

I.1 INTRODUCCION

Se han propuesto diferentes tipos de buses paralelos para interconectar los equipos que constituyen un entorno de instrumentación automatizado. Las principales características que se requieren en estos entornos son:

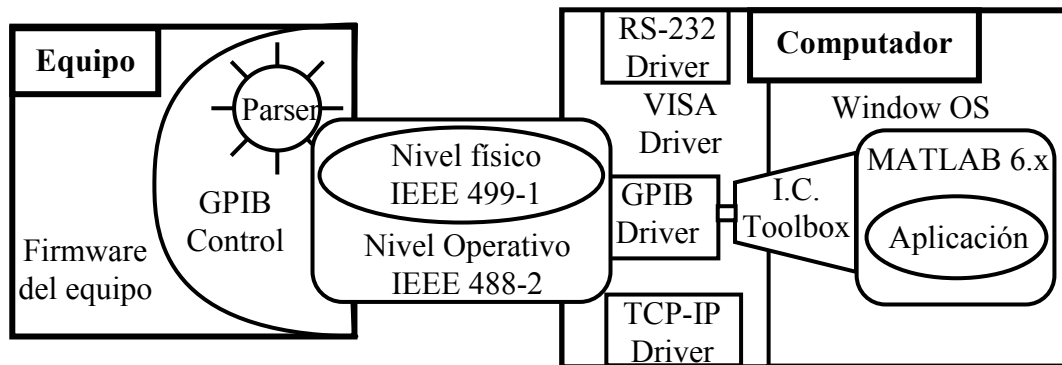
- Debe permitir interconectar un número reducido (algunas unidades) de instrumentos.
- Debe corresponder a un estándar aceptado por la mayoría de los fabricantes.
- Sea apropiado para interconectar equipos próximos (ubicados en una habitación).
- Posea una velocidad de intercambio de datos suficientemente alta para que la transferencia de los paquetes de datos sea inapreciable a un operador humano.

De entre los diferentes buses propuesto, el más utilizado actualmente, es el bus **GPIB** (General Purpose Interface Bus). Este fue originariamente desarrollado por Hewlett Packard bajo el nombre de **HPIB** (Hewlett-Packard Interface Bus). Su mayor difusión se debe a que posteriormente, y debido a su rapidez y flexibilidad, fue adoptado por la organización IEEE, que en 1978 lo definió mediante el estándar **IEEE 488 - 1978**.

La funcionalidad del estándar GPIB ha evolucionado a lo largo del tiempo y se encuentra descrito en las siguientes especificaciones:

- **IEEE 488.1 (1975):** Especificación que define las características de nivel físico (mecánico y eléctrico), así como sus características funcionales básicas.
- **IEEE 488.2 (1987):** Especificación que define las configuraciones mínimas, los comandos y formatos de datos básicos y comunes a todos los equipos, el manejo de errores y los protocolos que se siguen en las comunicaciones.
- **SCPI (Standard Commands for Programmable Instrumentation):** Especificación construida sobre el estándar IEEE 488.2 que define una estructura de comandos estándar aceptados por múltiples instrumentos de muchos fabricantes:
 - Agilent: Agilent Technologies
 - Cec : Capital Equipment Corporation
 - Iotech: IOtech hardware.
 - Keithley: Keithley
 - Mcc: Measurement Computing Corporation
 - Ni: National Instruments.
- **VISA (Virtual Instrument Estándar Architecture):** Especificación definida por Agilent y National Instrument. Es una librería que puede ser usada para desarrollar aplicaciones y drivers de I/O de forma que software de diferentes empresas puedan trabajar conjuntamente sobre el mismo sistema y que pueden ser instalados en conjunción con drivers VXI plug&play utilizando simultáneamente varios medios de comunicación (GPIB, VXI, RS232, LAN, etc) y en aplicaciones desarrolladas con diferentes lenguajes (C, C++, VisualBasic, etc) .

Componentes que se utilizan en el control de la instrumentación por GPIB.

