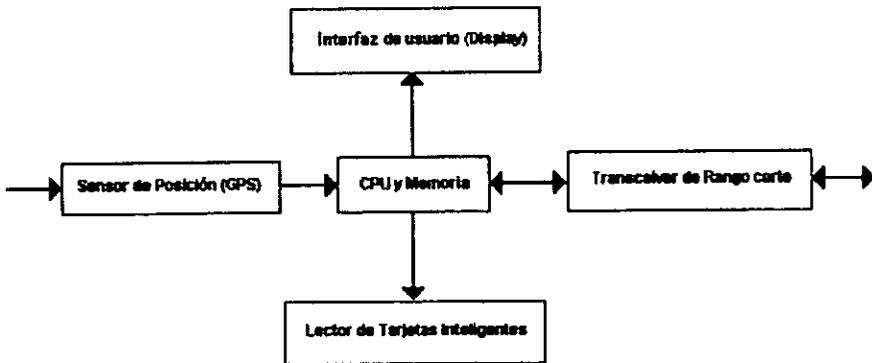
**Componentes básicos para aplicaciones.**

Al buscar una manera eficiente de implantar aplicaciones nuevas de información, comunicación o para la navegación dentro de los vehículos, debe de echarse primeramente una mirada a los componentes básicos de estas aplicaciones.

Como ejemplo demos una mirada a la *unidad de abordo* (Onboard Unit=OBU) de un sistema de electrónico autónomo de recolección de cuotas (diagrama2). La OBU compara continuamente la localización del vehículo con los datos almacenados sobre los caminos de cuota. Si la OBU compara la localización del vehículo y corresponde con la de cierto camino de cuota, cargará cierta cantidad a la tarjeta de crédito del usuario. También se podrá contar con un transmisor/receptor para propósitos de vigilancia.

Si se analizan los componentes básicos de una OBU se observará una estructura similar a la del diagrama2.

- Interfaz de usuario.
- Sensor de posición.
- Tarjeta Inteligente de lectura.
- Transmisor/Receptor de corto alcance.
- Unidad Central de Proceso con software de aplicación.



Diag. 5-2 OBU de un sistema de cobro de cuotas

Si se analizan otras aplicaciones posibles para vehículos y sus nuevos componentes, se observará que estas estarán basadas en componentes muy similares.

De la siguiente tabla se verá que en la fila superior se muestran los componentes necesarios para las aplicaciones de la primera columna.

	Interfaz de usuario	Trans./Recep. de corto alcance	Trans./Recep. de largo alcance	Sensor de posición	Tarjeta Inteligente	...
Telefonía GS	X		X		X	
Protección antirrobo					X	
Detección de vehículo robado			X	X		
Cobro de cuotas				X	X	
Navegación	X	(X)1	(X)2	X		
Información sobre tráfico	X	X	X			
...						

1) 2) Si hay actualización automática sobre noticias de tráfico

**Interfaz de Usuario:** Casi cualquier tipo de aplicación necesita algún tipo de interfaz de usuario. Dicha interfaz debe ser de tipo textual, pero por razones ergonómicas es necesario que la información sea presentada al usuario de manera gráfica.

**Comunicación de corto alcance:** Para que pueda conectarse al vehículo y a los modernos sistemas de información sobre el tráfico mediante interfaces, se requiere comunicación de corto alcance entre el vehículo y el camino. Esta comunicación puede basarse en sistemas infrarrojos o en un enlace de datos inalámbrico de 5.8 GHz.

**Comunicación de largo alcance:** Para la comunicación de datos de rango largo hay dos caminos. El primero es usar GSM como canal de enlace de datos. Pudiendo ser utilizado como un enlace punto a punto entre el vehículo y la estación base. El segundo camino es usar el canal de datos RDS-TDS de radio FM normal para enviar mensajes como noticias de tráfico.

**Sensor de posición:** Usando un receptor GPS, el vehículo encontrará su posición con una precisión menor a 100m. Usando corrección de los datos desde una estación DGPS la precisión puede aumentarse hasta unos pocos metros (hasta menor a 5m es posible).

**Tarjeta Inteligente:** Se puede usar una tarjeta inteligente tanto para identificación (como clave electrónica del carro) como para el pago vía tarjeta de crédito.

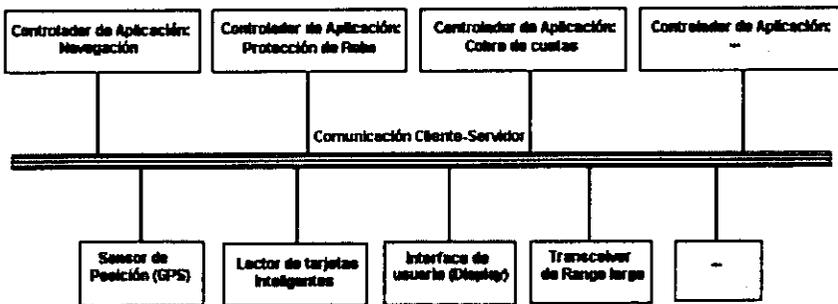
### Componentes básicos + Red = Plataforma

Si se desea llevar a cabo las aplicaciones de la manera clásica, implementando cada uno dentro de su propia caja, se necesitarían tres sensores: uno para el

sistema de navegación, uno para el sistema de cobro de cuotas y otro para el sistema de detección de vehículo robado. Siendo, por supuesto, una manera muy ineficiente de usar los recursos. Una manera mucho más eficiente es tener un solo componente y compartir sus recursos a través de la red.

Los componentes básicos, los cuales están conectados con una red CAN son la plataforma para implantar muchas aplicaciones nuevas. Para añadir una aplicación nueva no se necesita llevar a cabo todas las funciones básicas, lo único que se necesita es añadir un nuevo controlador de aplicación para llevar a cabo los algoritmos de aplicación. Por ejemplo, si se desea añadir la aplicación de detección de vehículo robado al ejemplo del diagrama 3, se pueden utilizar las funciones del sensor de posición y las del transmisor/receptor de largo alcance, y sólo se necesitará un controlador de aplicación para el software de aplicación extra.

Si se observa el diagrama 3, se puede pensar que esta aproximación necesitará algunas pequeñas cajas más. Pero se debe tener en mente que dicho diagrama es más que nada una representación lógica y no la representación física real. Cada una de las representaciones puede ser llevada a cabo en una caja diferente, pero también es posible integrar alguna función dentro de alguna de las cajas o realizar alguna de las aplicaciones en un microcontrolador.



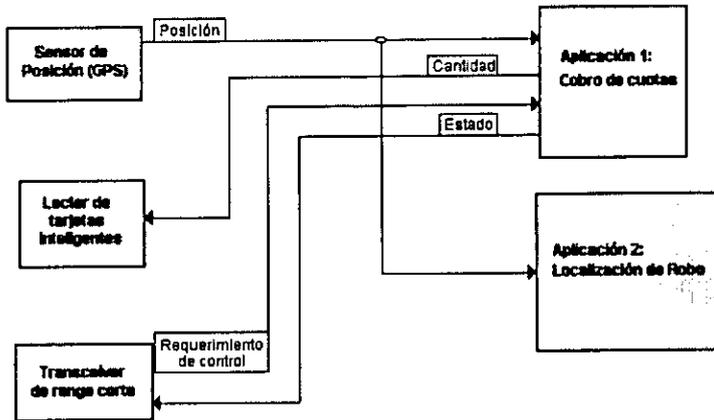
Diag. 5-3 El CAN como plataforma de aplicación

### Cliente - Servidor

Para hacer trabajar a esta red modular, se necesita un modelo para la comunicación entre las aplicaciones y los componentes básicos. Esto es llevado a cabo mediante un modelo cliente-servidor. Los componentes básicos para este modelo son los servidores para las funciones de entrada/salida (I/O) y las aplicaciones funcionan como clientes. Por ejemplo el GPS es el servidor para la posición del vehículo. Esto significa que, si una aplicación como la de navegación necesita conocer la posición actual, puede obtener dicha información del servidor de posición (sensor GPS). Si otra aplicación, por ejemplo el cobro de cuotas también necesita de la información sobre la posición, también podrá hacer uso del servidor de posición.

Ya que el CAN es un sistema de múltiples nodos maestros y esta optimizado para el transporte de mensajes cortos entre los nodos, el CAN es adecuado para ser la red entre los componentes básicos y sus aplicaciones.

Pero para tareas como la administración de la red o el mecanismo para estructuras de datos más complejos se necesitará mejorar el protocolo CAN, lo cual puede ser observado como el nivel 2 del modelo OSI, por un nivel de aplicación (nivel 7). Y además, si se necesita un sistema abierto, también se tendrá que estandarizar un perfil de aplicación. Este perfil estandarizará por ejemplo la forma en que las variables son transmitidas a través del bus. Como ejemplo podemos considerar el formato de los datos en el cual el tiempo es transmitido sobre el CAN.



Diag. 5-4 Modelo Cliente - Servidor

### Estandares

Típicamente las aplicaciones no son realizadas por quien manufactura el vehículo, normalmente son proporcionadas por terceras partes (proveedores). Asimismo diferentes aplicaciones pueden ser provistas por distintos proveedores. Esto trae consigo ciertas dificultades cuando se implanta tal sistema. La única manera de resolver estas dificultades es el uso de estándares para las interfaces. Esto significa un estándar abierto para el sistema de comunicación entre los componentes.

### Nivel físico

Lo primero que debe estandarizarse es el medio físico al cual se van a conectar los nodos. En el caso del CAN esto es llevado a cabo por el ISO/DIS 11898 para aplicaciones de alta velocidad y por el CiA/DS102-1. Aunque en el mercado existen soluciones con base en chips de diferentes proveedores.

### **Nivel de enlace de datos**

El siguiente paso en la estandarización es el nivel de enlace de datos que también se encuentra especificado por el ISO/DIS 11898. La tarea que representa implantar esta especificación dentro de un chip ya se encuentra hecha por varios fabricantes de chips. Eso, aunado a la licencia del protocolo CAN, garantizan que todos los chips disponibles pueden ser conectados juntos y que son compatibles con la especificación CAN.

### **Nivel de aplicación**

La parte más difícil de estandarizar es el nivel de aplicación ya que todavía no se cuenta con un protocolo internacional, ni siquiera se encuentra la especificación de este nivel en la especificación CAN. Dada esta situación adversa la CiA ha especificado y recomendado un nivel de aplicación abierto y poderoso para el CAN, el CAL (CAN application layer) nivel de aplicación del CAN.

El CAL define un lenguaje para describir servicios de aplicaciones distribuidas. El CAL también incluye servicios para la administración de la red y se puede contemplar dentro de esto la inicialización de los nodos y servicios para la asignación de los identificadores CAN.

### **Perfil de aplicación**

El grupo de trabajo de CiA: "CAN en aplicaciones móviles" definen un perfil de aplicación, basado en los estándares mencionados previamente, para aplicaciones móviles. Este perfil define recomendaciones especiales para el uso del CAN como plataforma de aplicación dentro de los vehículos.

- Líneas de bus y tasas de bits.
- Selección de servicios y objetos del CAL.
- Definición de variables estándar.
- Definición modular

En resumen la plataforma propuesta es una manera eficiente de implantar nuevas aplicaciones a bordo de los vehículos. Olvidando las decisiones en contra de los sistemas abiertos existe una fuerte necesidad de estandarizar las interfaces. Solo si esto sucede, el CAN puede ser utilizado como plataforma abierta para implantar aplicaciones de diferentes proveedores de una manera eficiente en cuanto al costo. Y esta es la clave para las nuevas aplicaciones a bordo de los vehículos; aplicaciones que estarán un paso adelante de los otros competidores, que no usen aplicaciones abiertas.

## 5.6 SISTEMA DE CONTROL DEL CUERPO DE LOS VEHICULOS BASADO EN ENLACES SERIALES VO (SLIO) CAN DE BAJO COSTO

El CAN ha sido aprobado por la ISO (ISO11898) como una red de alta velocidad dentro de los vehículos (> 125 kbits/s). Pero de cualquier forma sigue siendo costoso implantarlo como un sistema de control de baja velocidad para el cuerpo de los vehículos. Por eso, se han desarrollado los sistemas SLIO CAN para permitir la utilización de la tecnología CAN pero a un costo menor. A continuación se explica la tecnología SLIO CAN y su aplicación a un sistema de control del cuerpo de un automóvil.

