

Capítulo 8

Interconexión de instrumentos

La realización de una medida requiere con frecuencia la contribución de varios instrumentos. Puede ser necesario un equipo que genere un estímulo, otro que realice la medición, un tercero para presentar los resultados de forma adecuada, después de efectuados ciertos cálculos a cargo de un cuarto, e incluso puede ser necesaria una memorización en un quinto instrumento.

Para realizar una tarea común es necesario configurar el sistema de instrumentos asegurando la comunicación e interacción entre ellos. Además, suele interesar que se pueda prefijar una secuencia de acciones mediante una secuencia de órdenes, es decir, que sea un sistema automático programable.

En la actualidad esta interconexión se suele realizar de acuerdo con la norma IEEE-488. El objetivo de este capítulo es describir las características básicas de este método de interconexión pero, con más razón que en los capítulos anteriores, hay que afirmar aquí que sólo con ayuda de la práctica se podrá alcanzar un conocimiento sólido de este tema.

8.1 SISTEMAS BASADOS EN BUS

Para realizar medidas complejas no cabe pensar en un instrumento universal pues su coste sería desorbitado. Es necesario disponer un sistema de instrumentos que realicen las funciones deseadas. Actualmente hay dos formas de configurar un sistema de este tipo: mediante unidades modulares, o con equipos compatibles.

Se consideran instrumentos modulares aquellos que para realizar su función requieren el soporte físico de un instrumento o estructura base. Son, por ejemplo, las unidades enchufables a determinados osciloscopios, los instrumentos basados en ordenadores personales, y un sinnúmero de equipos diseñados de acuerdo con la interfase CAMAC (Computer Automated Measurement and Control).

La limitación de las funciones disponibles en forma modular, a un coste razonable, hace normalmente más atractiva una solución basada en instrumentos completos compatibles entre sí.

Cuando se desea interconectar varios instrumentos, se plantean problemas que van desde lo meramente físico, como puede ser la compatibilidad entre conectores, cables y niveles de señal, hasta los aspectos más conceptuales sobre la interpretación de la información que se comunican unos a otros. Por ello, en ausencia de otros recursos, cada solución tiende a ser a la medida del problema, y, en definitiva, cara.

A principios de la década de los setenta diversos fabricantes de instrumentación empezaron a estudiar la forma de armonizar los aspectos básicos para garantizar la compatibilidad de la interconexión entre sus respectivos productos. El resultado fue la norma IEEE 488-1975 (revisada posteriormente en 1978), aceptada también por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC-625.1). El sistema CAMAC había sido publicado poco antes.

Estos dos sistemas, así como la instrumentación soportada por los ordenadores personales, están basados en el empleo de una «línea común» o «bus» para la interconexión. Consiste en una línea de comunicación común a la que todos los instrumentos están conectados simultáneamente en paralelo (figura 8.1).

Con un sistema de este tipo, la adición de nuevos equipos no exige una modificación del conexionado de los ya conectados. Además, la conexión al bus sólo ocupa uno de los puertos de entrada/salida de un equipo, restando los otros disponibles para otras funciones, como puede ser necesario en un ordenador central. La transferencia de la información entre unidades es directa, sin necesidad de pasar siempre por un equipo intermediario o de control.

Como contrapartida a esta simplificación, hay que introducir algún protocolo de comunicación para que con las órdenes oportunas se pueda transferir información de unos equipos a otros. Si, por ejemplo, se desea que el instrumento A mida una determinada magnitud y transfiera los resultados a un sistema de presentación B y a un equipo que los memorice, C, hace falta:

1) Un controlador que asigne a cada uno de los demás equipos la función que

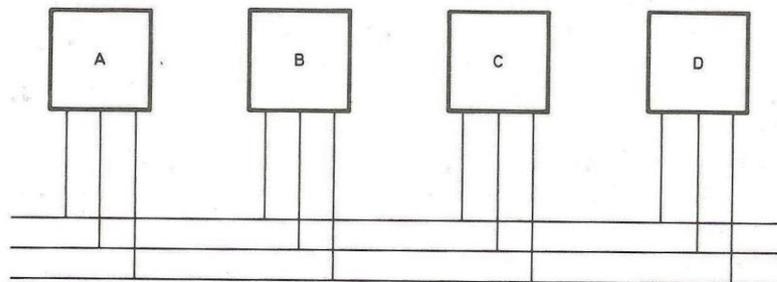


Figura 8.1 Sistema de conexión basado en una línea común (bus).

deben realizar, y supervise la transferencia de información para conocer cuándo ha acabado, interrumpir el proceso si detecta alguna anomalía, etc.

2) Disponer a A en determinada escala y asignarle el papel de transmisor de datos para que ponga en la línea los resultados de la medida.