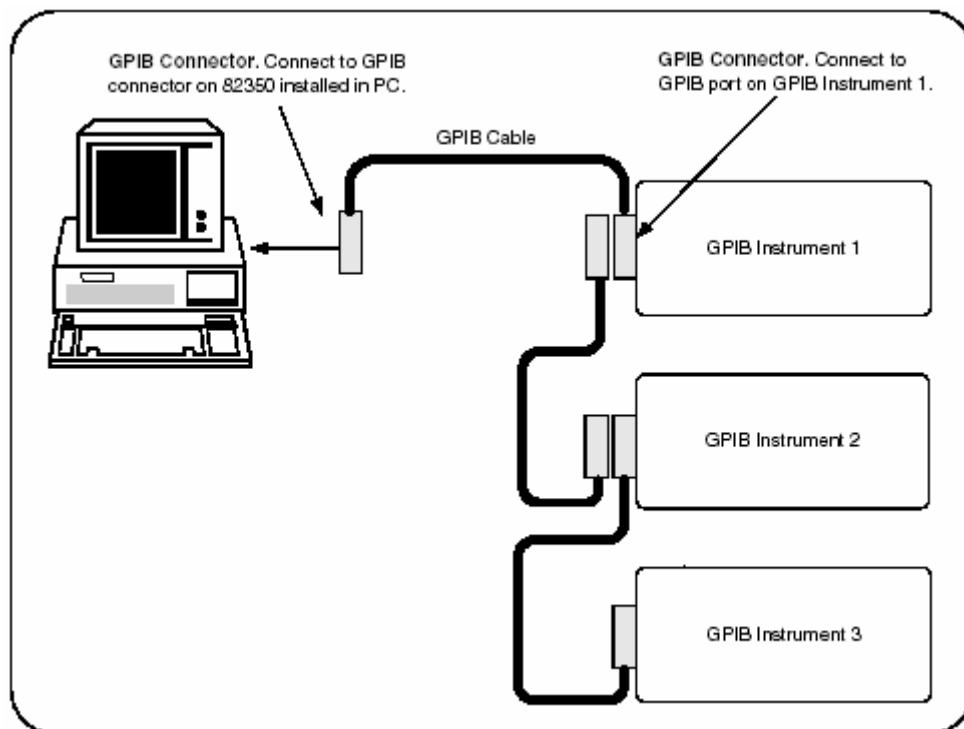


- **Equipo:** Instrumento del entorno que se controla. Debe estar dotado con una tarjeta hardware de conexión al bus GPIB. Para su control dispone de software interno de control que interpreta los mensajes que recibe por el bus GPIB e interacciona con el firmware propio del equipo. El “Parser” es el thread de gestión del intercambio de mensajes por el bus GPIB.
- **Nivel Físico (IEEE 488.1):** La comunicación entre los equipos se basa en un bus físico, compuesto por un conjunto de líneas con niveles lógicos bien definidos y con protocolos de comunicación basados en los estados lógicos de las líneas.
- **Nivel Operativo (IEEE 488.2):** El protocolo operativo básico dentro del que se encuadra el intercambio de información, datos e instrucciones básicas de control.
- **Driver GPIB (SCPI):** El computador interacciona con el bus GPIB a través de una tarjeta de control hardware que resuelve y atiende los dos protocolos anteriores. El propio fabricante ofrece una interfaz software implementada por un conjunto de funciones que permiten el acceso de los programas a la funcionalidad del bus. Puede ofertar una interfaz constituida por una librería de funciones que corresponde al lenguaje SCPI.
- **Driver VISA:** Estándar de driver que ofrece un conjunto de librerías estandarizadas que permiten integrar equipos conectados por diferentes medios de comunicación.
- **Instrumentation Control ToolBox:** Confunto de funciones Matlab que permite gestionar los driver GPIB o Visa, y establecer comunicación con los equipos.
- **Matlab (6.5):** Programa interactivo que ofrece un lenguaje de programación de de alto nivel y unos conjuntos de librerías matemáticas y gráficas muy extensas.

Características de Bus GPIB.

Las características más relevantes de este bus GPIB son las siguientes:

- a) Permite la interconexión de hasta 15 equipos, de los que uno de ellos es el controlador, que establece la función que debe ejercer cada uno de los otros.
- b) Un dispositivo conectado al bus, puede enviar o recibir información hacia o desde cualquiera de los otros 14 equipos. A veces, la propia naturaleza de un equipo hace que solo esté capacitado para recibir (p.e. una impresora), o solo capacitado para enviar (p.e. un contador), o ambas cosas (p. e. un osciloscopio, o un computador)
- c) El límite práctico de velocidad de intercambio de datos es de 500 Kbytes/s (o lo que es lo mismo 4 Mbits/s).
- d) La interconexión entre equipos se realiza utilizando cables de 25 hilos, finalizados en conectores de doble boca (macho por un lado y hembra por el otro), que permite la interconexión de los equipos en cualquier configuración (estrella, línea, o cualquier combinación de ellas).
- e) Las longitudes máximas permitidas en los cables es de 20 metros. Los cables que se comercializan son de 1, 2, 4 y 8 metros.



II BUS GPIB NIVEL FISICO (IEEE-488.1)

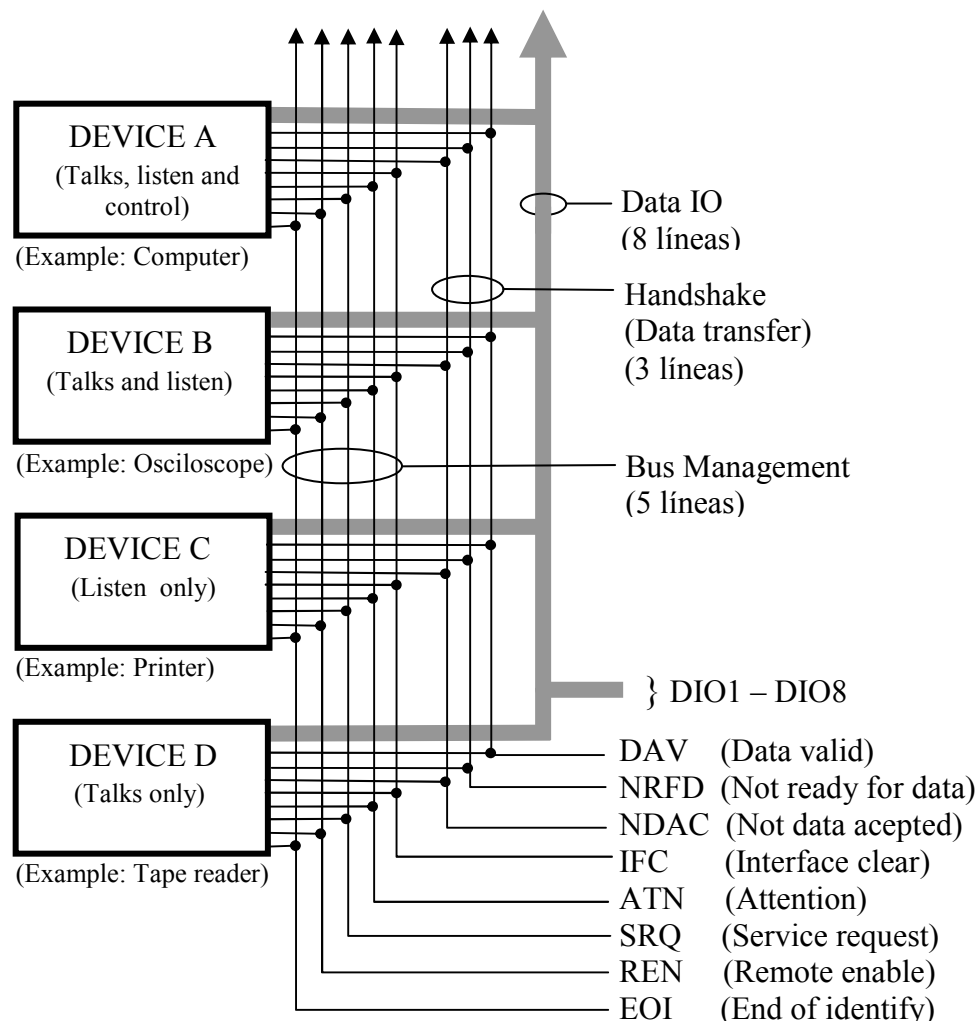
II.1 ESTRUCTURA DEL BUS GPIB.