### Introducción

La aplicación de la tecnología CAN para compartir información en tiempo real ha incrementado su popularidad dentro del campo automotriz. A través de los años, el CAN ha evolucionado hacia muchas aplicaciones que van desde el área industrial y automotriz hasta virtualmente en cualquier tipo de productos basados en microcontroladores que tengan que ver con el cableado de ameses. El CAN ha desplazado los cableados de ameses complejos reemplazándolos con un cable de bus sencillo. Siendo esta una red simple, de bajo costo y robusta diseñada para trabajar en ambientes rudos y ruidosos. Debido a esto cuenta con una gran inmunidad al ruido electromagnético. A la fecha, el sistema CAN todavía es considerado costoso en muchas instancias tales como aplicaciones de control electrónico del cuerpo de los vehículos. Además no es justificable usar microcontroladores para funciones simples de apagado y encendido. Por tal motivo se ha introducido una versión más simple y barata de Enlaces Seriales de Entrada /Salida CAN (SLIO CAN).

### Enlaces Seriales de Entrada/Salida (SLIO) CAN

Como su nombre lo implica, los sistemas SLIO CAN son una manera simple de expandir la entrada/salida de un microcontrolador a través de un enlace serial CAN. Este es un concepto similar al del controlador periférico programable para los sistemas basados en el 8086/8088. Con esta característica, el microcontrolador cuenta con puertos de entrada/salida virtuales residentes en localizaciones remotas de una red. Estos puertos "virtuales" de entrada/salida serán tratados como una parte del sistema del microcontrolador. Desde otro punto de vista, los SLIO CAN pueden verse como nodos CAN de bajo costo para la adquisición de datos y la compartición de información en un sistema CAN.

Los sistemas SLIO CAN trabajan de acuerdo a la especificación 2.0a y 2.0b (pasivo). Trabajan con el identificador CAN de 11 bits pero ignoran al identificador de 29 bits sin causar errores en el bus. Ya que los sistemas SLIO CAN han sido desarrollados para aplicaciones de baja velocidad, se cuenta con una tasa máxima de 125 kbits/s usando su oscilador interno. Sin embargo, también es posible su operación con un oscilador de cristal externo que incrementaría el costo de interfaz. Generalmente, se recomienda que opere sin un oscilador externo ya que

con esto la interfaz de conexión resulta mucho más sencilla además de un menor costo. La figura 5-14 muestra una configuración típica de un sistema SLIO CAN.

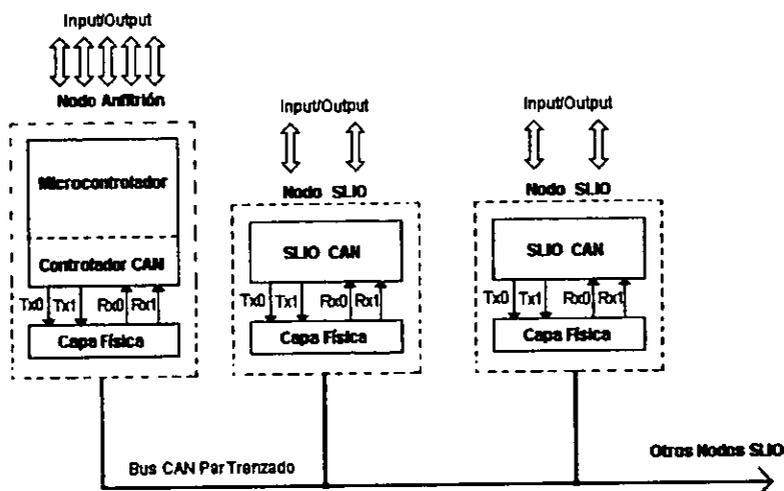


Fig. 5-14 Un típico sistema SLIO CAN

### Arquitectura SLIO

Los dispositivos SLIO CAN son de baja inteligencia y necesitan ser programados y controlados por un nodo central inteligente. Un nodo central inteligente es un nodo CAN con un microcontrolador. El nodo central puede manejar un total de 16 dispositivos SLIO en un bus SLIO CAN. Esto se debe a los cuatro bits identificadores en cada dispositivo SLIO que dan un total de 16 identificadores diferentes (ver figura 5-15). Combinando dos diferentes proveedores de dispositivos SLIO, los cuales cuentan con diferentes conjuntos de identificadores, darán como resultado 32 nodos SLIO (p.e. 16 Philips y 16 National). En ambos casos, ID0 en el bit número 11 del identificador CAN indicará la dirección de la transferencia de datos como se muestra en la figura 5-15. Cuando ID0 es 0, el mensaje es enviado desde el controlador central hacia el dispositivo SLIO y viceversa cuando ID0 es 1. Los sistemas SLIO CAN también soportan tramas remotas.

Identificador CAN 11 bits	ID10	ID9	ID8	ID7	ID6	ID5	ID4	ID3	ID2	ID1	ID0
Identificador SLIO	0	1	P3	1	0	P2	P1	P0	1	0	Dir

Philips P82C150

Identificador CAN 11 bits	ID10	ID9	ID8	ID7	ID6	ID5	ID4	ID3	ID2	ID1	ID0
Identificador SLIO	0	1	P3	1	0	P2	P1	P0	1	1	Dir

National Semiconductor DS36001

Dir: Bit de Dirección para SLIO  
 P0,P1,P2 & P3: Pines de colocación del Identificador SLIO

Fig. 5-15 El identificador SLIO con relación al identificador CAN de 11 bits

Los sistemas SLIO CAN heredan la técnica de direccionamiento físico donde cada nodo SLIO CAN se le asigna un identificador único. El direccionamiento común de los sistemas CAN ya no es funcional en este tipo de sistemas. Además estos sistemas, operan virtualmente como una configuración maestro/esclavo hasta cierto nivel. La relación con el nodo central SLIO se describe en la figura 5-16. Como se menciono previamente, los 16 dispositivos SLIO en un bus CAN solo deben ser controlados por un solo nodo central. Aunque en algunas ocasiones se pueden dividir en grupos y ser controlados por unos pocos nodos controladores centrales. Pero el número de nodos SLIO nunca debe exceder de 16 (o 32) en el mismo bus. En los ambientes con múltiples nodos centrales sólo se requiere de un nodo central para llevar a cabo la calibración. Debido a la técnica de envío de bits de los sistemas CAN, todos los demás nodos CAN (aparte del central y los SLIO) también son capaces de recibir los mensajes transmitidos por los SLIO. Por lo tanto, es importante asegurar que otros nodos inteligentes (exceptuando el nodo central) no actúen sobre los datos ya que esto llevaría a un estado de confusión y errores. Además, podrían haber otros nodos CAN en el mismo bus y operando a la misma tasa de bits y teniendo diferentes identificadores.

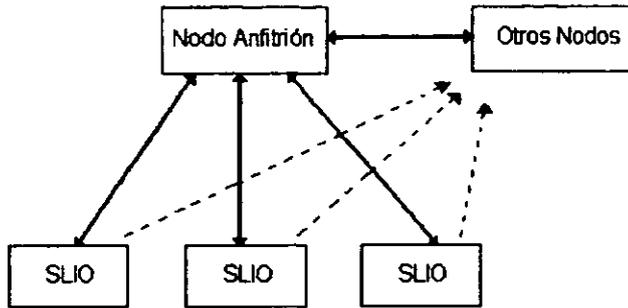


Fig. 5-16 SLIO con otros nodos CAN en el mismo bus

El controlador central debe enviar una trama de calibración cada 3800 bits enviados para sincronizar el oscilador interno de los SLIO para la correcta sincronización del bus. La trama de calibración debe de satisfacer el criterio de cambio de recesivo a dominante después del campo de control y ser seguido por otra transición similar después de 32 bits enviados e incluyendo los bits de llenado. Un ejemplo de trama de calibración se muestra en la figura 5-17. Sólo los nodos SLIO calibrados son capaces de transmitir un mensaje CAN. La transmisión de los SLIO se hace automáticamente mediante su lógica de controlador de hardware CAN interna. El SLIO se ajusta durante la inicialización del sistema para llevar a cabo ciertas funciones como la captura de eventos de entrada, salida o conversiones analógicas a digitales. La inicialización se lleva a cabo programando los nodos SLIO a través del bus CAN desde el controlador del nodo central. Consecuentemente, existe una cierta carga adicional dado el CPU del controlador central en una red SLIO CAN.

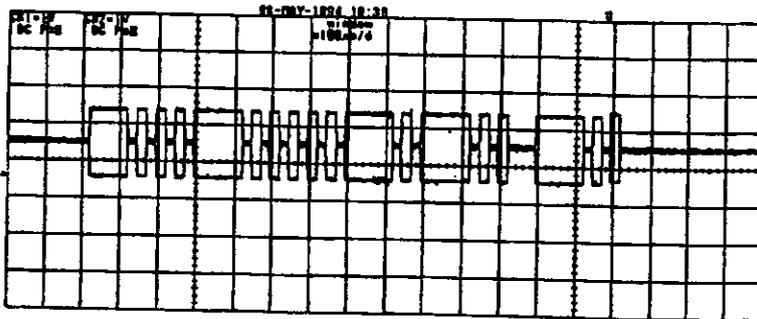


Fig. 5-17 Una típica trama de calibración SLIO CAN

Como se mencionó previamente, un nodo SLIO necesita ser calibrado por un nodo central. Por eso, habrá tolerancia del oscilador que reduzca la longitud efectiva del

bus del sistema CAN. La tabla 5-1 muestra de manera comparativa las longitudes de un sistema CAN simple y un sistema SLIO CAN.

Velocidad de bit	P82C150 (SLIO CAN)	P8XC592/PCA82C200 (CAN)
125 kbit/s	80 m.	530 m.
100 kbit/s	120 m.	620 m.
50 kbit/s	300 m.	1300 m.
20 kbit/s	850 m.	3300 m.

Tabla. 5-1 Máxima distancia permitida entre dos o más nodos en SLIO CAN y CAN

Ya que un nodo SLIO calibrado es capaz de transmitir una trama CAN, se deben tomar precauciones dentro de la lógica del controlador CAN para evitar transmisión de datos espurios. Los mensajes SLIO pendientes de transmisión se retrasan un tiempo de 3 bits por cada transmisión exitosa para permitir a mensajes de más baja prioridad acceder al bus. Esto se hace con la finalidad de que si existiera una lógica de entrada con fallas en un pin de puerto del SLIO que mantenga registrando un evento y transmitiendo una trama CAN, no exista peligro para evitar que mensajes de más baja prioridad accedan al bus. En un sistema SLIO CAN, se recomienda ampliamente reservar alta prioridad para los mensajes de calibración dada su importancia.

### Sistema de Control del Cuerpo del Vehículo

La tecnología SLIO CAN ha sido aplicada al sistema de control del cuerpo del vehículo en la universidad de Warwick. El sistema se ha configurado para operar a 40 kbits/s. Todas las transmisiones CAN son controladas por eventos, exceptuando el mensaje de calibración que es una transmisión constante cada 3800 bits enviados. La carga del bus es nominal. Una carga máxima del bus de 6.4% (con un indicador direccional encendido, posiciones de asientos y luces altas encendidas repetitivamente) es grabada en el sistema desarrollado, con la trama de calibración con valor de 1.8%. El sistema se muestra en la figura 5-18. Un punto a tomar en cuenta es que la carga del bus para la trama de calibración es constante sin importar que velocidad de bus se haya adoptado. La tabla 5-2 muestra una comparación entre la carga del bus durante la trama de calibración y la tasa de bits.