3) Disponer a B y C para que reciban los datos, asignándoles el papel de receptores, y asegurando que no se transmitan nuevos datos hasta que ambos dispositivos hayan aceptado los anteriores.

4) A los demás equipos se les debe asignar un papel pasivo, para que no interfieran en la comunicación. Además, deben comprender las instrucciones de tipo general que emita el controlador: «atención», «inicio de mensaje», «final del mensaje».

La adopción de métodos normalizados para realizar todo este proceso ha sido uno de los aspectos más relevantes en el desarrollo de la instrumentación electrónica, por cuanto no solamente facilita el montaje de un sistema de instrumentación, sino que reduce el riesgo de obsolescencia de los instrumentos.

8.2 EL BUS IEEE-488

El sistema de interconexión de instrumentación programable descrito por la norma IEEE 488-1978, coincidente con la ANSI MC1.1, es el más frecuente en la instrumentación electrónica de laboratorio. Recibe otras designaciones comerciales, tales como HP-IB (ya que está basado en un desarrollo de Hewlett Packard), GPIB (General Purpose Interface Bus), ASCII BUS, PLUS BUS, etcétera.

El sistema descrito en la norma IEC-625.1- 1980, difiere sólo en el conector, que es de 25 contactos (en vez de 24), porque hay una línea de retorno adicional para la señal. Un inconveniente de este conector es su compatibilidad mecánica con el CCITT-V24 (RS-232-C), que maneja ± 25 V, 500 mA, frente a los ± 5 V, 48 mA suyos. Un intercambio puede ser fatal.

Estas normas se refieren a los aspectos mecánico, eléctrico y funcional (funciones permitidas en la interfase), pero no a los aspectos operativos (funciones permitidas a cada instrumento). Las normas complementarias son la IEEE 728-1982: Recommended Practice for Code and Format Conventions for Use with IEEE Std 488-1978, y la IEC 625.2, pero estas dos discrepan entre sí.

Hay que tener presente, pues, que la norma IEEE 488 no dice nada sobre qué es la información presente en el bus, o qué formato debe tener, o qué código hay que seguir. Sólo dice cómo enviarla de un lado a otro. Normalmente, por ejemplo, los datos están codificados en ASCII, y el dígito más significativo sale el primero. Pero, dado que no se dice nada de la organización de los datos, puede que un instrumento saque el byte más significativo primero y, en cambio, otro lo saque el último. También puede suceder que dos instrumentos distintos requieran órdenes totalmente distintas para realizar la misma función. Sin embargo, en ambos casos los instrumentos pueden cumplir la norma IEEE 488.

8.2.1 Especificaciones y descripción

- 1) *Número de dispositivos interconectados:* hasta 15 en un bus contiguo. Uno de ellos debe actuar necesariamente como controlador.
- 2) *Vía de interconexión:* red en estrella o en línea con una longitud total máxima de 20 m, o $(2\text{ m}) \times \text{Número de instrumentos conectados}$ —la menor de las dos—. El cable es pasivo.

En una red en estrella es mayor la capacidad parásita y, por tanto, crece la probabilidad de errores en la transmisión. En cambio la longitud de cable es menor que al conectar en línea. Los conectores son apilables, facilitando así la conexión a la red. Se recomienda no emplear tramos de cable de más de 4 m.