El bus GPIB está basado en 16 líneas activas, además de la tierra. Estas 16 líneas se organizan en tres buses:

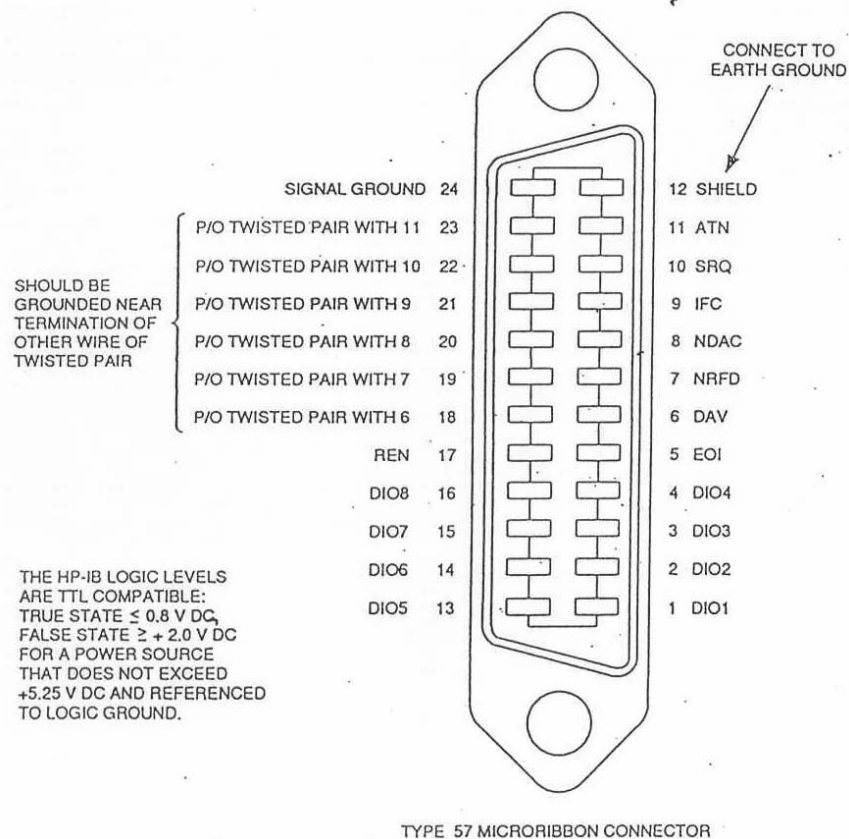
Bus de Datos (DIO1-DIO8) (Data input/output): Es un bus bidireccional de 8 líneas orientado a la transferencia de bytes o de caracteres ASCII.

Bus de sincronización de la transferencia de datos: Es un conjunto de tres líneas (**DAV**: Data valid, **NRFD**: Not Ready For Data y **NDAC**: Not Data ACcepted) que se utilizan de forma coordinada para asegurar la transferencia de datos entre los equipos.

Bus de control: Está constituido por 5 líneas (**ATN**: ATteNtion, **IFC**: InterFace Clear, **SRQ**: Service ReQuest, **REN**: Remote ENable, y **EOI**: End Or Identify) que se utilizan para transferir comandos entre los equipos relativos al modo de interpretar los datos que se transfieren o comandos básicos de gobierno de la interfaz del bus.



CONECTOR ESTANDAR DE ACCESO AL BUS GPIB.



Tipos de mensajes que intercambian los equipos

Entre los equipos conectados al bus GPIB se transfieren mensajes constituidos por secuencias de byte por transacción. De acuerdo con el estado de la señal de control "ATN", existen dos tipos de mensajes:

- "Data":** Mensaje que contiene información relativa a la funcionalidad de un equipo. Ejemplos son: instrucción de programación, resultado de medida, estatus de un equipo, etc.
- "Command":** Mensaje que tiene como función controlar el modo de operación del bus. Ejemplos son: Inicialización del bus, cambio del modo de operación de un equipo, transferencia del control, etc.

Modos de operación de un equipo

En cada momento, un equipo conectado al bus GPIB puede estar operando como uno o varios de los siguientes modos de comportamiento:

- "Controller":** Con capacidad de establecer quien envía o recibe datos y el modo de operación del bus (solo un equipo puede ser "controller").
- "Talker":** Con capacidad de enviar datos a otros equipos.
- "Listener" :** Con capacidad de recibir datos de otros equipos.
- "Idler" :** Sin ninguna capacidad respecto del bus.

"CONTROLLER": Equipo con capacidad de transferir mensajes de tipo Command a los otros equipos. Existen dos tipos de controller:

"System Controller": Tiene capacidad hardware de tomar el control del bus en todo momento, a través de las líneas "IFC" y "REN".