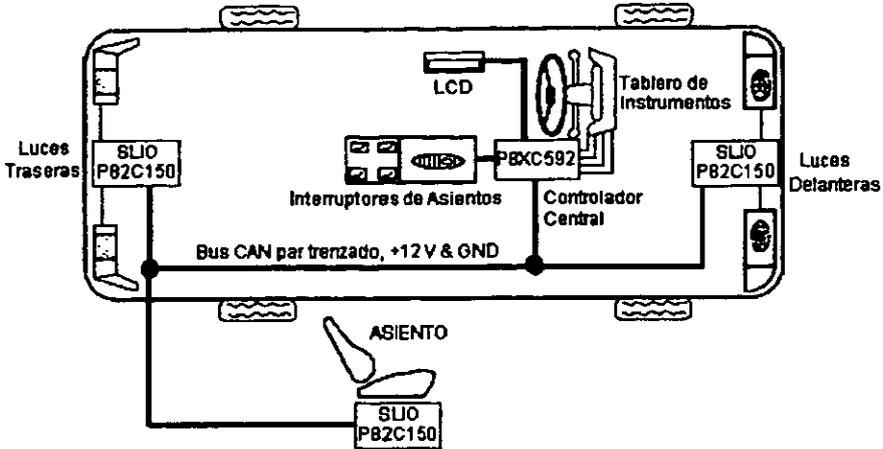


Fig. 5-18 Estructura del sistema de control basado en la tecnología SLIO CAN

Velocidad de datos	Tiempo del bit	Periodo repetitivo max.	Carga del bus
40 kbit/s	25 $\mu$ s	25 $\mu$ s X 3800 = 95 ms	1.8%
80 kbit/s	12.5 $\mu$ s	12.5 $\mu$ s X 3800 = 47.5 ms	1.8%
125 kbit/s	8 $\mu$ s	8 $\mu$ s X 3800 = 30.4 ms	1.8%
250 kbit/s	4 $\mu$ s	4 $\mu$ s X 3800 = 15.2 ms	1.8%

Tabla 5-2 Mensajes de calibración de la carga del bus en función de la velocidad de datos

Ya que los controladores SLIO CAN no son controladores CAN inteligentes, cuentan con una lógica de controlador CAN interna que reconocerá automáticamente al nodo con un identificador único. Por ejemplo, si se envía el ID644 por el SLIO central, el nodo SLIO responderá con ID645. La trama de reconocimiento consiste en el estado presente y valores de los registros SLIO. Esto proporcionará al controlador central una verificación de mensaje recibido y del estado actual del nodo SLIO. Sin embargo existen algunas excepciones. Un ejemplo sería la conversión analógica a digital solicitada por el nodo central. El nodo SLIO reconocerá con dos tramas cada una conteniendo los registros de configuración analógica y el valor de la CAD. Además, el nodo SLIO responderá a la trama de calibración usando la ranura de reconocimiento en el CAN pero no enviará una trama de reconocimiento.

### El sistema SLIO como alternativa de bajo costo

El sistema SLIO es una solución de bajo costo. La mayoría de los sistemas de control del cuerpo del vehículo se basan en apagado/encendido digital únicamente, exceptuando los asientos eléctricos y la posición de los espejos laterales que necesitan de conversión analógica a digital. De nuevo, el sistema

SLIO es implantado para realizar estas tareas ya que cuentan con un convertidor analógico a digital el cual registrará digitalmente las lecturas del potenciómetro.

En cuanto a fallas del bus, los sistemas SLIO CAN tienen las mismas consecuencias que las relativas a los nodos CAN inteligentes. Una vez que un bus CAN se ha caído, no hay manera que un nodo aislado sea capaz de comunicarse con su nodo central o con otros nodos. En este caso, el sistema puede ponerse en un estado latente con parámetros predefinidos. No existe algo más que un nodo CAN inteligente pueda proporcionar.

Dadas las capacidades de direccionamiento del CAN, es fácil de determinar fallas sin gran cantidad de software adicional. Un reloj vigía (watchdog timer) puede ajustarse para checar la existencia de todos los nodos, digamos cada 200ms, para asegurar la integridad del sistema. Dada cualquier falla de un nodo, el sistema tomará medidas correctivas. Esto puede incluir tanto advertencias al conductor (dado el caso del vehículo) desplegadas en la pantalla de diagnóstico de cristal líquido o bien apagando todo el sistema.

Cuando un nuevo nodo SLIO es añadido a la red SLIO CAN, dicho nodo es capaz de hacerse reconocer por el nodo central mediante la detección de un mínimo de 3 tramas CAN dentro de un tiempo de 8000 bits. El mensaje puede ser cualquier actividad en el bus o una trama del reloj vigía la cual detectará la presencia del nuevo nodo SLIO. El nuevo nodo SLIO responderá con un mensaje de conexión que anunciará al nodo central de su presencia. El único criterio que debe cumplir el nuevo nodo SLIO es por supuesto contar con un identificador diferente al de cualquiera de los nodos CAN existentes que estén operando.

### **Flexibilidad y Durabilidad**

En el sistema SLIO CAN, los tiempos asignados y los retardos han sido hechos en el microcontrolador. Por lo tanto, no existen cambios o desconexiones de los dispositivos temporizadores. En este prototipo se utilizan dispositivos semiconductores inteligentes para conectarlo a la alimentación eléctrica. Estos dispositivos ofrecen mejor protección a los circuitos que los fusibles convencionales y son capaces de detectar cualquier conexión de apertura o corto circuito. El estado puede ser realimentado al controlador central para procesamiento posterior el cual incluye mensajes de advertencia y contra-medidas. Esto puede ser prendiendo las luces de los frenos como respaldo de una falla en las direccionales posteriores o el uso del faro de niebla posterior como respaldo de la luz de los frenos.

El sistema también demuestra que se pueden añadir características mejoradas con un poco de cambios físicos al hardware. Como ejemplo un modelo de carro de policía puede llevarse a cabo añadiendo solamente unas pocas líneas de código en el software sin necesidad de modificaciones físicas al armazón principal. En carros de policía, las luces de la torreta, las luces laterales, las luces posteriores, etc., del vehículo se encuentran girando hacia atrás y hacia adelante además de las luces estroboscópicas de color azul. Las empresas manufactureras que practican la técnica tradicional de cableado punto a punto, tienen que poner

un cableado de amés especial y relevadores extra con la finalidad de conseguir dicho efecto. Existen muchas características mejoradas que pueden ser añadidas al sistema donde la única limitación es nuestra imaginación. Por ejemplo el encendido del limpiador cuando el carro se pone en reversa y los limpiadores delanteros se encuentren encendidos.

La tecnología SLIO CAN es mejor si se consideran aplicaciones de control electrónico simple y envuelven un cableado del amés complicado. Este incluye todas las ventajas del CAN que incluyen flexibilidad de cambios en el diseño y mejor capacidad de diagnostico, además de un menor costo de implantación. Usando la tecnología SLIO CAN, muchos de los controles electrónicos se convierten en sistemas de control de lazo cerrado y son de una integridad de sistema mayor. Además, el costo de añadir características mejoradas al sistema con pequeños cambios físicos han probado que reducen dichos costos y son más atractivos. Aunque aquí se utilizan los automóviles para ilustrar los sistemas SLIO CAN, existen muchas otras aplicaciones industriales que se pueden beneficiar de este sistema de red de bajo costo.

#### **5.7 ADQUISICION DE DATOS PARA PRUEBAS DE LOS FRENOS DE CAMIONES BASADA EN LA TECNOLOGIA SLIO CAN**

A continuación se describirá el uso de módulos SLIO distribuidos para analizar el sistema de frenos de camiones. Las propiedades de frenado de los camiones dependen de varios factores, por ejemplo; la presión de frenado de los cilindros, la carga del camión, sólo por mencionar algunos valores críticos medibles.

La finalidad de los experimentos es recolectar datos de las situaciones reales de frenado en el camino, analizar los datos y comparar los resultados obtenidos con valores medidos en un dinamómetro estático en condiciones de prueba. Existen algunas dudas referentes en las evaluaciones del sistema de frenado basadas en el dinamómetro porque no describen confiablemente el comportamiento de los frenos en las condiciones reales del camino.

Un camión grande fue equipado con varios sensores y se construyó un sistema de adquisición de datos basado en módulos SLIO-CAN. Los módulos SLIO fueron seleccionados dada su versatilidad ya que son adecuados tanto para servir como interfaz analógica o entre sensores digitales. Asimismo fue importante el costo del nodo de procesamiento ya que existían varios parámetros a ser medidos. Los nodos SLIO fueron conectados a una PC portátil equipada con una tarjeta CAN. La PC fue usada como medio de conexión e interfaz de usuario.

El sistema fue probado en gran cantidad de vehículos en diferentes condiciones de frenado que iban desde asfalto seco hasta caminos nevados. El sistema de adquisición de datos operó de una manera adecuada en estas pruebas. Sólo se presentaron algunos problemas en los sensores del momento de frenado dadas unas condiciones extremadamente duras llevadas a cabo en otoño.

Dada la complejidad de los sistemas mecánicos, tales como los automóviles actuales, la seguridad máxima sólo se puede asegurar mediante el control electrónico y el monitoreo de todos los subsistemas. La necesidad de seguridad y eficiencia en los vehículos automotores ha hecho crecer la importancia de la electrónica automotriz. Actualmente se utiliza la electrónica para controlar la inyección de combustible, emisión de gases, sistemas de frenado antibloqueo, la dirección, etc.

Diseñado para operar en ambientes eléctricamente ruidosos, una propiedad única del protocolo CAN es su capacidad automática de manejo de errores. La integridad de los datos es de la mayor importancia en aplicaciones automotrices. Medidas de protección tales como los 15 bits de CRC, llenado de bits y MSF son implementadas en el protocolo CAN.

La disponibilidad de circuitos integrados baratos que cuentan con el protocolo CAN ha contribuido significativamente al interés en la utilización del bus CAN. Dependiendo de los requerimientos del sistema se pueden seleccionar componentes CAN dentro del esquema de las tres siguientes categorías: la que obedece la especificación del protocolo CAN, los controladores CAN de propósito general con filtro de aceptación o controladores I/O y el nivel de integración de circuito integrado. Los SLIO son una clase especial de controladores. Los controladores SLIO CAN son un medio bastante efectivo en cuanto a costo para servir de interfaz tanto en los dispositivos de I/O como en los sensores analógicos (ver fig. 5-19). Dado que los controladores SLIO son considerados esclavos en un sistema CAN y no necesitan ningún desarrollo de software especial el conectarlos a una aplicación es muy rápido y simple.

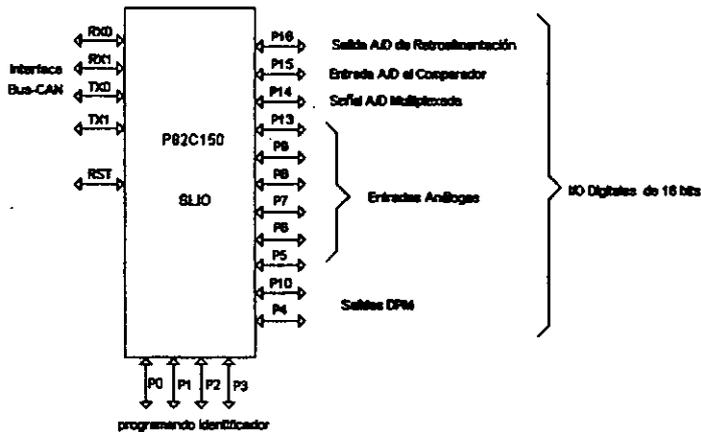


Fig. 5-19 Diagrama funcional de un SLIO

Dado que no existen nodos maestros en los SLIO existen algunas restricciones. La tasa de transferencia de datos está limitada a 125 kbits/sec. Y sólo puede

haber 16 nodos SLIO para un sistema CAN bus. La precisión del convertidor analógico a digital está limitado a 10 bits y este usa canales de entrada analógicos multiplexados. El ciclo de conversión A/D se encuentra entre 0.4 y 1.1 ms. Los dispositivos SLIO cuentan con un oscilador tipo RC integrados en un chip el cual tiene que ser calibrado mediante los mensajes recibidos del bus CAN. El ajuste fino del tiempo de bit se lleva a cabo mediante mensajes especiales de calibración que llegan regularmente desde un nodo controlado por un oscilador de cristal.

### **Representación de la Aplicación**

La necesidad de probar el comportamiento de los frenos de vehículos combinados (p.e. trailers) creció dada la demanda de los inspectores de vehículos de la unión americana que tienen la tarea anual de inspeccionar los vehículos y permitir su circulación. El sistema de frenado es una causa común de rechazo de los trailers por parte de los inspectores. Los choferes de camiones reclaman constantemente que el ajuste del sistema de frenado de acuerdo a los resultados de las pruebas con dinamómetros no son confiables o correctas dados los diversos condiciones de los caminos y las cargas.

El desarrollo de sistemas de medición para probar los parámetros esenciales durante el frenado se iniciaron en el otoño de 1992. Una cabina de trailer de tres ejes que arrastre una caja de cuatro ejes fue seleccionado como vehículo de prueba. Lo valores físicos obtenidos durante las pruebas fueron: presión de los frenos, carga del eje, desaceleración del vehículo, fuerza axial en la barra de arrastre y el momento de frenado. En la fig. 5-20 se muestra un esquema con la localización de los sensores. Hasta ahora el momento de frenado solamente es medido en el eje de la dirección de la cabina del trailer. En total existen siete sensores de carga de los ejes; cuatro sensores de la presión de los frenos, un sensor de aceleración, un sensor de fuerza de la barra de arrastre y un sensor del momento de frenado. Esta planeado aumentar el número de mediciones para obtener, por ejemplo; la velocidad real del vehículo, las velocidades de rotación de las ruedas y momentos de frenado adicionales.