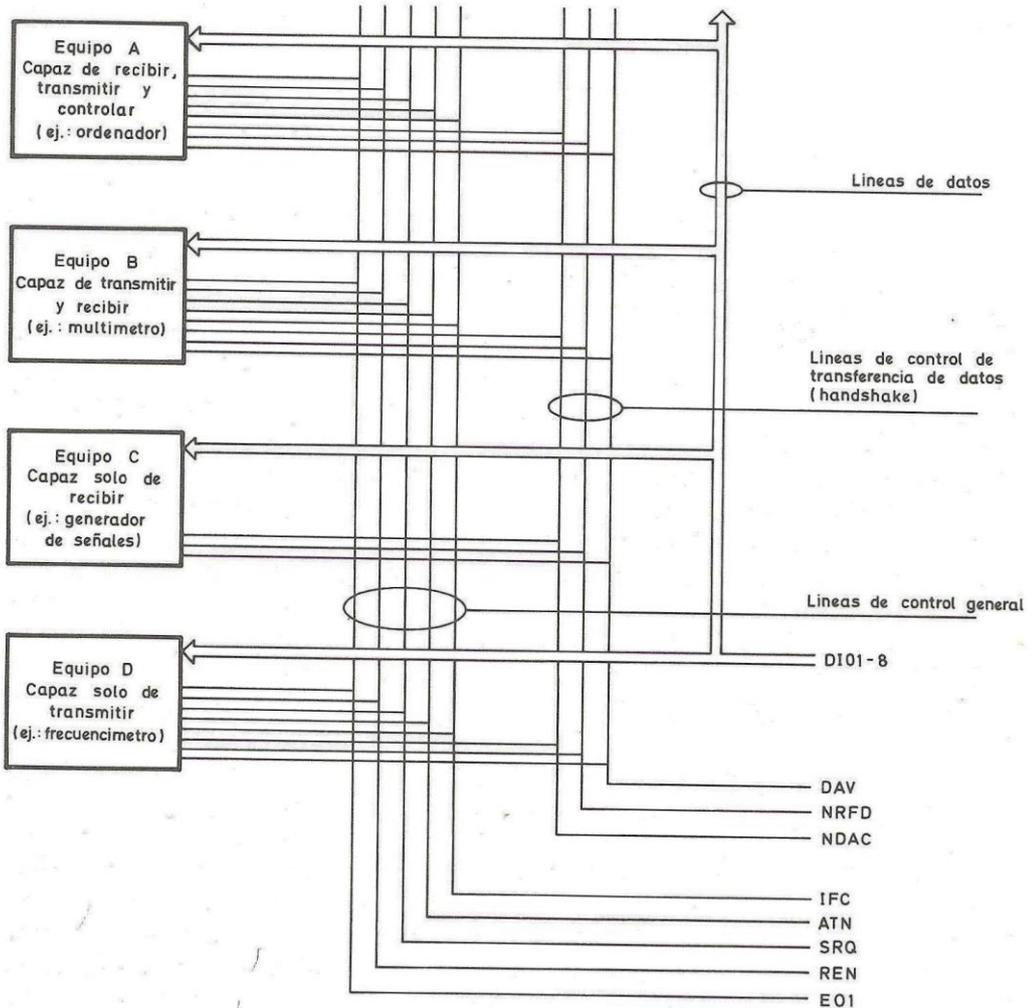


Figura 8.2 Estructura del bus IEEE-488.

3) *Líneas de señal:* 16 en total, 8 para datos (1 octeto) y 8 para mensajes de control y estado críticos (figura 8.2).

Hay 3 líneas para el control de transferencia de datos (handshake), mediante su acción combinada (DAV: data valid, NRFD: not ready for data, y NDAC: data not accepted), y 5 líneas de control general: IFC (interface clear), ATN (attention), REN (remote enable), SRQ (service request), y EOI (end or identify). Las líneas de datos son bidireccionales, de forma que se emplean las mismas líneas para entrar datos de programación a un instrumento y para sacar sus resultados.

4) *Método de transferencia de mensajes:* transferencia asíncrona de octetos (bytes) serie-bits paralelo, controlada por las 3 líneas de handshake combinadas.

Una comunicación asíncrona permite establecer, a costa de una mayor lentitud, una velocidad de transferencia adecuada a la de cualquier instrumento. Se pueden interconectar así sistemas con velocidades de entrada/salida muy dispares.

5) *Velocidad máxima de transferencia:* 1 megabyte/s, para distancias muy cortas. Lo normal son de 250 a 500 kilobytes/s a lo largo de toda la línea, como máximo, si bien no se suele exceder de 5 a 20 000 bytes/s.

6) *Funciones de la interfase:* 10 en total; 5 primarias de comunicación y 5 especializadas. No todos los instrumentos conectados al bus tienen por qué tener la misma capacidad funcional, y la norma no se la exige.

7) *Capacidad de direccionamiento:* hay 31 direcciones primarias permitidas para transmisores de datos (talk) y 31 para receptores de datos (listen). Las direcciones secundarias (definidas con 2 octetos) posibles son 961 para transmisores y 961 para receptores.

A cada instrumento se le asigna una dirección mediante un código de 7 bits, empleando conmutadores o puentes dispuestos en su circuitería, por ejemplo tal como se indica en la figura 8.3. Las direcciones de los receptores son del tipo: 01



Figura 8.3 Direccionamiento de un instrumento controlable con el bus IEEE-488. (Cortesía de Hewlett-Packard Española S.A.)

XXXXX, mientras que las de los transmisores son: 10 XXXXX. Con los 5 bits restantes se podrían definir hasta 32 direcciones, para cada tipo, pero sólo se aceptan desde la 0 a la 30. La 31 corresponde a «untalk» y «unlisten», y se reserva para que el controlador pueda devolver a todos los instrumentos al estado pasivo en que no transmiten o reciben datos, respectivamente. Un instrumento puede tener más de una dirección, pero en cada momento sólo pueden estar direccionados 1 transmisor y 14 receptores como máximo.

8) *Transferencia del control*: puede ser delegado, pero no asumido, con un máximo de 1 transmisor (y 14 receptores) en cada momento.

9) *Circuitos electrónicos en la interfase*: los circuitos de emisión (drivers) y recepción (receivers) deben ser compatibles con niveles TTL.