En un bus sólo puede existir un único System Controller y está caracterizado por tener las capacidades hardware especiales de poder establecer el estado de las líneas "IFC" y "REN".

"Active controller": Tiene la capacidad de transferir mensajes de tipo Command para:

- Establecer los modos de operación "Listener" y "Talker" en los restantes equipos.
- Enviar los comandos de inicialización y sincronización del bus.
- Supervisar mediante encuesta el status de los equipos.

Cada bus puede tener conectado uno o mas dispositivos capaces de asumir la función de "active controller", aunque en cada momento, solo uno de esos equipos puede operar como tal.

En una situación estándar, hay un computador conectado al bus que actúa a la vez como "system controller" y como único "active controller".

En algún momento un equipo puede requerir del controlador del sistema su interés en convertirse en controlador activo, a fin de llevar a cabo una operación compleja, tal como transferir unos datos al "plotter", o almacenar un fichero en un disco, etc.. Como respuesta a este requerimiento el controlador de sistema, transferirá el control al equipo que lo ha solicitado, el cual pasa a constituirse en controlador activo del bus. Cuando concluye su operación, retorna de nuevo el control del bus, al controlador de sistema.

Obsérvese que las capacidades propias de controlador de sistema no pueden ser transferidas.

Un sistema construido sobre el bus GPIB puede ser configurado en uno de los siguientes tres modos:

- **Sin "controller"** : En esta configuración uno de los equipos debe solo tener capacidad para actuar solo como "talker", y los restantes solo como "listener". La transferencia de datos posibles es desde el "talker" a todos los "listener" simultáneamente.
- **Con "controller" único**: En esta configuración las transferencias de datos posibles son: Desde el "controller" a los equipos en modo comando y datos, de un equipo al "controller" solo en modo datos, y de un equipo a otro equipo solo en modo datos.
- **Con múltiples "controller"**: En este caso tiene las mismas capacidades que la configuración anterior, solo que en esta también es posible la transferencia entre equipos de la capacidad de operar como "controller activo".

TALKER: Equipo con capacidad de enviar Data.

En cada bus pueden existir uno o varios equipos con capacidad de enviar datos a otros equipos por el bus, pero en cada instante sólo uno de ellos puede ser establecido por el controller para que opere como Talker.

Es el único equipo (además del Active Controller) con capacidad de establecer el estado de las líneas DAV.

El equipo Talker sólo puede enviar un dato si todos los equipos que se encuentran en modo Listener esté en disposición de leerlo (Línea NRFD a valor lógico FALSE).

LISTENER: Equipo que recibe y lee todos los Data que se transfieren por el bus.

En cada bus pueden existir uno o varios equipos con capacidad de recibir datos desde el bus, y uno o varios de ellos se puede encontrar simultáneamente en modo "Listen". El Active Controller es el que establece a través de un comando que un equipo pasa o deja de estar en modo Listen.

Todos los equipos que se encuentran en estado Listen reciben simultáneamente todos los datos que son transferidos por el bus.

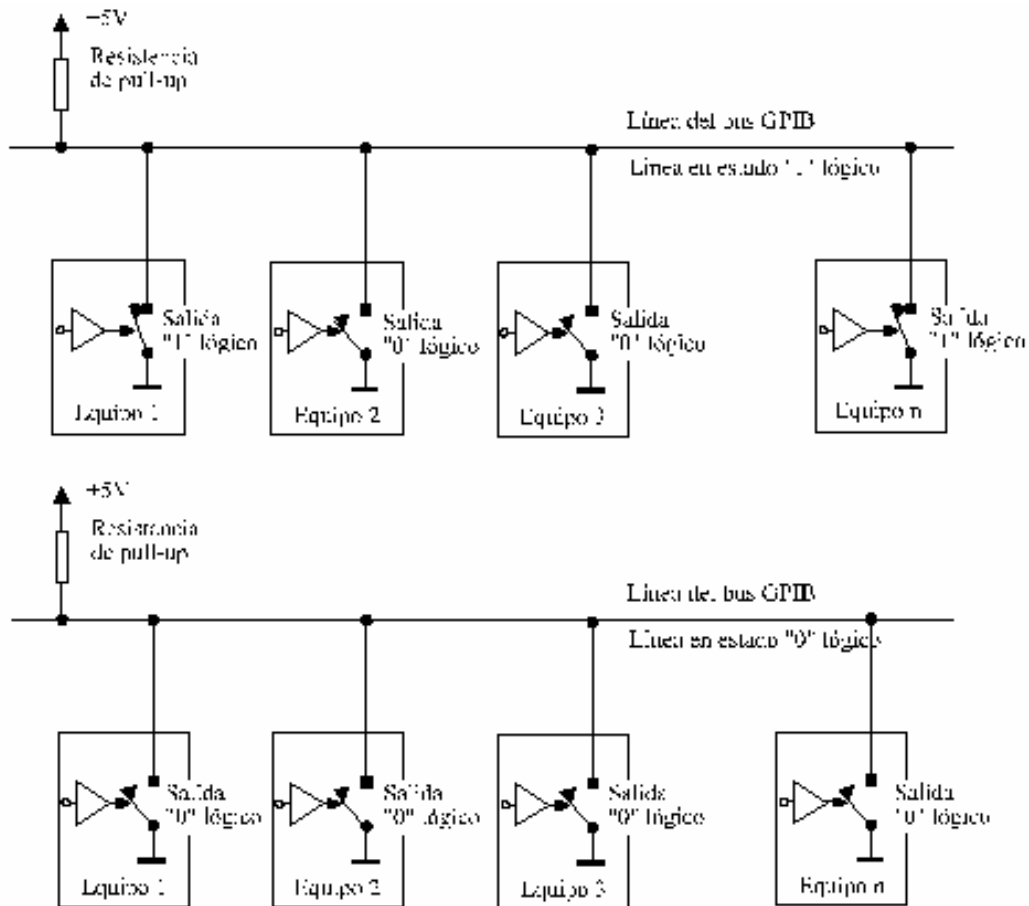
IDLER: Estado base sin ninguna respuesta respecto del bus.