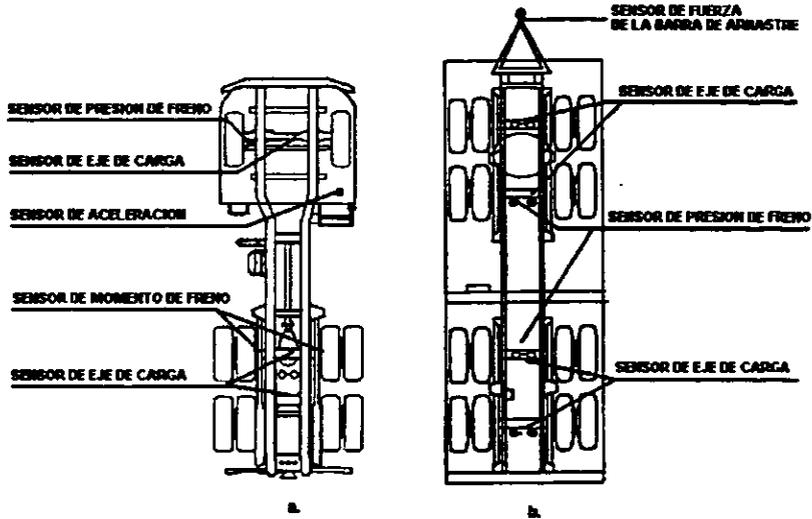


Fig. 5-20 Localización de los sensores (a) en la cabina del trailer (b) en la caja

## Sistema de Adquisición de Datos

### Sensores

La medición de la carga del eje y del momento de frenado fueron difíciles y cualquier solución comercial que fuera apta para este tipo de mediciones no se consiguió. Por lo tanto los sensores tuvieron que ser diseñados y construidos expresamente, además esta fase tomó mucho tiempo. Los sensores de carga estaban basados en medidores de tensión en un arreglo de puente de Wheastone. Al puente se le proveía con un voltaje de referencia y a la salida del puente se amplificaba y se filtraba cerca de la localización del sensor.

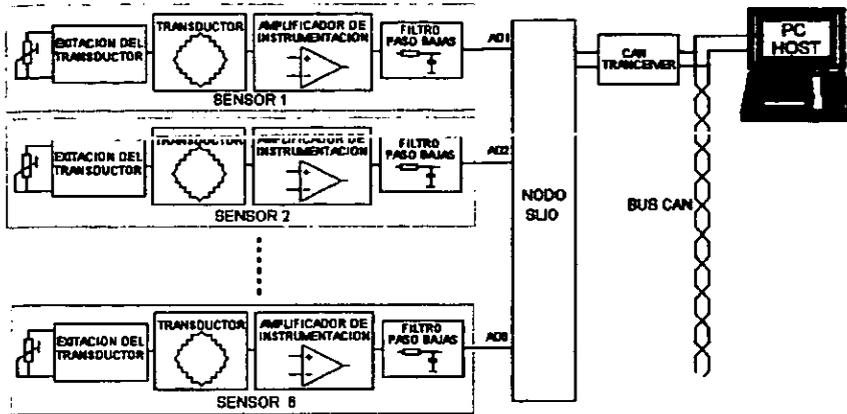


Fig. 5-21 Cadena de procesamiento del sensor

El sensor de aceleración era del tipo piezo-resistivo, manufacturado por Nova Sensor. El acelerómetro consistía en una masa de silicio miniatura suspendida por múltiples brazos de una trama de silicio. La parte de interfaz electrónica del acelerómetro era similar a la usada en los sensores de carga.

Los transductores de presión de los frenos estaban basados en medidores de tensión de placas metálicas las cuales fueron provistas por DS EUROPE. Los transductores contaban con amplificadores de corriente internos, la señal de salida fue obtenida como una corriente en un rango de entre 4 - 20 mA.

El principio de cadena de procesamiento del sensor se muestra en la figura 5-21. Después de la amplificación la señal del sensor es transferida a un nodo SLIO y de ahí a una PC portátil para la recopilación de datos vía el bus CAN.

### Nodo SLIO

Los nodos SLIO se distribuyeron físicamente en el vehículo de tal manera que hubiera cuatro nodos en el vehículo de arrastre (cabina del trailer) y dos nodos en la caja. En cada nodo SLIO existía la posibilidad de conectar seis sensores analógicos. Se usaron cuatro líneas digitales de I/O para definir la dirección (identificador) del nodo y una línea de I/O se usó para representar el estado del nodo. La interfaz del bus CAN se hizo usando el transmisor-receptor CAN PCA82C250T. Un esquema del nodo se muestra en la figura 5-22. La fuente de voltaje del nodo es de 24V el cual es disminuido a un nivel lógico de 5V mediante un regulador de voltaje.

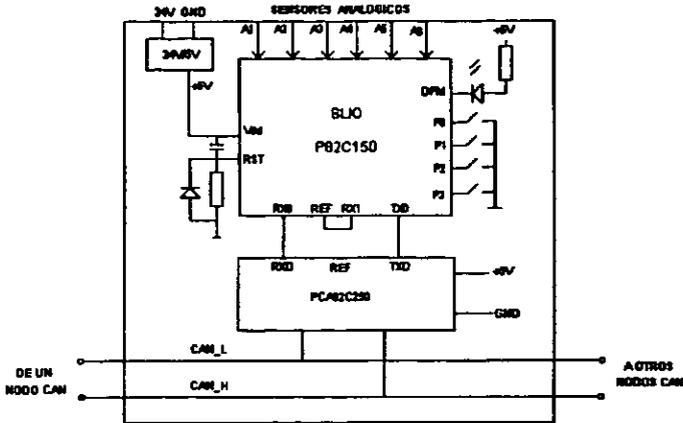


Fig 5-22 Nodo SLIO CAN

### Interfaz PC-CAN

Se usó una PC portátil como cerebro (host) de los nodos SLIO. En la ranura de expansión del bus de la PC se insertó una pequeña tarjeta de red de la PC de 8 bits. La tarjeta de red de la PC estaba basada en un microcontrolador 80C592 con el protocolo CAN integrado. El microcontrolador estaba programado para responder a los comandos recibidos de la interfaz de I/O de la PC donde el microcontrolador era un nodo maestro CAN de comunicaciones en esta red. El controlador se encargaba de recolectar cierta cantidad de datos de los parámetros de cada nodo SLIO dentro de su propia memoria RAM local antes de que la trama de datos fuese leída por la PC.

### Software CAN

Existen tres diseños de software principales en el sistema: El software del controlador CAN, el software de medición de la PC y el software de análisis de datos.

### Software del controlador CAN

El controlador CAN interpreta los comandos que vienen de la interfaz de la PC y lleva a cabo las funciones requeridas. Por ejemplo; si se envía un comando para iniciar las medidas de los SLIO, primero se enviará una secuencia de calibración y si dicha calibración resulta exitosa, entonces se permite la recepción del mensaje CAN. Cada canal A/D de los nodos SLIO son leídos periódicamente y un mensaje de calibración es enviado después de leer una secuencia. La recepción CAN hace uso de interrupciones y el manejador de interrupciones se encarga de extraer el identificador (ID) de nodo del mensaje y el resultado A/D asociado del canal analógico seleccionado en el nodo. En la figura 5-23a se muestra un diagrama de flujo del software de medición.

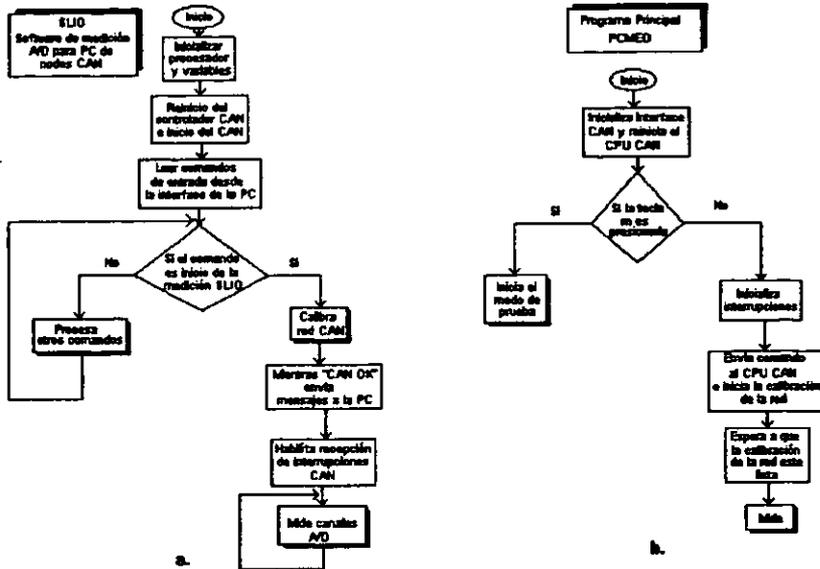


Fig. 5-23 Diagrama de flujo del software del controlador CAN (a) y Software de la interfaz a la PC.

**Software de medición de la PC**

En la figura 5-23b se muestra un diagrama de flujo del software de medición de la PC. Cuando un usuario quiere iniciar la adquisición de datos presionara la tecla *m* la cual activará el controlador CAN para iniciar la primera fase de calibración de SLIO y si dicha calibración resulta exitosa los valores de la medición de los sensores se pueden observar en la pantalla de la PC. Las medidas pueden mostrarse de dos maneras; ya sea en gráficas de barras o numéricamente.

Las mediciones se registraban cuando el usuario presionaba la tecla *1* y se terminaban al presionar la tecla *2*. El registro de mediciones se detenía automáticamente si se obtenía cierta cantidad de datos medidos. Los valores del sensor registrados se almacenaron dentro de un archivo con un nombre basado en la hora y fechas actualizadas. El usuario podría analizar más tarde los registros de datos basándose en la información del nombre de algún archivo.

**Software de análisis de datos**

Los archivos registrados fueron analizados y modificados en EXCEL. Algunos ejemplos de los resultados obtenidos durante las pruebas se muestran en la figura 5-24. Las siguientes medidas se obtuvieron de un trailer de aproximadamente 55 toneladas a una velocidad de 80 km./h. La superficie del camino estaba húmeda, era de asfalto con sal esparcida sobre él y a una temperatura de -2 grados centígrados. La figura 5-24a muestra la desaceleración de la cabina del trailer y la presión sobre la dirección del vehículo. Cuando la presión sobre la dirección de los

vehículos incrementaba, el vehículo iniciaba la fase de desaceleración y se detenía en un lapso de seis segundos.

Los resultados de las cargas del eje de la cabina del trailer se muestran en la figura 5-24b. La acumulación de la carga en la flecha frontal se incrementaba en proporción a la desaceleración del vehículo. Los valores de los sensores resultaban consistentes con los valores anticipados.

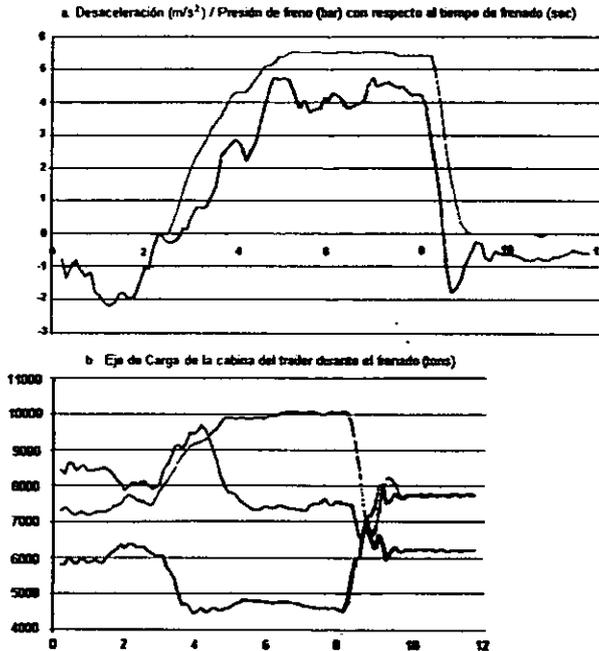


Fig 5-24 La desaceleración de la cabina del trailer de acuerdo con la presión de freno (a) y el cambio en el eje de carga del vehículo durante el frenado.