8.2.2 Funciones

La descripción de las 10 funciones permitidas en el bus IEEE-488, y sus mnemónicos, son las siguientes (figura 8.4):

1) *Controlador (C) (Controller)*

Un dispositivo que pueda actuar como controlador es capaz de especificar el transmisor y el receptor para una transmisión de datos, incluido el mismo. Otras tareas que realiza son el accionamiento de la línea ATN, la vigilancia de la línea SRQ, la llamada en serie o en paralelo, etc.

El controlador del sistema (System Controller), además de las funciones de todo controlador activo, puede controlar las líneas IFC y REN. Si hay más de un controlador en el sistema, puede pasar el control a otro, pero en un instante dado no puede haber más de un controlador activo, y él siempre conserva la condición de controlador del sistema. Esta condición se suele establecer mediante su propio hardware (con un puente o un conmutador), de forma que al poner en marcha el equipo o al hacer una puesta a cero (reset) del bus, es él quien asume la función de controlador activo.

2) *Receptor o receptor por extensión (L, LE) (Listener, Extended Listener)*

Esta función es necesaria para todo instrumento que se desee sea capaz de recibir datos de otro dispositivo en la interfase, cuando es direccionado. Es el caso de las impresoras, indicadores numéricos, registradores, generadores, fuentes alimentación, etc.

A priori, por defecto, todos son receptores. Cuando se direcciona a un instrumento a través del bus, asignándole el papel de receptor, no se afecta a otros posibles receptores presentes. Para suprimir éstos, es decir, evitar que reciban los datos, se debería hacer explícitamente antes de direccionar a uno dado como receptor.

Un dispositivo se considera receptor por extensión cuando su dirección viene indicada por dos octetos, formando parte de un conjunto de receptores que tienen la misma dirección primaria.

3) *Transmisor o transmisor por extensión (T, TE) (Talker, Extended Talker)*

Esta función es necesaria para todo instrumento que se desee sea capaz de transmitir datos, pero no órdenes. Es el caso de los multímetros, osciloscopios, medidores de impedancia, etc.

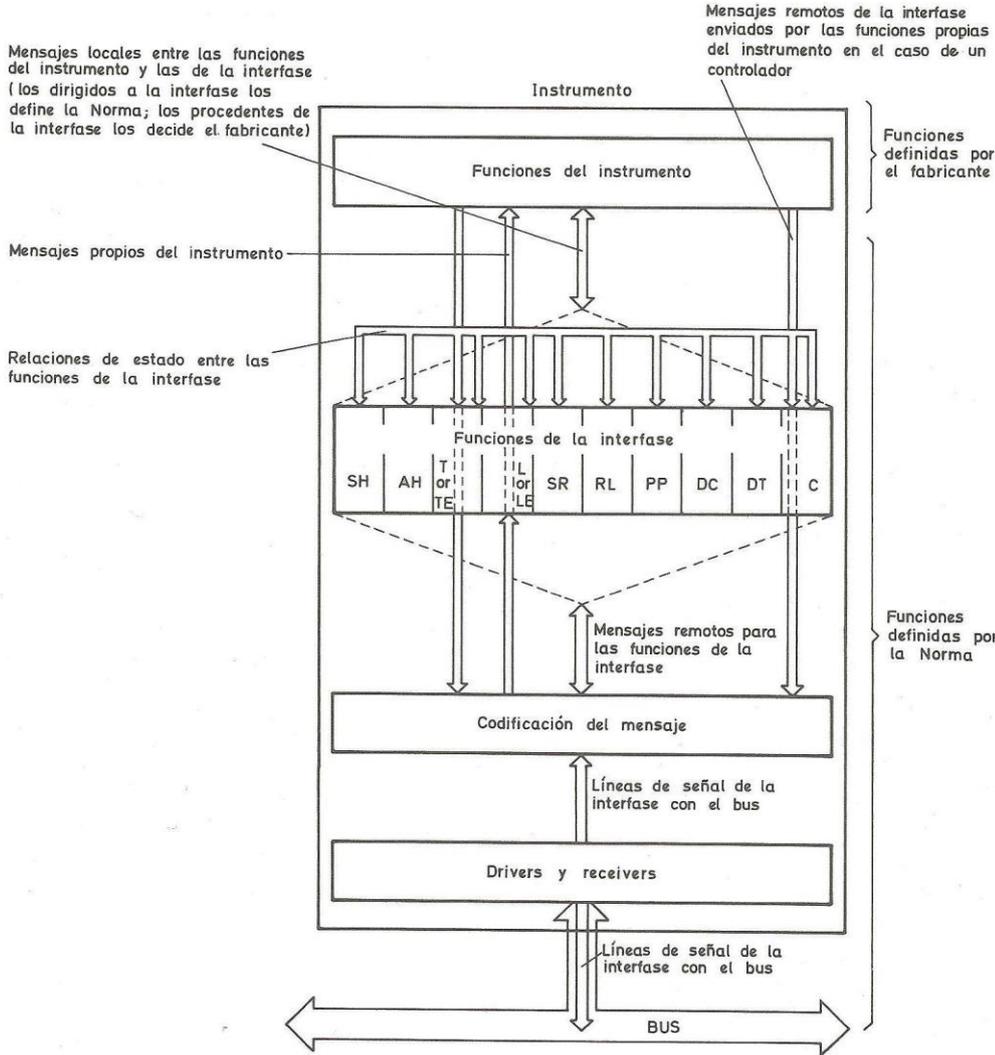


Figura 8.4 Funciones del bus IEEE-488.