II-2 NIVELES Y SEÑALES LOGICAS EN EL BUS GPIB.

Todas las líneas del GPIB operan con **niveles de tensión TTL**, y utilizando una **lógica negativa**. Esto significa que un nivel de tensión inferior que 0.8 V corresponde a un estado lógico TRUE, y un nivel de tensión superior a 2.5 voltios corresponde a un estado lógico FALSE.

Las puertas de salida en cada equipo sobre una línea del bus utilizan la tecnología **open-collector**. Esto hace que una línea del bus estará en estado "TRUE" lógico (tensión baja) si ese es el valor de salida que corresponde para esa línea en **algún** equipo. Por el contrario, una línea del bus estará en estado "FALSE" lógico solo si en **todos** los equipos conectados corresponde a esa línea ese valor.

Cada línea implementa una función lógica OR (Wire-OR).



Algunas interfaces GPIB, utilizan una tecnología tri-state para el control de las líneas del bus, pero siguiendo la misma funcionalidad que con la tecnología "open-collector". Utilizando la tecnología tri-state se puede conseguir mayores velocidades de transferencia de datos.

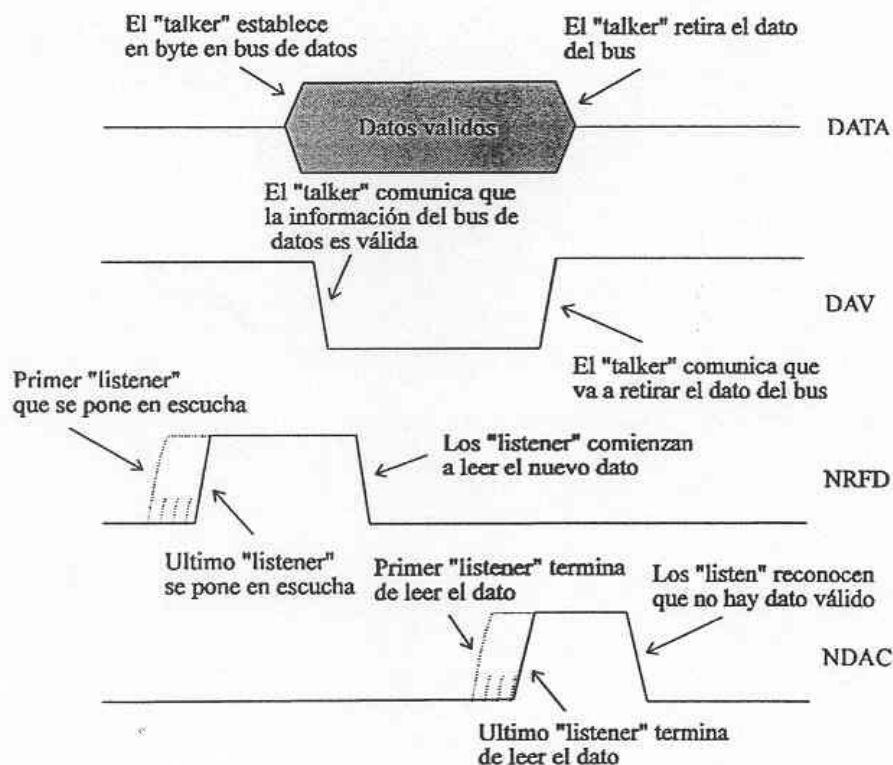
Dada la tecnología de control de líneas que se utiliza, aunque funcionalmente podrían conectarse a un bus más de 15 equipos (siempre que algunos de ellos sean sólo "Listener"), las prestaciones dinámicas del bus podrían deteriorarse con ello.

II.3 SIGNIFICADO DE LAS LINEAS DEL BUS GPIB.

DATA LINE (DIO1 - DIO8): Las 8 líneas de datos permiten que el único equipo establecido como "talker" (o en otros casos el "controller") envíe un byte en paralelo hacia todos aquellos equipos que en ese instante estén definidos como "listener".

DATA VALID (DAV): Es una de las líneas de sincronización que permite la transferencia de datos por el bus gobernada por los equipos establecidos como "talker". Un TRUE lógico en esta línea significa que el equipo establecido como "talker" activo ha establecido unos datos válidos sobre el bus de datos que deberán ser leídos por todos los equipos establecidos como "listener".

NOT READY FOR DATA (NRFD): Es otra de las líneas de sincronización, que es gobernada por los equipos establecidos como "listener". Cuando esta línea está en estado lógico TRUE, significa que algún equipo de entre los "listener" no está aún dispuesto para aceptar nuevos datos. El que esta línea se encuentre en estado lógico TRUE, inhibe al equipo "talker" a que inicie el envío de un nuevo dato. El que esta línea esté en estado lógico FALSE, significa que todos los equipos "listener" se encuentran a la espera de un nuevo dato, momento en el que el "talker" puede establecer el dato en el bus.



NO DATA ACCEPTED (NDAC): Es la tercera línea de sincronización de datos, y es gobernada por los equipos que están establecidos como "listener". Cuando se encuentra en estado lógico TRUE, significa que alguno de los equipos establecidos como "listener" aún está pendiente de leer un dato, y en consecuencia, el "talker" debe esperar aún para retirar los datos. Cuando esta línea se encuentra en estado

lógico FALSE significa que ya todos los equipos establecidos como "listener" han leído el dato transferido y por tanto el "talker" puede retirar el dato del bus.