Basándonos en las pruebas llevadas a cabo hasta ahora se puede establecer que la electrónica de los sistemas CAN ha funcionado confiablemente en este rudo ambiente. Las primeras pruebas fueron realizadas en el otoño de 1993 y desde entonces muchas pruebas nuevas fueron llevadas a cabo durante los últimos años. El trailer de prueba ha sido usado para transporte de carga durante meses de invierno y sólo algunos elementos sensores han sufrido corrupción mecánica.

La confiabilidad y precisión de las medidas son satisfactorias y usándolas en los sistemas de frenado, junto con cálculos teóricos puede ser bien argumentada.

Los nodos SLIO que basados en unos pocos componentes, proporcionan soluciones compactas y fáciles de aplicar en sistemas de adquisición de datos de

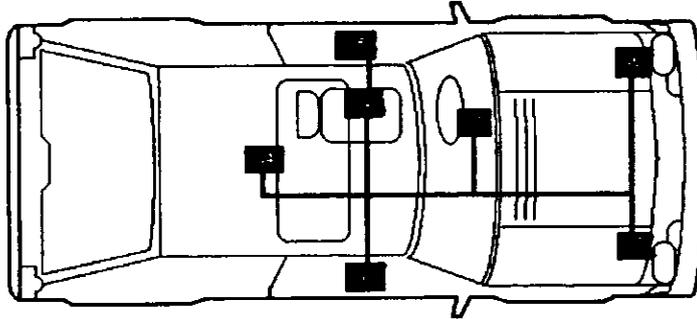
baja escala donde los requisitos de velocidad para la adquisición de datos no son muy severos. Y aunque los sistemas SLIO están limitados a sólo 16 nodos, existe todavía gran capacidad para expandir el sistema de medición aquí descrito.

## 5.8 APLICACIÓN AUTOMOTRIZ DE LOS MOTORES DE DC

Los motores de DC son usados en automóviles para incrementar las conveniencias y seguridad de manejo. Estas funciones son distribuidas a través del auto en varias aplicaciones. Estas incluyen módulos localizados en la puerta como ventanas de ventilación, control de espejos o en los asientos del conductor y pasajeros para la posición de estos y funciones como cerradura de cajuela y control del quemacocos. Todos estos sistemas tienen la característica que el control es desarrollado lejos de la acción. La Figura 5-25 muestra varias localizaciones de los motores de DC y sus sistemas de control en autos.

Un ejemplo es un asiento eléctrico donde el conductor desea tener los botones de control a la mano y el motor esta en el asiento. Otro ejemplo son los motores que controlan los espejos y ventanas de las puertas de los pasajeros. Aquí otra vez el conductor necesita tener los botones de control cerca de su mano. Tradicionalmente estos sistemas requieren un gran número de alambres de cobre y un sistema de control central para desempeñar tareas como lecturas de apagadores y manejo de motores para realizar la acción deseada. El gran número de alambres usados para el control introduce un riesgo de mal funcionamiento. En el modulo de una puerta los alambres tienen que ir por un pequeño orificio en la misma y se doblan cuando la puerta abre y cierra. Si uno de los alambres se rompe, el sistema completo quizás no opere más. También si el cableado del motor del sistema del asiento eléctrico se rompe este causará un movimiento no deseado introduciendo un riesgo en la seguridad si este ocurre mientras el auto esta siendo conducido.

La solución es reemplazar el tejido del alambrado por un alambrado del tipo bus multiplexado. Este reduce el costo del alambrado y mejora la fiabilidad del sistema, por ejemplo cuando un protocolo tolerante a fallas, como CAN, es usado para control. Además, un cableado multiplexado ofrece mayor "inteligencia" al motor ayudando a detectar mal funcionamientos directamente. Esto puede realizarse con el uso de microcontroladores dedicados. Este controlador puede directamente tomar un núcleo de efectos no deseados y puede también desarrollar una comprobación factible de los comandos. Adicionalmente un controlador de motor puede reaccionar inmediatamente cuando las funciones críticas son implementadas con seguridad. Tomando, por ejemplo, una ventana de ventilación, la cual tiene que apagarse cuando algo impide su camino, por ejemplo la cabeza de un niño o la mano de un conductor distraído. También en aplicaciones industriales sensores y actuadores son mayormente controlados por sistemas de bus multiplexados tolerantes a fallas produciendo la necesidad de integrar aplicaciones de controladores optimizadas.



- N1: Tablero de Instrumentos / Volante (Controles).
- N2: Asiento Eléctrico del Conductor.
- N3: Puertas de Pasajeros (espejos, ventanas de ventilación).
- N4: Quemacocos.
- N5: Puerta del Conductor (espejos, Ventanas de ventilación, controles).
- N6: Control de Luz Delantera Izquierda.
- N7: Control de Luz Delantera Derecha.

**Fig. 5.25 Motores de DC en automóviles**

### **Sistema de control de un motor de DC**

Un sistema de control de un motor de DC básico es mostrado en la Figura 5-26. El regulador lee el valor de la DEMANDA, coloca el valor de CONTROL y compara el valor de RETROLIMENTACION de velocidad actual.

Actualmente estas son dos de las principales implementaciones de los sistemas de control de motores de DC: una solución electromecánica donde el motor es encendido y apagado por un relevador donde solo la velocidad del motor es monitoreada, y en segundo lugar, una solución completamente eléctrica con un discreto o integrado puente H. En este último la velocidad del motor puede ser ajustada mucho más precisamente que en el primero. El bloque SENSOR consiste de cualquier disco ranurado para percibir el movimiento del motor optoelectrónicamente o de un convertidor midiendo el flujo de corriente a través del motor

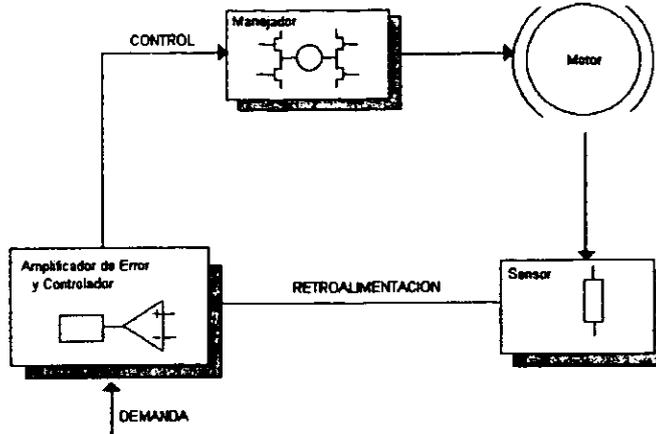


Fig. 5-26 Sistema de control de un motor de DC básico

### El sistema de control de un motor de CD Integrando el COP884BC de National

El microcontrolador COP884BC de National Semiconductor proporciona ambas implementaciones. El bloque funcional encontrado en este controlador incluye un temporizador PWM de resolución constante de alta velocidad el cual puede ser usado para el control de un puente H con un mínimo de partes externas. De la misma forma este temporizador PWM también tiene la opción de monitorear la velocidad del motor por un medidor de frecuencia de alta resolución si este corre en el modo de captura. Adicionalmente dos comparadores en el chip permiten sensar la corriente a través del motor. Uno de ellos tiene una entrada la cual puede ser conmutada a dos pins. La interfaz CAN integrada proporciona la necesidad de alta confiabilidad en la comunicación de datos multiplexados. La Figura 5-26 muestra un diagrama a bloques de la implementación y los siguientes párrafos describen el funcionamiento de los bloques con más detalle.

#### Puente H

El típico control conocido para motores de DC es el puente H. Este consiste de cuatro transistores A1, A2, B1 y B2 conectados como una H con el motor en el centro. Este esquema permite el flujo de la corriente en el motor de ambos lados. En la Figura 5-27 si A1 y B2 conducen, la corriente fluye de izquierda a derecha y viceversa si A2 y B1 están conduciendo. El otro par de transistores colocado en corte o apagado. Se debe tener cuidado de que ambos transistores de un solo lado (A1 y B2 o A2 y B1) no conduzcan al mismo tiempo o se podría tener un corto circuito llamado disparo - a través (shoot-through). Los transistores son comúnmente del tipo MOSFET. Para el control de velocidad del motor una señal PWM es aplicada a las compuertas A1 y B1. El voltaje en el motor es dependiente

en el cumplimiento del ciclo de la señal PWM. Si ambos transistores de cada dirección conducen, por ejemplo en cumplimiento de un ciclo en 100% en el lado alto del manejador, el motor corre a toda velocidad.

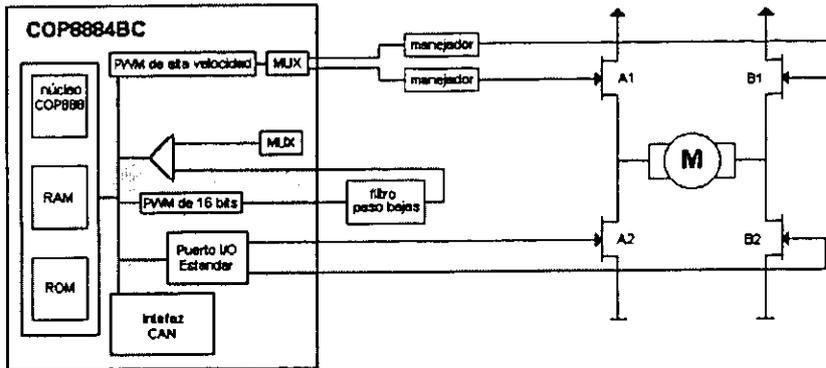


Fig. 5-27 Diagrama de bloques de un control de motor usando COP884BC

Dos puntos adicionales tienen que ser tomados en cuenta cuando se opera un motor de DC con un puente H MOSFET. Primero, como el lado alto del manejador es típicamente un dispositivo MOSFET canal n, el voltaje en el gate requiere ser más grande que el voltaje en el drain. Esto se puede hacer con un circuito tirante simple el cual carga un capacitor durante el ciclo bajo de la señal PWM y genera un voltaje de aproximadamente  $2V_{bat}$  tan pronto como el MOSFET empiece a conducir. Entre mayor sea la frecuencia de una señal de PWM, menor será el valor requerido del capacitor. Segundo, un motor consiste de un carbón y un núcleo magnético el cual resuena a la frecuencia de la PWM. La señal PWM arranca y detiene al motor permanentemente. Si la señal PWM esta por debajo de los 20 kHz (rango audible) alguien próximo al motor escuchará la resonancia inducida de la PWM en el núcleo. Por lo tanto la frecuencia de la PMW será colocada arriba del rango audible.

El microcontrolador COP884BC de National ofrece un único temporizador PWM de alta velocidad de resolución constante el cual es capaz de generar frecuencias PWM sobre los 39 kHz completamente independiente del procesador y el cual cubre el mayor rango desde alta estática a baja estática con un solo registro. La señal PWM puede ser ruteada a dos pins de salida del microcontrolador para conectarlo directamente a un circuito tirante para cada una de los lados altos del manejador ahorrando componentes externos. Ambos lados bajos del manejador pueden ser conectados a puertos del microcontrolador.

### Corriente de retroalimentación

Para medir la carga de un motor y que este listo para colocarse en apagado en el caso de que el motor este forzado se puede usar un comparador con una corriente al convertidor de voltaje. Usualmente uno desea colocar un límite de corriente

específico el cual no debe de ser excesivo para prevenir una falla en el motor. Estas son dos soluciones para la conversión de voltaje a corriente: una resistencia en la línea de tierra en ambos de los lados bajos del manejador o el uso de una resistencia Rds de cada lado bajo del MOSFET. La última tiene la ventaja que la resistencia adicional no es introducida al sistema como una resistencia más la cual resultaría en una adicional disminución de voltaje para de esta manera reducir la eficiencia del sistema. El COP884BC con estos dos comparadores mapeados a los puertos I/O soporta ambas configuraciones. También el multiplexor análogo en el comparador 2 permite la medición de dos corrientes independientes. Un voltaje de referencia, por ejemplo. Un voltaje máximo, es conectado a la otra terminal del comparador. Una forma simple para generar este voltaje de referencia es el uso de una señal PWM y un filtro paso bajas del tipo RC. La frecuencia PWM es aplicada al filtro paso bajas. En la salida del filtro un voltaje directamente proporcional al cumplimiento del ciclo será el resultado. Este circuito provocará en el comparador una salida sostenida tan pronto como el voltaje indicando la corriente a través del motor excede el voltaje colocado por la referencia. La Figura 5-28 muestra el diagrama de bloques del comparador y los pins I/O mapeados junto con el temporizador PWM Generando el valor de referencia. Las resistencias Rds son mostradas en la figura también.