Cuando se direcciona un instrumento como transmisor, se suprimen intrínsecamente todos los otros posibles transmisores que se hubiera designado previamente.

4) *Origen de handshake (SH) (Source Handshake)*

Cuando un instrumento posee esta función es capaz de poner información en los 3 hilos de protocolo para realizar una transmisión correcta mediante las 8 líneas de datos. Esta función controla el inicio y el final de la transmisión.

5) *Aceptador de handshake (AH) (Acceptor Handshake)*

Esta función permite, al dispositivo que la incorpore, obtener una recepción correcta de la información transmitida a través de las 8 líneas de datos. Le permite retrasar el inicio o el fin de la transmisión hasta que esté preparado para continuar la transferencia.

6) *Control remoto o local (RL) (Remote/Local)*

En un dispositivo con esta función se pueden seleccionar dos fuentes de información de entrada (no sobre la interfase): a través de los controles del panel frontal, o por vía remota. Puede permitir, por ejemplo, la elección de la escala, unidades, nivel de disparo, ancho de banda, etc.

7) *Petición de servicio (SR) (Service Request)*

Esta función es necesaria para poder interrogar asincrónicamente al controlador activo, que vigila la línea con esta designación continuamente. En cada instrumento hay que incorporar una función SR por cada causa de petición de servicio que se desee comunicar.

8) *Llamada en paralelo (PP) (Parallel Poll)*

Un dispositivo con esta función puede identificarse, sin necesidad de ser señalado, si desea que se le atienda y el controlador activo está pidiendo una respuesta. Cada dispositivo emplea una de las líneas de datos para identificarse y, por tanto, no puede haber más de 8 con esta función.

9) *Inicialización (DC) (Device Clear)*

Cuando se incorpora esta función un dispositivo puede ser inicializado en un estado predeterminado, que depende de cada uno. El estado de un instrumento se puede especificar mediante las acciones que está realizando, los mensajes que ha generado, y los mensajes que tienen un efecto sobre el instrumento mientras está en dicho estado.

10) *Disparo de un dispositivo (DT) (Device Trigger)*

El funcionamiento básico de un dispositivo con esta función puede ser inicializado desde el bus, individual o conjuntamente con el de otros dispositivos.

Un ejemplo de designación de un instrumento, de acuerdo con su capacidad funcional respecto a la interfase es: SH1, AH1, T5, L4, SR1, RL1, PP0, DC1, DT1, C0, E1. Su interpretación es la siguiente: es un dispositivo que puede ser origen (SH) y acepta (AH) el handshake; puede actuar como transmisor (T) y receptor (L) de datos y hacer peticiones de servicio (SR); acepta información de entrada por vía remota o local (RL), y puede ser inicializado en un estado de

referencia (DC) y en su funcionamiento (DT); pero es incapaz de atender a una llamada en paralelo (PP), y de actuar como controlador (C). Sus drivers son de tipo colector abierto; si fueran tri-state, se designaría mediante E2. Para conocer el significado de los números añadidos a T y a L, así como el de otras posibles designaciones, consultar el apéndice C de la norma IEEE 488.

8.2.3 Funcionamiento: mensajes

El tipo de información presente en las líneas de datos viene determinado por el estado de la línea de control ATN. Si es «cierto», nivel de tensión bajo, se trata de órdenes o direcciones; si es «falso», nivel alto, se trata de datos de medida, de programación o de estado.

En cuanto a las direcciones, cada instrumento compara la dirección del bus con la propia y, si coinciden, reacciona. Por ejemplo, se constituye en transmisor. Los bloques de datos se pueden acabar enviando caracteres de control (retorno de carro / salto al principio de la línea siguiente; carriage return / line feed) o mediante la puesta a cero, durante un intervalo breve, de la línea de control EOI.

La línea de control ATN la acciona el controlador activo para dar un aviso general. Indica si en las líneas de datos hay realmente datos u órdenes. Cada instrumento vigila el estado de esta línea continuamente.

Mediante la línea de control IFC, el controlador del sistema pone a todos los instrumentos en un estado inactivo predeterminado. Para ello la pone a cero durante un intervalo de tiempo. Cada instrumento vigila el estado de esta línea continuamente y debe responder a su cambio en 100 μ s.