ATTENTION (ATN): Es una señal que establece el "controller" para establecer con un estado lógico TRUE en ella que el dato que se envía por el bus de datos es un comando enviado por el "controller". Cuando esta línea toma el estado lógico FALSE indica que el byte del bus de datos debe ser considerado como un dato.

INTERFACE CLEAR (IFC): Está bajo el exclusivo control del "system controller". Cuando es establecido en esta línea un estado lógico TRUE, todos los equipos conectados al bus deben ser reseteados, y todos ellos deben pasar a su estado base.

SERVICE REQUEST (SRQ): Es utilizado por los equipos conectados al bus para comunicar al "controller" que requieren ser atendidos por alguna causa (ha concluido una actividad, se ha producido un error, existe algún dato para transferir, etc.). Cuando el "controller" detecta un estado lógico TRUE en esta línea, debe iniciar una encuesta (polling) para determinar que equipo causó el requerimiento, y en el caso de que proceda, satisfacer su demanda.

REMOTE ENABLE (REN): Es una línea con la que el "controller" al establecerla a un estado lógico TRUE, habilita a todos los equipos conectados al bus para que reciban datos, o comandos.

END OR IDENTIFY (EOI): Esta línea tiene dos funciones:

- a) En primer lugar, el "talker" puede comunicar, poniendo a estado lógico TRUE esta línea, que concluye su envío de datos.
- b) En segundo lugar, esta línea es utilizada por el "controller" para iniciar una encuesta paralela. En este caso el "controller" debe poner simultáneamente a estado lógico TRUE las señales ATN y EOI, y como respuesta a ello, los equipos que previamente hayan sido configurados para participar en la encuesta paralela transfieren su bit de status sobre el bus.

II.4 COMANDOS DEL BUS

Los comandos de bus (mensajes Command) son siempre enviados desde el controller a los otros equipos para sincronizar su estado de operación o para establecer su estado de operación.

En los comandos de bus se envían datos por el bus de datos (si la operación lo requiere) de igual modo que en la transferencia de datos, solo que en estos casos **la señal ATN es establecida a estado lógico TRUE** por el "controller", para indicar que es un comando, y todos los equipos con independencia de que sean "talker" o "listener" reciben el comando, manteniendo el protocolo con el "controller".

El "controller" puede enviar cinco tipos de comandos de bus a los otros equipos: "addressed", "listen", "talk", "universal" y "secondary". Solo los 7 bits menos significativos del bus son utilizados en los comandos de bus. Los tres bit b7, b6 y b5. definen la naturaleza de cada comando:

b7	b6	b5	Tipo comando
0	0	0	Addressed
0	0	1	Universal
0	1	x	Listen
1	0	x	Talk
1	1	x	Secondary

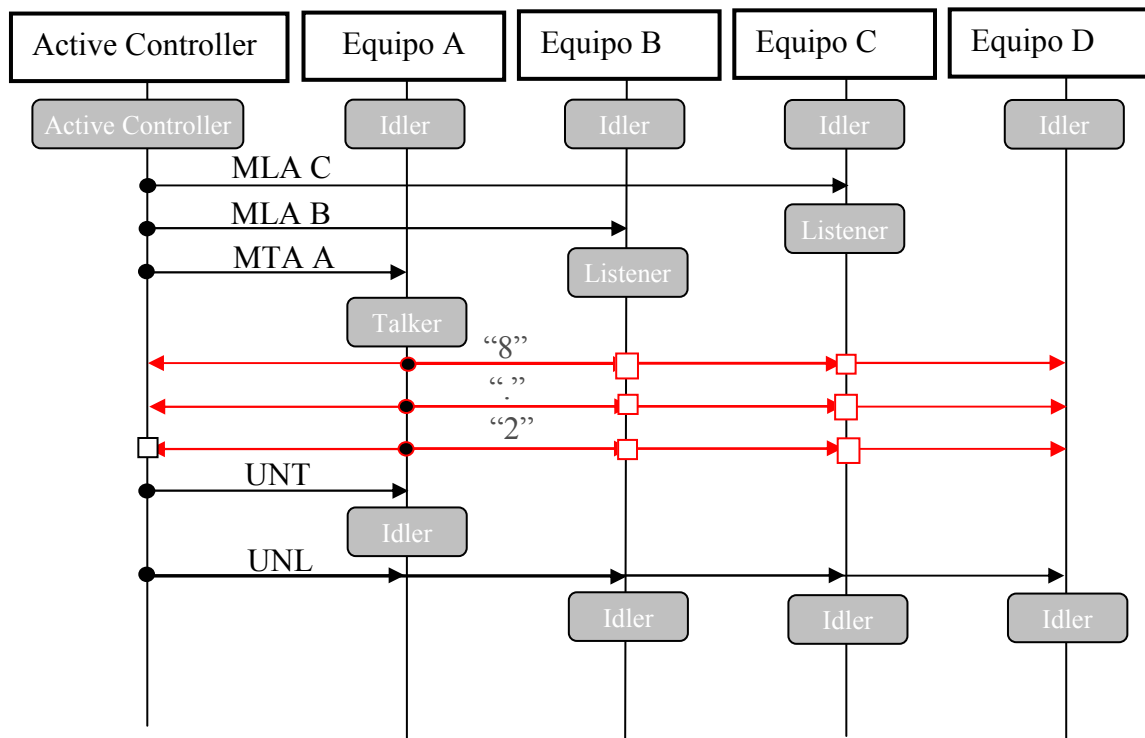
Los equipos conectados al bus GPIB tienen asignado un **código o dirección de bus** comprendido entre 0-30. Este código debe ser establecido en cada equipo, bien por medio de unos conmutadores hardware presentes en su panel trasero, o bien en algunos casos programando el equipo mediante su software interno. Normalmente, los cinco bits menos significativos de la línea de datos b4, b3, b2, b1, b0 se utilizan en un comando para establece a que equipos hace referencia un comando.