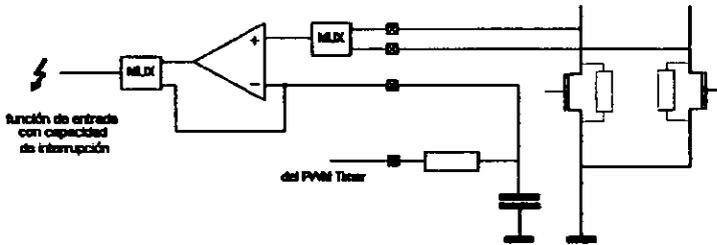


Fig. 5-28 PWM y comparador

### Interfaz multiplexada

El sistema CAN opera en ambas formas de configuración de alambrado; simple o dual con una mínima cantidad de componentes externas (interfaz ISO de baja velocidad). La interfaz CAN implantada en el COP884BC proporciona lo necesario para una comunicación muy sofisticada pero a bajo costo. La interfaz altamente compatible con las especificaciones del CAN 2.0 B (pasivo). Para proporcionar el costo eficiente National redujo el número de registros bajando a cuatro para cada mensaje dando como resultado en un procesamiento completamente automático de mensajes de dos bytes para la interfaz y la necesidad de software de interacción para mensajes mayores. Este esquema puede ser usado como la parte del trabajo de un controlador de motor y CAN es el único usado para propósitos de configuración. También el filtro de aceptación es reducido a siete bits un filtrado fino de mensajes puede ser hecho por software como fuente. La típica velocidad de bus de un controlador es de 125 kbits/s el cual da 128 us para dos tiempos de

bit lo cual es suficiente para que el controlador almacene los datos si el mensaje es mayor a dos bytes de datos.

### Procesador

El procesador que controla al motor debe de ajustar la frecuencia PWM, leer la corriente y obtener comandos a través de la interfaz CAN. Adicionalmente puede llevar a cabo otras tareas como realizar diagnosticos, leer en los conmutadores (switches) y establecer los bits de status hacia el mundo exterior. Para esta funcionalidad una ROM de 2 Kbyte y RAM de 64Bytes son suficientes. La aplicación optimizada de la familia COP8uC ofrece un conjunto de códigos altamente eficientes y bloques funcionales dedicados para varias aplicaciones. La familia COP888 da un esquema de interrupciones en vector permitiendo la fácil implantación de rutinas de interrupción para los diferentes periféricos integrados en el chip. Esto incluye tres fuentes de interrupción para la interfaz CAN, una interrupción interna de alta prioridad, una para los comparadores y una interrupción externa multifuente adicional y un total de cuatro para los varios temporizadores integrados en el chip. Para reducir el consumo de corriente existen dos modos de ahorro de potencia HALT e IDLE. El primero "congela" completamente al procesador y todos los bloques periféricos integrados al chip. Sin embargo, el dispositivo despertará si un mensaje CAN es recibido o por otras siete señales de entrada que son programables por el usuario. El modo IDLE "congela" el núcleo y todos los bloques periféricos exceptuando el temporizador IDLE y el circuito reloj permitiendo tiempos de reinicio más rápidos o reinicios periódicos. Todos los puertos I/O en el chip tienen una entrada Schmitt Trigger una débil capacidad de pull-up permitiendo al diseñador reducir el número de componentes externos. Adicionalmente se cuenta con bloques específicos para reducir las emisiones electromagnéticas.

## CAPITULO 6

### COSTO-BENEFICIO

#### 6.1 COSTO-BENEFICIO

Durante los últimos años; más y más empresas manufactureras de automóviles han desistido en el uso de su propia solución en cuanto a protocolo de comunicación y han optado por el CAN, esperando con esta decisión un incremento posterior en el volumen de producción del CAN y por consiguiente la reducción de costos por cada nodo de comunicación. El costo es un aspecto demasiado sensible en aplicaciones automotrices: El objetivo es conseguir un costo por nodo menor a los diez pesos (\$1, si hablamos en términos de dólares).

Independientemente de las industrias automotrices, donde cada uno de las grandes manufactureras de automóviles pueden especificar por si solos las plataformas de más abajo y de más arriba (según el protocolo OSI los niveles 1 y 7) dado la gran cantidad de nodos requeridos para aplicaciones típicas, la mayoría de las compañías de automatización industrial son pequeñas y medianas, y por lo tanto dependen demasiado de un estándar establecido, el CAN permite los siguientes puntos: ( pudiendose comprobar que redundan en beneficio de las propias compañías automotrices)

- La existencia de proveedores múltiples de los sistemas relacionados con el protocolo CAN, que proporcionen a los clientes un amplio soporte y seguridad, además de libertad para conjuntar e implantar el sistema, consistente en módulos diferentes, tales como:
  - Controladores Centrales proporcionados por el proveedor X1 o X2, etc.
  - Controladores Inteligentes del Motor proporcionados por el proveedor Y1 o Y2, etc.
  - Sistema de Observación proporcionado por el proveedor Z1 o Z2, etc.
  - Herramientas de prueba e instalación proporcionadas por el proveedor T1 o T2, etc.
- Reducción de los costos debido a la facilidad de integración de un módulo dentro del sistema.

En 1992 con el surgimiento de la "CiA" (CAN in automation) que es una asociación de usuarios, se ha continuado de manera exitosa el trabajo para la armonización de cuestiones relacionadas con el CAN, y debido a ello se ha incrementado la aceptación del CAN lo cual implica una expansión del mercado para la comunidad del sistema CAN. Dicha asociación comprende más de 200 compañías miembros entre las que se encuentran: proveedores de semiconductores; pequeñas, medianas y grandes empresas proveedoras y manufactureras de automatización de maquinaria, proveedoras de herramientas, etc. En un principio los miembros eran principalmente compañías alemanas. Pero de cualquier manera, casi todos los países Europeos y los E.U. se encuentran representados dentro de la asociación.

Esto en conjunto es lo que ha conducido al gran éxito del CAN, no sólo dentro del área automotriz, como lo muestran sus ventas en la figura 6.1, que se obtuvo de un conservador análisis de mercado

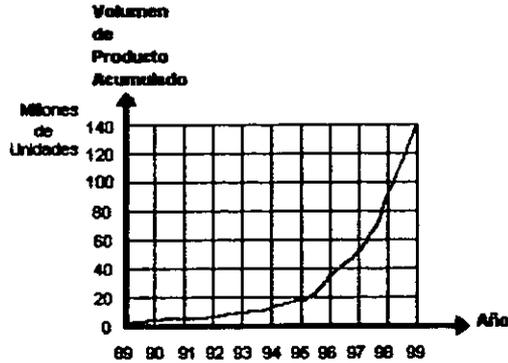


Fig. 6-1 Volumen de producción acumulado del CAN

El análisis de mercado está basado en un cuestionario realizado; por el ingeniero alemán Wolthard Lawrenz, especialista en temas relacionados con el sistema CAN, a fabricantes de semiconductores, preguntándoles sobre sus ventas hacia el final de 1994 y sus expectativas de futuras ventas basadas en comentarios de sus respectivos clientes.

El análisis representa las cifras mínimas hasta ahora sin tomar en cuenta algunos cambios recientes importantes enfocados hacia la aplicación del CAN, como son:

- Las empresas automotrices francesas decidieron en 1995 adoptar el sistema CAN para sus aplicaciones de comunicación en vehículos, en lugar del sistema previo llamado VAN.
- Existen decisiones pendientes en cuanto al CAN por parte de industrias automotrices de Estados Unidos.
- El incremento de ventas del CAN debidas al mercado de automatización en el ámbito mundial.

Analizando la curva de ventas se muestra que 9 millones de interfaces CAN habían sido vendidas desde 1989, cuando el primer chip CAN fue lanzado, y hasta 1994, fecha en que otros fabricantes de semiconductores, como Philips, lanzaron sus productos CAN. Para finales de 1996, se esperaban unas cifras de ventas de 30 millones, y para fines de este milenio se proyectan ventas mayores a los 140 millones. En 1996 se venderían en promedio 20 millones de chips CAN por año y

se espera que para fin del milenio este promedio hubiese aumentado a 40 millones.

Teniendo en cuenta que estas predicciones son pesimistas, y comparándolas con las ventas de otros buses de campo (fieldbuses) nos da la idea de la importancia y el todavía creciente potencial del CAN, que a fin de cuentas se traduce en beneficios económicos.

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

Una de las finalidades básicas, cuando se consideran "fieldbuses" para comunicación en aplicaciones de control industrial tales como el CAN, es la reducción de la complejidad relacionada al cableado del mismo. Además, el uso de redes ofrece ventajas adicionales, tales como la facilidad para cablear, facilidad de cambiar el cableado dañado, facilidad para añadir módulos controladores, etc.

Considerando desde otro punto de vista y con base en las características del sistema CAN podemos concluir que dicho sistema presenta las siguientes características:

- Técnica de cableado eficiente en cuanto a costos.
- Confiabilidad incrementada sobre el sistema completo, así como la simplificación para el mantenimiento debido a la reducción en el número de conectores y cables.
- Diagnósticos del sistema superiores y más eficientes. La red, que es comparable a la "columna vertebral" de todo el sistema, permite diagnósticos de cualquier nodo de control del sistema desde cualquier punto localizado en la red.
- Mayor flexibilidad en la disposición física del sistema. Si algún dispositivo de control del sistema necesita ser posicionado en otra localización, la conexión hacia el resto del sistema se lleva a cabo de manera sencilla con sólo mover un punto de acceso a la red hacia dicha localización. Si todo el sistema de control necesita modificaciones pueden realizarse fácilmente.
- La parametrización de los nodos controladores, así como de los sensores/actuadores se consigue fácilmente en cualquier localización donde un nodo pueda estar. La parametrización puede ser ejecutada eficientemente desde un nodo central (master node) o en cualquier otra localización en la red, sin importar donde puedan estar localizados los módulos individuales que se deben parametrizar. En cualquier parte de la red el estado de los parámetros y los datos de los módulos de la red es accesible, no importando donde se encuentren los nodos individuales.
- La velocidad de la comunicación, llamada tasa de datos, es uno de los parámetros críticos de las redes de acuerdo a la necesidad del sistema de contar con comunicación en tiempo real. El convertir de manera "lógica" los cables individuales tradicionales del sistema en un solo cable de red se basa en la suposición/restricción de que cualquiera de los cables individuales previos requerían un ancho de banda más bajo comparado con el ancho de

banda provisto por el cable tradicional. Y esta es una característica básica de los sistemas CAN.

**BIBLIOGRAFIA**

**LIBROS**

- Spragins, Hammond, Pawlikowski                      Telecommunications Protocols & Design, Editorial Addison-Wesley, 2ª Edición, 1992
- Wayne Tomasi                                      Electronic Communications Systems, Editorial Prentice Hall, 2ª Edición, 1988
- Wolaver, Roadstrom                              Introducción a la Ingeniería Eléctrica, Editorial Harla, 1989
- Madron Thomas W.                              Redes de Area Local, Editorial Wiley, 2ª Edición, 1990
- Bosch GmbH Robert                              CAN Specification 2.0, Editorial Robert Bosch, 1ª Edición, 1991
- Hunting Brad                                      Circuit Cellar INK Magazine " The Solutions in CAN", Editorial Circuit Cellar INK, 1ª Edición, Julio-Agosto 1997
- Mondada Matteo                                      Introducción al CAN, Editorial CIMSI (Italia), 1ª Edición, 1998
- Zeltwanger Holger                                      CAN Newsletter Magazine, Editorial CAN in Automation, 1ª Edición, Junio 1998.
- Zeltwanger Holger                                      CAN Newsletter Magazine, Editorial CAN in Automation, 1ª Edición, Septiembre 1998.
- Lawrenz Wolfhard                                      CAN System Engineering, Editorial Springer, 1ª Edición, 1997
- Schwarz, Blaich, Felgers & otros                      Automotive Electric / Electronic Systems, Editorial Robert Bosch & SAE, 2ª Edición, 1994

## **PAGINAS WEB**

<http://www.can-cia.de/>

**Descripción:** Página de la organización alemana CAN in Automation  
**Ligas Principales:** CiA Bulletin Boards, CAN Books, Tollfree CAN Phone, CAN Info in German, ICC Call for Papers, CiA members, CAN the Bus  
**Fechas de Consulta:** Enero 1998 a Enero 2000