Cambiando de nivel alto a nivel bajo la línea REN, el controlador del sistema autoriza a que el instrumento cuya dirección se da pase a ser controlado desde su panel frontal.

La línea EOI es puesta a cero momentáneamente por el transmisor de datos para indicar que ha acabado, o bien es accionada por el controlador activo, con la línea ATN puesta a cero, para hacer una llamada en paralelo.

La última línea de control, SRQ, puede ser puesta a cero por cualquier dispositivo que tenga esta función, salvo el controlador activo, para pedir atención por parte de éste.

Además de estas órdenes unilínea, hay 5 órdenes universales multilínea:

- 1) DCL: Device Clear. Todos los instrumentos, capaces de responder, vuelven a un estado inicial predefinido (dependiente de cada uno de ellos).
- 2) LLO: Local Lockout. Inhibe la acción de los controles locales de un instrumento con capacidad de programación remota.
- 3) SPE: Serial Poll Enable. Establece la llamada en serie a la que responde sucesivamente cada instrumento llamado (y capaz) mediante su byte de estado.
- 4) SPD: Serial Poll Disable. Termina la llamada serie.
- 5) PPU: Parallel Poll Unconfigure. Deja a todos los dispositivos que responden a la llamada en paralelo, en estado pasivo (incapaces de responder a llamadas en paralelo).

La utilización de lógica negativa en las 3 líneas de control de transferencia de bytes de datos (handshake) permite hacer la función lógica OR mediante cableado. Se asegura así que no se transmitan datos hasta que no esté disponible el receptor más lento, y que la transmisión es suficientemente larga para que la acepte el receptor más lento. La lógica negativa ofrece, además, inmunidad al ruido en el estado «cierto», nivel bajo (0 a 0,8 V). Al estado «falso» corresponde el nivel alto (2 a 5,2 V).

La línea DAV la controla el transmisor para indicar que los datos en las 8 líneas DIO son correctos (estables) para ser aceptados.

La línea NRFD la controla cada receptor para indicar que él no está listo para recibir datos (nivel bajo = cierto), o sí lo está. Sólo puede pasar al nivel alto cuando todos están listos para recibir datos.

La línea NDAC la controla cada receptor para indicar que él no ha aceptado los datos (nivel bajo = cierto), o sí los ha aceptado. Sólo puede pasar al nivel alto cuando todos los han aceptado. Obsérvese que la aceptación de los datos no implica necesariamente que luego se obre en consecuencia.

En la figura 8.5 se da el diagrama de tiempos para el proceso de handshake en el caso de la transferencia de un octeto de datos.

- t_1 : se establecen las condiciones iniciales en el transmisor y en los receptores. Las líneas de control pasan a los estados lógicos siguientes: DAV=0, controlada por el origen de handshake (transmisor); NRFD=1 y NDAC=1, controladas ambas por los aceptadores de handshake (receptores).
- t_2 : el transmisor verifica las líneas (NRFD y NDAC deben estar a nivel bajo) y pone un byte de datos en las líneas DIO.
- t_3 : todos los receptores han indicado que están listos para aceptar el primer byte de datos. La línea NRFD pasa al nivel alto.
- t_4 : el transmisor, una vez ha detectado que la línea NRFD está a nivel alto, y ha transcurrido un retardo suficiente para que los datos en las líneas se hayan estabilizado, indica que éstos son válidos colocando la línea DAV a nivel bajo.
- t_5 : el primer receptor que acepta los datos pone la línea NRFD a nivel bajo para indicar que no está listo para recibir otro byte, luego los acepta. Los otros receptores van haciendo lo mismo, cada uno a su aire.
- t_6 : el primer receptor que acaba pone su línea NDAC a nivel alto, para indicar que ha aceptado los datos. La línea permanece en el nivel bajo porque la retienen ahí los demás receptores.
- t_7 : cuando acaba el último receptor, pone su línea NDAC a nivel alto, y se queda ahí, pues todos han aceptado ya los datos.
- t_8 : el transmisor, al detectar que la línea NDAC está en nivel alto, pone la línea DAV en nivel alto para indicar que los datos ya no valen.
- t_9 : el transmisor retira los datos de las líneas DIO (o pone otros nuevos si se va a enviar otro octeto).
- t_{10} : el primer receptor que detecta que la línea DAV está a nivel alto pone la línea NDAC a nivel bajo, en preparación de un nuevo ciclo.