El código 31 ("11111") no es el código de un equipo, y suele estar reservado para hacer referencia a todos los equipos del bus en conjunto.

Comandos TALK/LISTEN

MTA	010dddd	My Talk Address: Establece el modo Talker en el equipo "dddd"
UNT	01011111	Untalk: El equipo en modo Talker pasa a modo Idler
MLA	001dddd	My Listen Address: Establece el modo Listener en el equipo "dddd"
UNL	00111111	Unlisten: Todos los equipos en modo Listener pasan a modo Idler

Transacción: Equipo A envía el dato 8.2 a los equipos B y C



Mecanismos de finalización de mensajes de datos.

Hay tres mecanismos con el que el Talker puede comunicar que el dato que transmite es el último a enviar:

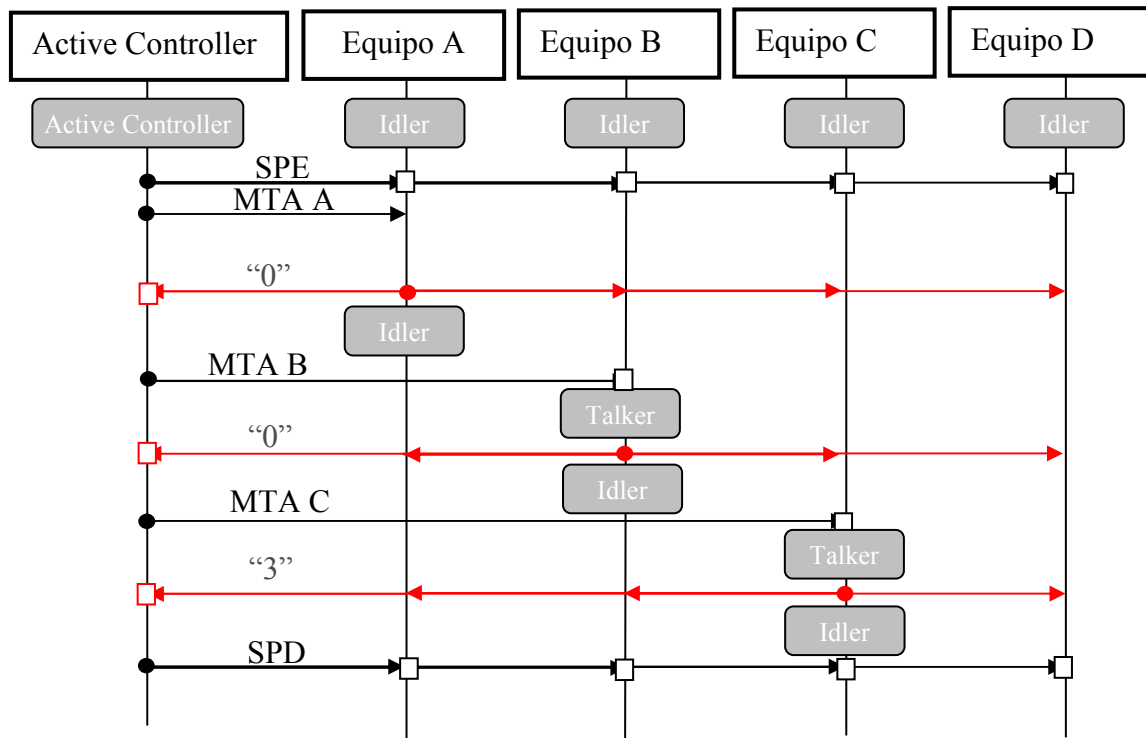
- **Método EOI:** Cuando envía el último dato el Talker establece la línea de control del bus EOI se establece al estado lógico TRUE.
- **Método EOS:** El último carácter enviado por el Talker es el que previamente se ha establecido como End of Send. Habitualmente es CR (0x0D) o LF (0x0A). En este caso no es detectado por el hardware del Bus sino por el software del driver.
- **Método de cuenta:** El controlador para al Talker cuando el número de byte del mensaje convenido (habitualmente establecido en la cabecera del mensaje) se han enviado. El Controlador bloquea al Talker estableciendo las líneas del control del bus NRFD y NDAC al estado lógico TRUE. La cuenta de bytes se realiza por el software del driver.

Comandos UNIVERSALES (UGC):

Mensajes enviados por el Controller a todos los equipos.

LLO	00010001	Local Lockout: Se deshabilitan los paneles de control de todos los equipos conectados al Bus.
DCL	00010100	Device Clear: Inicializa las interfaces hardware/software de los equipos.
PPU	00010101	Parallel Poll Unconfigure: Se cancela la programación previa de los equipos a fin de responder en la encuesta paralela (Pararell Poll)
SPE	00011000	Serial Poll Enable: Habilita a todos los equipos a fin de que respondan a la encuesta serie (Serie Poll).
SPD	00011001	Serie Poll Disable: Deshabilita el modo de encuesta serie.

Transacción: Controller realiza “Serial Poll” sobre los equipos A,B,C.