<http://www.bosch.de/k8/can/>

**Descripción:** Página de GmbH Roberts Bosch  
**Ligas Principales:** what is CAN?, CAN Literature & Links, CAN Products, About us  
**Fechas de Consulta:** 1999

<http://www.omegas.co.uk/CAN/>

**Descripción:** Página introductoria al sistema CAN  
**Ligas Principales:** History, implementing CAN, CAN in the industry, Seminars, Other Web sites  
**Fechas de Consulta:** Enero a Junio 1998

<http://www.hitex.com/can/>

**Descripción:** Página de la compañía HITEX  
**Ligas Principales:** Introduction, Links, High Level protocols, Products, Seminars  
**Fechas de Consulta:** Enero a Junio 1998

<http://www.ncl.ac.uk/~nrauto/canopen.htm>

**Descripción:** Página de estudiantes de la Universidad de Newcastle  
**Ligas Principales:** Introduction, Links, Higher Layer Protocol.  
**Fechas de Consulta:** Enero 1999 a Julio 1999

<http://www.kvaser.se/>

**Descripción:** Página de Soluciones Avanzadas en CAN  
**Ligas Principales:** Corporate Information;CAN; CAN Kingdom; Distributed Control Systems; Products.  
**Fechas de Consulta:** Enero a Junio 1999

**ANEXOS**

**MICROCONTROLADOR COP884BC DE NATIONAL SEMICONDUCTOR**

## COP884BC/COP885BC 8-Bit CMOS ROM Based Microcontrollers with 2k Memory, Comparators, and CAN Interface

### General Description

The COP884BC ROM based microcontrollers are highly integrated COP8™ Feature core devices with 2k memory and advanced features including a CAN 2.0B (passive) interface and two Analog comparators. These single-chip CMOS devices are suited for applications requiring a full featured controller with a CAN interface, low EMI, and an 8-bit 39 kHz PWM timer. COP87L84BC devices are pin and software compatible 16k OTP (One Time Programmable) versions for pre-production, and for use with a range of COP8 software and hardware development tools.

Features include an 8-bit memory mapped architecture, 10 MHz CKI (crystal osc) with 1µs instruction cycle, one multi-function 16-bit timer/counter, 8-bit 39 kHz PWM timer with 2 outputs, CAN 2.0B (passive) interface, MICROWIRE/PLUS™ serial I/O, two Analog comparators, two power saving HALT/IDLE modes, Idle timer, MIWU, software selectable I/O options, Power on Reset, low EMI 4.5V to 5.5V operation, and 20/28 pin packages.

Note: A companion device with CAN interface, more I/O and memory, A/D, and USART is the COP888EB.

Devices included in this datasheet are:

Device	Memory (bytes)	RAM (bytes)	I/O Pins	Packages	Temperature
COP884BC	2k ROM	64	18	28 SOIC	-55 to +125°C
COP884BC	2k ROM	64	18	28 SOIC	-40 to +85°C
COP885BC	2k ROM	64	10	20 SOIC	-55 to +125°C
COP885BC	2k ROM	64	10	20 SOIC	-40 to +85°C

### Key Features

- CAN 2.0B (passive) interface
- Power On Reset (selectable)
- One 16-bit timer, with two 16-bit registers supporting:
  - Processor Independent PWM mode
  - External Event counter mode
  - Input Capture mode
- High speed, constant resolution 8-bit PWM/frequency monitor timer with 2 output pins
- 2048 bytes on-board ROM
- 64 bytes on-board RAM

### Additional Peripheral Features

- Idle Timer
- Multi-Input Wake Up (MIWU) with optional interrupts (7)
- Two analog comparators
- MICROWIRE/PLUS serial I/O

### I/O Features

- Memory mapped I/O
- Software selectable I/O options (TR3-STATE® Output, Push-Pull Output, Weak Pull-Up Input, High Impedance Input)
- Schmitt trigger inputs on ports G and L
- Packages: 28 SO with 18 I/O pins and 20 SO with 10 I/O pins

### CPU/Instruction Set Features

- 1 µs instruction cycle time
- Eleven multi-source vectored interrupts servicing
  - External Interrupt
  - Idle Timer T0
  - Timer T1 (with 2 interrupts)
  - MICROWIRE/PLUS
  - Multi-Input Wake Up
  - Software Trap
  - PWM Timer
  - CAN interface (with 3 interrupts)
- Versatile and easy to use instruction set
- 8-bit Stack Pointer (SP) — stack in RAM
- Two 8-bit Register Indirect Data Memory Pointers (B and X)

### Fully Static CMOS

- Two power saving modes: HALT and IDLE
- Low current drain (typically <1 µA)
- Single supply operation: 4.5V–5.5V
- Temperature ranges: -40°C to +85°C, -55°C to +125°C

### Development Support

- Emulation and OTP devices
- Real time emulation and full program debug offered by MetaLink Development Systems

COP8™, and MICROWIRE/PLUS™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.  
TR3-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.  
META-Link™ is a registered trademark of MetaLink Corporation.

# Block Diagram

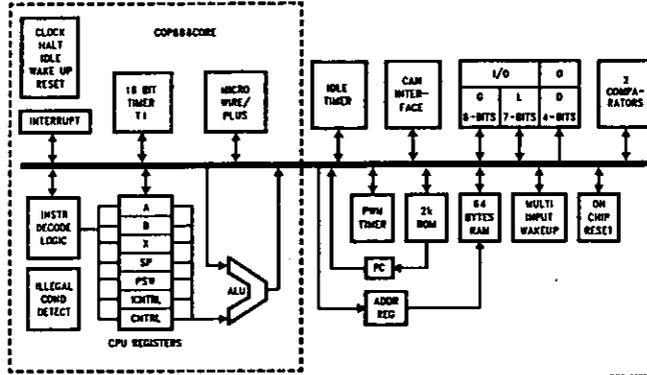
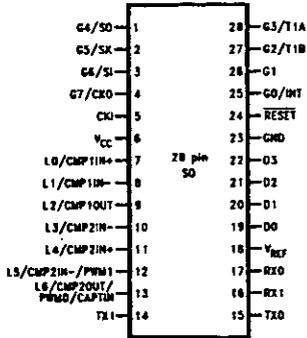


FIGURE 1. Block Diagram

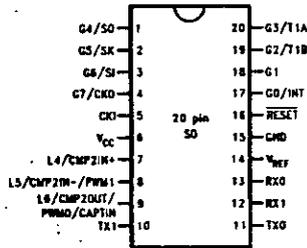
00013007-1

## Connection Diagrams



Top View

Order Number COP684BC-xxx/WM or  
COP684BC-xxx/WMS  
See NS Package Number M25B



Top View

Order Number COP685BC-xxx/WB or  
COP685BC-xxx/WM  
See NS Package Number M20B

FIGURE 2. Connection Diagrams

## Pinouts for 28-50 Package

Port	Pin	Type	Alt. Function	20-Pin SO	28-Pin SO
G0		IO	INTR	17	25
G1		IO		18	26
G2		IO	T1B	19	27
G3		IO	T1A	20	28
G4		IO	SO	1	1
G5		IO	SK	2	2
G6		I	SI	3	3
G7		I	CKO	4	4
L0		IO	CMP1IN+/MIWU		7
L1		IO	CMP1IN-/MIWU		8
L2		IO	CMP1OUT/MIWU		9
L3		IO	CMP2IN-/MIWU		10
L4		IO	CMP2IN+/MIWU	7	11
L5		IO	CMP2IN-/PWM1/MIWU	8	12
L6		IO	CMP2OUT/PWM0/ CAPTIN/MIWU	9	13
D0		O			19
D1		O			20
D2		O			21
D3		O			22
CAN VREF				14	18
CAN Tx0		O		11	15
CAN Tx1		O		10	14
CAN Rx0		I	MIWU (Note 1)	13	17
CAN Rx1		I	MIWU	12	16
VCC				6	6
GND				15	23
CKI		I		5	5
RESET		I		16	24

Note 1: The MIWU function for the CAN interface is internal (see CAN interface block diagram)

### Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) 6V  
Voltage at Any Pin  $-0.3V$  to  $V_{CC} + 0.3V$

Total Current into  $V_{CC}$  Pin (Source) 90 mA

Total Current out of GND Pin (Sink) 100 mA

Storage Temperature Range  $-65^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$

Note 2: Absolute maximum ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications are not assured when operating the device at absolute maximum ratings.

### DC Electrical Characteristics COP884BC:

$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Voltage		4.5		5.5	V
Power Supply Ripple (Note 3)	Peak-to-Peak			$0.1 V_{CC}$	V
Supply Current				15	mA
CKI = 10 MHz (Note 4)	$V_{CC} = 5.5V, t_r = 1 \mu s$				
HALT Current (Notes 5, 6)	$V_{CC} = 5.5V, CKI = 0$ MHz Power-On Reset Enabled		<300	480	$\mu A$
	Power-On Reset Disabled		<250	380	$\mu A$
IDLE Current (Note 6)					
CKI = 10 MHz	$V_{CC} = 5.5V, t_r = 1 \mu s$			5.5	mA
Input Levels ( $V_{IH}, V_{IL}$ )					
Reset, CKI					
Logic High		$0.8 V_{CC}$			V
Logic Low				$0.2 V_{CC}$	V
All Other Inputs					
Logic High		$0.7 V_{CC}$			V
Logic Low				$0.2 V_{CC}$	V
Hi-Z Input Leakage	$V_{CC} = 5.5V$			$\pm 2$	$\mu A$
Input Pull-up Current	$V_{CC} = 5.5V, V_{IN} = 0V$	-40		-250	$\mu A$
G and L Port Input Hysteresis	(Notes 9, 10)		$0.05 V_{CC}$		V
Output Current Levels D Outputs					
Source	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = 3.3V$	-0.4			mA
Sink	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 1.0V$	10			mA
Comparator Output (L2, L6)					
Source (Push-Pull)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = 3.3V$	-1.6			mA
Sink (Push-Pull)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 0.4V$	1.6			mA
CAN Transmitter Outputs					
Source (Tx1)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = V_{CC} - 0.1V$	-1.5			mA
	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = V_{CC} - 0.6V$	-10			mA
Sink (Tx0)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 0.1V$	1.5			mA
	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 0.6V$	10			mA
All Others					
Source (Weak Pull-Up)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = 2.7V$	-10		-110	$\mu A$
Source (Push-Pull)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = 3.3V$	-0.4			mA
Sink (Push-Pull)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 0.4V$	1.6			mA
TRI-STATE Leakage	$V_{CC} = 5.5V$			$\pm 2.0$	$\mu A$
Allowable Sink/Source Current per Pin					
D Outputs (Sink)				15	mA
Tx0 (Sink) (Note 10)				30	mA
Tx1 (Source) (Note 10)				30	mA
All Other				3	mA

## DC Electrical Characteristics COP884BC: (Continued)

$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Maximum Input Current without Latchup (Notes 8, 10)	Room Temp			$\pm 100$	mA
RAM Retention Voltage, $V_r$ (Note 9)	500 ns Rise and Fall Time	2.0			V
Input Capacitance	(Note 10)			7	pF
Load Capacitance on D2				1000	pF

Note 3: Maximum rate of voltage change must be less than 0.5 V/ns

Note 4: Supply current is measured after running 2000 cycles with a square wave CKI input, CKO open, inputs at  $V_{CC}$  or GND, and outputs open.

Note 5: The HALT mode will stop CKI from oscillating in the Crystal configurations. Halt test conditions: All inputs tied to  $V_{CC}$ , L, and O port I/Os configured as outputs and programmed low, D outputs programmed low. Parameter refers to HALT mode entered via setting bit 7 of the O Port data register. Part will pull up CKI during HALT in crystal clock mode.

Note 6: HALT and IDLE current specifications assume CAM block and comparators are disabled.

### Absolute Maximum Ratings (Note 7)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) 7V  
Voltage at Any Pin  $-0.3V$  to  $V_{CC} + 0.3V$

Total Current into  $V_{CC}$  Pin (Source) 100 mA

Total Current out of GND Pin (Sink) 110 mA

Storage Temperature Range  $-65^{\circ}C$  to  $+150^{\circ}C$

Note 7: Absolute maximum ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications are not ensured when operating the device at absolute maximum ratings.