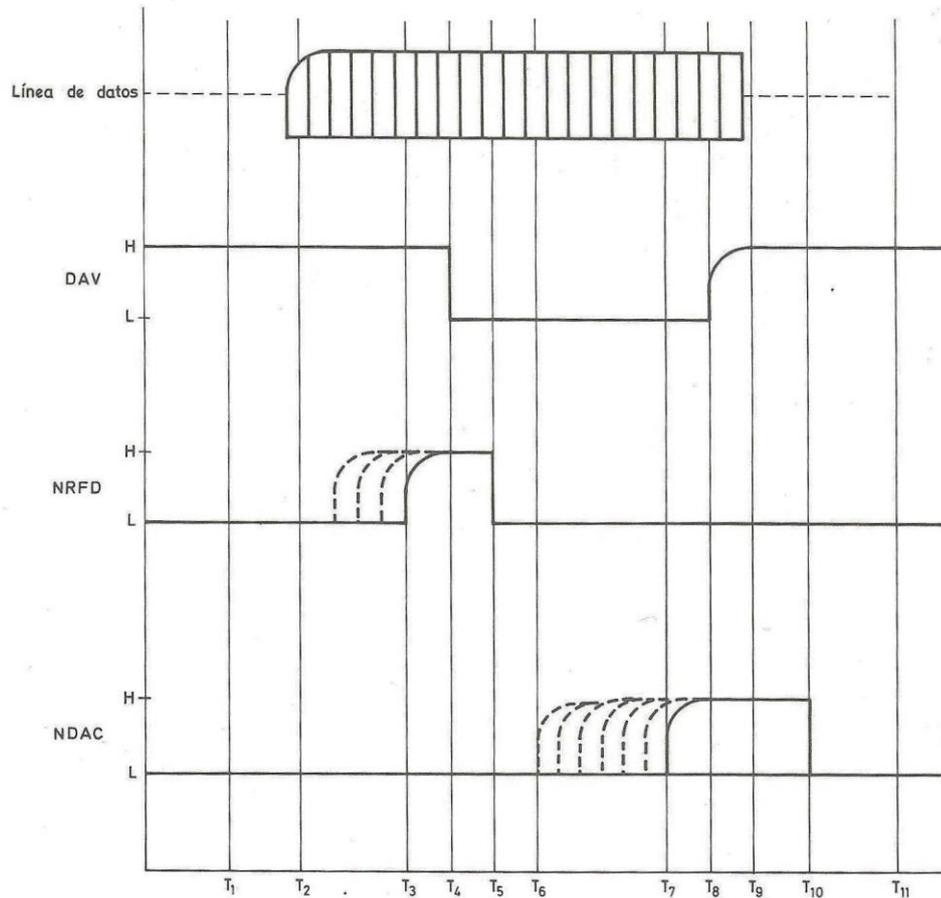


Figura 8.5 Diagrama de tiempos en el proceso de handshake.

A partir de este momento, el estado de las líneas es igual al de partida, y se puede repetir el proceso. De hecho, normalmente todo este proceso pasa desapercibido al usuario pues los controladores del bus se pueden programar con lenguajes de alto nivel (BASIC), de forma que los instrumentos interpretan las órdenes y realizan ellos mismos todo el proceso de comunicación. Al usuario le basta, pues, con conocer el conjunto de órdenes de cada instrumento programable, y aunque varían de uno a otro, normalmente los nombres con que se designan son una abreviación lógica de los términos usuales con que se designan (en inglés) las funciones deseadas. Así, por ejemplo, la orden para que un multímetro digital quede dispuesto para medir tensiones alternas en la escala de 2 V puede ser «ACV 2». En la figura 8.6 pueden verse los nombres para las órdenes que acepta un contador universal concreto. Para cada instrumento, dicha información está incluida en los manuales que suministra el fabricante.

Otro aspecto a considerar, de cara a la compatibilidad, es la forma de

colector abierto. A nivel alto, deben suministrar una fuente de corriente de 5,2 mA, si son tri-state. Para los de colector abierto, depende de la carga (ver valores en la norma, apartado 3.5.3).

Para el receptor se prefieren los de tipo Schmitt (o equivalentes), con un ciclo de histéresis de 0,4 V.

Además de las 16 líneas de señal, hay otras 8 de puesta a masa. Hay un par trenzado para cada una de las 3 de handshake, y para IFC, SRQ, ATN. Además hay una línea de masa analógica y otra digital. Las resistencias de cada una de estas líneas y las capacidades del cable también están especificadas.

8.2.5 Extensión del bus

Para poder cubrir distancias mayores sin tener que transmitir la información a través de los canales de comunicación convencionales, se comercializan dispositivos conocidos como «extensores» del bus. Cubren distancias de hasta 1 km.

Su acción se basa en la conversión de los datos paralelo en datos serie, pasándolos de nuevo a formato paralelo en el extremo receptor. Para el usuario son totalmente transparentes. Ocupan una plaza en el bus, pero no hace falta direccionarlos como dispositivos. Obviamente, no permiten aumentar la capacidad de direccionamiento, que sigue limitada a 31 dispositivos. Se pueden conectar en estrella (figura 8.7) o en serie (figura 8.8).

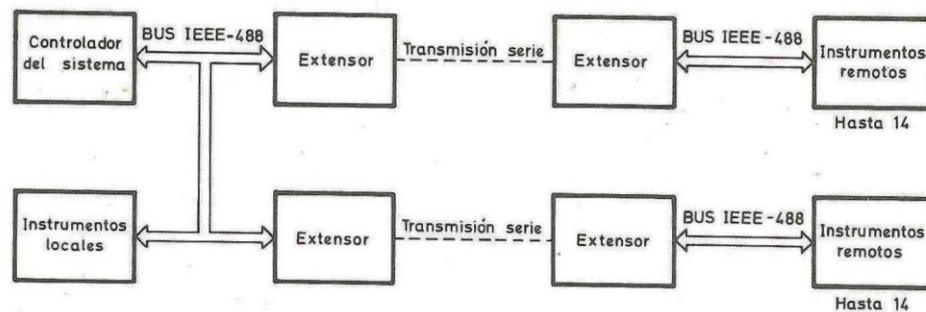


Figura 8.7 Conexión de extensores en estrella.

8.3 OTROS SISTEMAS DE INTERCONEXION

Los sistemas de interconexión descritos permiten la comunicación directa entre instrumentos, sin necesidad de que la información pase siempre primero a un controlador o unidad central. Dado que el controlador muchas veces es realmente un ordenador, esto ofrece ventajas en el sentido de dejarlo libre para otras tareas, a la vez que se ocupa sólo uno de sus puertos de entrada/salida. Pero, además, ofrece nuevas posibilidades de interconexión.

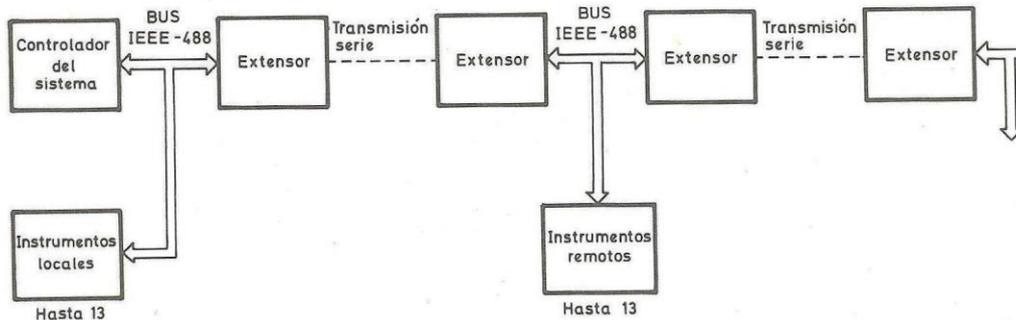


Figura 8.8 Conexión de extensores en serie.

En efecto, dado que la comunicación entre ordenadores ha sido, y sigue siendo, un tema de interés general, más allá del campo de la instrumentación, las soluciones aportadas son numerosas y aplicables a situaciones de medida donde haya que interconectar equipos separados por distancias desde varios metros hasta algunos kilómetros.

Para pequeñas distancias (hasta unos 300 m), se puede pensar en una conexión serie asíncrona entre un instrumento y un ordenador, de la misma forma que se conecta a éste una pantalla o una impresora. La norma RS 232 (o la CCITT V24) describe un sistema de conexión muy frecuente en este tipo de aplicaciones. Se goza por ello de la ventaja de una gran disponibilidad de programas de entrada/salida para el ordenador. El inconveniente es que cada sistema que se configure es una solución específica para los instrumentos empleados.

Para distancias grandes (hasta 10 km), e incluso para distancias inferiores si se desea una solución flexible, hay que pensar en una comunicación directa entre los ordenadores que controlan cada conjunto de instrumentos, y basada en las redes locales. Una red local es una red de comunicación que cubre un área geográfica limitada (hasta 10 km de diámetro) con una gran velocidad (1 a 100 Mbit/s). La topología puede ser punto a punto, en estrella, en árbol, en anillo, o en bus. Estas dos últimas son, con mucho, las más frecuentes. Dado el interés que tiene la compatibilización de las conexiones entre ordenadores de diversos fabricantes y con arquitecturas iguales o no, se está realizando un gran esfuerzo para normalizar unas cuantas redes locales. Esta normalización tiende a hacerse, además, tomando como modelo de referencia el definido por la ISO (International Standards Organization), y denominado ISO-OSI (Open Systems Interconnection). Una de las que mayores expectativas han despertado son las de la serie IEEE 802, y la red MAP (Manufacturing Automation Protocol) para aplicaciones industriales. El paso de resultados u órdenes de uno a otro instrumento físicamente distintos conectados a ordenadores se beneficiará también de la compatibilidad obtenida en la comunicación entre éstos.