### DC Electrical Characteristics COP684BC:

$-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Voltage		4.5		5.5	V
Power Supply Ripple (Note 3)	Peak-to-Peak			$0.1 V_{CC}$	V
Supply Current				15	mA
CKI = 10 MHz (Note 4)	$V_{CC} = 5.5V, t_c = 1 \mu s$				
HALT Current (Notes 5, 6)	$V_{CC} = 5.5V, CKI = 0$ MHz		<300	480	$\mu A$
	Power-On Reset Enabled		<250	380	$\mu A$
	Power-On Reset Disabled				
IDLE Current (Note 6)				5.5	mA
CKI = 10 MHz	$V_{CC} = 5.5V, t_c = 1 \mu s$				
Input Levels ( $V_{IH}, V_{IL}$ )					
Reset, CKI					
Logic High		$0.8 V_{CC}$			V
Logic Low				$0.2 V_{CC}$	V
All Other Inputs					
Logic High		$0.7 V_{CC}$			V
Logic Low				$0.2 V_{CC}$	V
Hi-Z Input Leakage	$V_{CC} = 5.5V$			$\pm 5$	$\mu A$
Input Pull-up Current	$V_{CC} = 5.5V, V_{in} = 0V$	-35		-250	$\mu A$
G and L Port Input Hysteresis	(Note 9)		$0.05 V_{CC}$		V
Output Current Levels D Outputs					
Source	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = 3.3V$	-0.4			mA
Sink	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 1.0V$	9.0			mA
Comparator Output (L2, L6)					
Source (Push-Pull)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = 3.3V$	-1.6			mA
Sink (Push-Pull)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 0.4V$	1.6			mA
CAN Transmitter Outputs					
Source (Tx1)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = V_{CC} - 0.1V$	-1.5			mA
	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = V_{CC} - 0.6V$	-10			mA
Sink (Tx0)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 0.1V$	1.5			mA
	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 0.6V$	10			mA
All Others					
Source (Weak Pull-Up)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = 2.7V$	-9.0		-100	$\mu A$
Source (Push-Pull)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OH} = 3.3V$	-0.4			mA
Sink (Push-Pull)	$V_{CC} = 4.5V, V_{OL} = 0.4V$	1.4			mA
TRU-STATE Leakage	$V_{CC} = 5.5V$			$\pm 5.0$	$\mu A$
Allowable Sink/Source Current per Pin					
D Outputs (Sink)				12	mA
Tx0 (Sink) (Note 10)				30	mA
Tx1 (Source) (Note 10)				30	mA
All Other				2.5	mA

### DC Electrical Characteristics COP684BC: (Continued)

-55°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +125°C

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Maximum Input Current without Latchup (Notes 8, 10)	Room Temp			±100	mA
RAM Retention Voltage, V <sub>r</sub> (Note 9)	500 ns Rise and Fall Time	2.0			V
Input Capacitance	(Note 10)			7	pF
Load Capacitance on D2				1000	pF

Note 8: Pins G6 and RESET are designed with a high voltage input network. These pins allow input voltages greater than V<sub>CC</sub> and the pins will have sink current to V<sub>CC</sub> when biased at voltages greater than V<sub>CC</sub> (the pins do not have source current when biased at a voltage below V<sub>CC</sub>). The effective resistance to V<sub>CC</sub> is 750Ω (typical). These two pins will not latch up. The voltage at the pins must be limited to less than 14V.

Note 9: Condition and parameter valid only for part in HALT mode.

Note 10: Parameter characterized but not tested.

### AC Electrical Characteristics COP684BC and COP884BC:

-55°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +125°C

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Instruction Cycle Time (t <sub>i</sub> )					
Crystal/Resonator	V <sub>CC</sub> ≥ 4.5V	1.0		DC	μs
Inputs					
t <sub>SETUP</sub>	V <sub>CC</sub> ≥ 4.5V	200			ns
t <sub>HOLD</sub>	V <sub>CC</sub> ≥ 4.5V	60			ns
PWM Capture Input					
t <sub>SETUP</sub>	V <sub>CC</sub> ≥ 4.5V	30			ns
t <sub>HOLD</sub>	V <sub>CC</sub> ≥ 4.5V	70			ns
Output Propagation Delay (t <sub>PO1</sub> , t <sub>PO2</sub> ) (Note 12)					
SK, SO	C <sub>L</sub> = 100 pF, R <sub>L</sub> = 2.2 kΩ V <sub>CC</sub> ≥ 4.5V			0.7	μs
PWM Outputs	V <sub>CC</sub> ≥ 4.5V			75	ns
All Others	V <sub>CC</sub> ≥ 4.5V			1	μs
MICROWIRE					
Setup Time (t <sub>setup</sub> ) (Note 13)		20			ns
Hold Time (t <sub>hold</sub> ) (Note 13)		56			ns
Output Prop Delay (t <sub>prop</sub> )				220	ns
Input Pulse Width (Note 14)					
Interrupt High Time		1			t <sub>c</sub>
Interrupt Low Time		1			t <sub>c</sub>
Timer 1,2 High Time		1			t <sub>c</sub>
Timer 1,2 Low Time		1			t <sub>c</sub>
Reset Pulse Width (Note 13)		1.0			μs
Power Supply Rise Time for Proper Operation of On-Chip RESET		50 μs		256 t <sub>c</sub>	

Note 11: For device testing purposes of all AC parameters, V<sub>DH</sub> will be tested at 0.5V<sub>CC</sub>.

Note 12: The output propagation delay is referenced to the end of the instruction cycle where the output change occurs.

Note 13: Parameter not tested.

Note 14: t<sub>c</sub> = Instruction Cycle Time.

### On-Chip Voltage Reference:

$-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$

Parameter	Conditions	Min	Max	Units
Reference Voltage $V_{REF}$	$I_{OUT} < 80 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$	$0.5 V_{CC} - 0.12$	$0.5 V_{CC} + 0.12$	V
Reference Supply Current, $I_{DD}$	$I_{OUT} = 0\text{A}$ , (No Load) $V_{CC} = 5\text{V}$ (Note 15)		120	$\mu\text{A}$

Note 15: Reference supply  $I_{DD}$  is supplied for information purposes only. It is not tested.

### Comparator DC/AC Characteristics:

$4.5\text{V} \leq V_{CC} \leq 5.5\text{V}$ ,  $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage	$0.4\text{V} < V_{IN} < V_{CC} - 1.5\text{V}$		$\pm 10$	$\pm 25$	mV
Input Common Mode Voltage Range		0.4		$V_{CC} - 1.5$	V
Voltage Gain			300k		V/V
Outputs Sink/Source	See I/O-Port DC Specifications				
DC Supply Current (when enabled)	$V_{CC} = 6.0\text{V}$			250	$\mu\text{A}$
Response Time	TBD mV Step, TBD mV Overdrive, 100 pF Load		1		$\mu\text{s}$

### CAN Comparator DC and AC Characteristics:

$4.8\text{V} \leq V_{CC} \leq 5.2\text{V}$ ,  $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$

Parameters	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Differential Input Voltage				$\pm 25$	mV
Input Offset Voltage	$1.5\text{V} < V_{IN} < V_{CC} - 1.5\text{V}$			$\pm 10$	mV
Input Common Mode Voltage Range		1.5		$V_{CC} - 1.5$	V
Input Hysteresis		8			mV

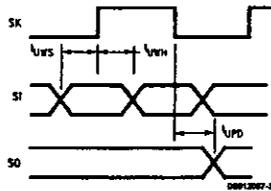


FIGURE 3. MICROWIRE/PLUS Timing Diagram

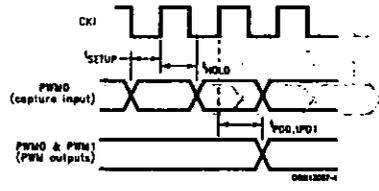
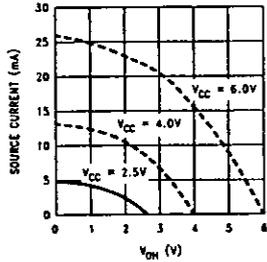


FIGURE 4. PWM/CAPTURE Timer Input/Output Timing Diagram

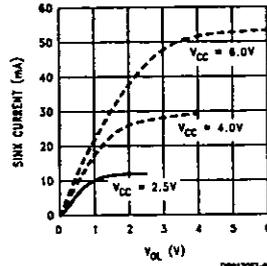
## Typical Performance Characteristics $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$

Port D Source Current



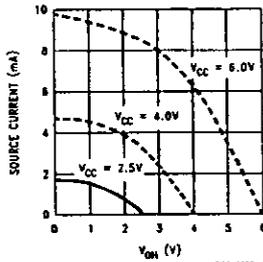
DS9130E7-39

Port D Sink Current



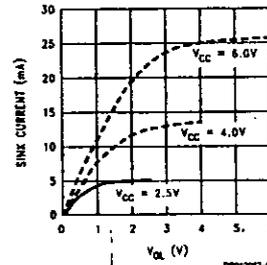
DS9130E7-40

Ports G/L Source Current



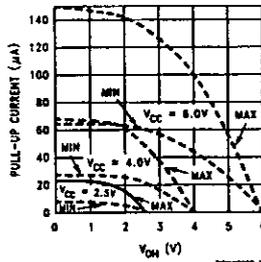
DS9130E7-41

Port G/L Sink Current



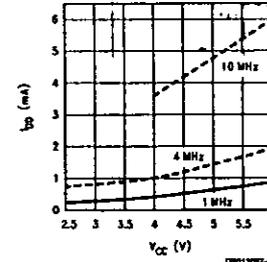
DS9130E7-42

Ports G/L Weak Pull-Up Source Current



DS9130E7-43

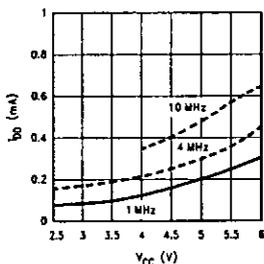
Dynamic  $I_{DD}$  vs  $V_{CC}$



DS9130E7-44

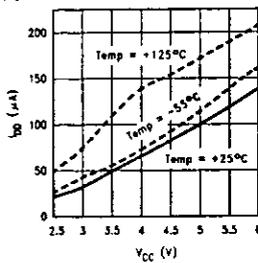
## Typical Performance Characteristics $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ (Continued)

Idle  $I_{DD}$  vs  $V_{CC}$



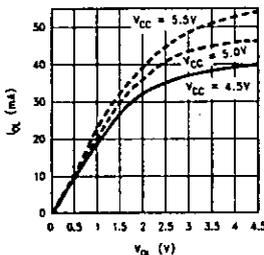
DS91207-46

Halt Supply Current



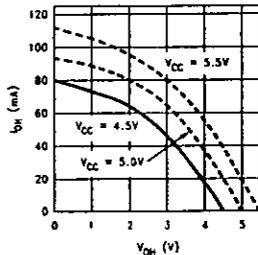
DS91207-46

CAN Tx0 Sink Current



DS91207-47

CAN Tx1 Source Current



DS91207-48

## Pin Descriptions

$V_{CC}$  and GND are the power supply pins.

CKI is the clock input. The clock can come from a crystal oscillator (in conjunction with CKO). See Oscillator Description section.

RESET is the master reset input. See Reset Description section.

The device contains one bidirectional 8-bit I/O port (G), and one 7-bit bidirectional I/O port (L) where each individual bit may be independently configured as an input (Schmitt trigger inputs on ports G and L), output or TRI-STATE<sup>®</sup> under program control. Three data memory address locations are allocated for each of these I/O ports. Each I/O port has two associated 8-bit memory mapped registers, the CONFIGURATION register and the output DATA register. A memory mapped address is also reserved for the input pins of each I/O port. (See the memory map for the various addresses associated with the I/O ports.) Figure 5 shows the I/O port configurations for the device. The DATA and CONFIGURATION registers allow for each port bit to be individually configured under software control as shown below.

Configuration Register	Data Register	Port Set-Up
0	0	Hi-Z Input (TRI-STATE Output)
0	1	Input with Weak Pull-Up
1	0	Push-Pull Zero Output
1	1	Push-Pull One Output

PORT L is a 7-bit I/O port. All L-pins have Schmitt triggers on the inputs.

Port L supports Multi-Input Wake Up (MIWU) on all seven pins.

Port L has the following alternate features:

L6 MIWU or CMP2OUT or PWM0 or CAPTIN

L5 MIWU or CMP2IN- or PWM1

L4 MIWU or CMP2IN+

L3 MIWU or CMP2IN-

L2 MIWU or CMP1OUT

L1 MIWU or CMP1IN-

L0 MIWU or CMP1IN+

Port G is an 8-bit port with 5 I/O pins (G0-G5), an input pin (G6), and one dedicated output pin (G7). Pins G0-G6 all have Schmitt Triggers on their inputs. G7 serves as the dedicated output pin for the CKO clock output. There are two reg-