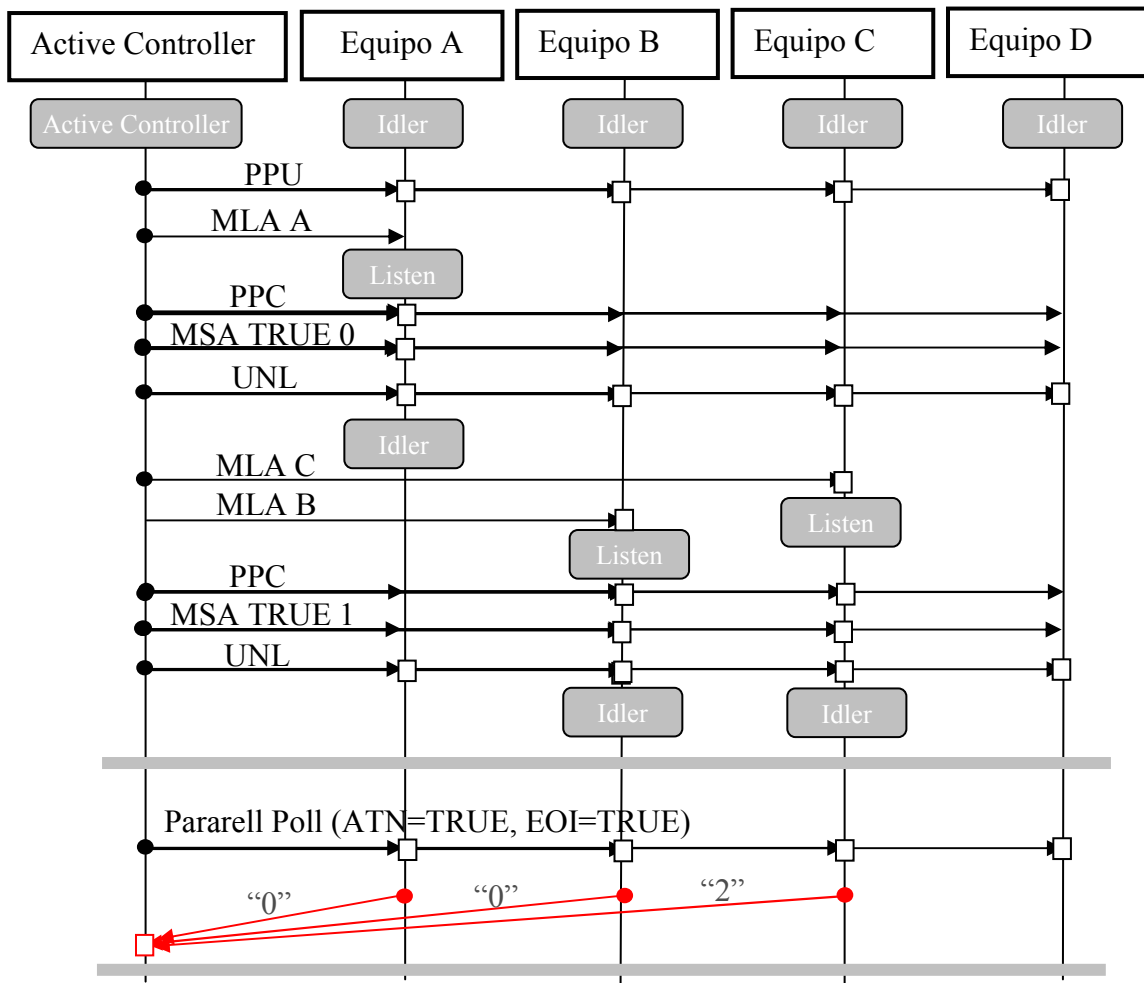


Comandos Addressed (ACG)

Van destinados y afectan únicamente a aquellos equipos que previamente han sido establecidos en "Listener".

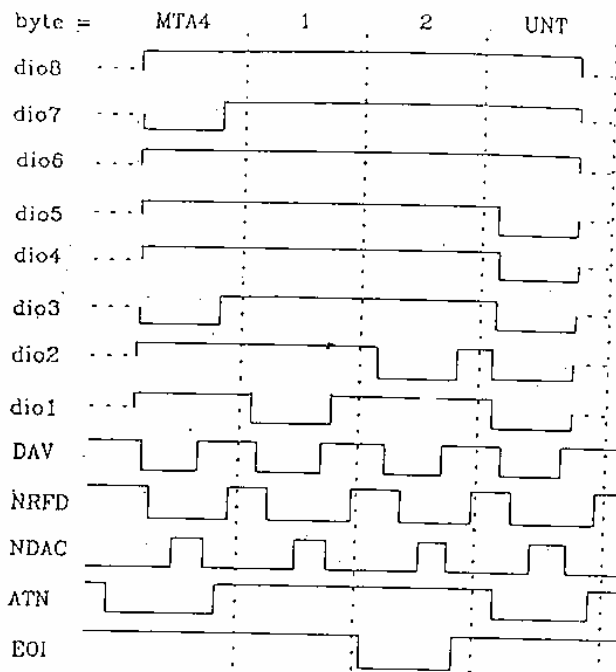
GTL	00000001	Go To Local: Retorna el control de los paneles a todos los equipos en estado Listener.
SDC	00000100	Selected Device Clear: Inicializa las interfaces hardware/software de los equipos en estado Listener.
PPC	00000101	Parallel Poll Configure: Configura la respuesta a una encuesta paralela (Pararell Poll) los equipos en estado Listener. Los equipos quedan a la espera de un comando MSA.
MSA	011xcbbb	My Secondary Address: Establece la línea (bbb) y el estado (c=0 => request=FALSE) con la que responden a una encuesta paralela de los equipos Listener.
GET	00001000	Group Trigger: Dispara el trigger de los equipos en estado Listener.
TCT	00001001	Take Control: Establece como Active Controller al equipo que está establecido como Listener.

Transacción: Controller programa y realiza "Pararell Poll" sobre los equipos A,B,C.

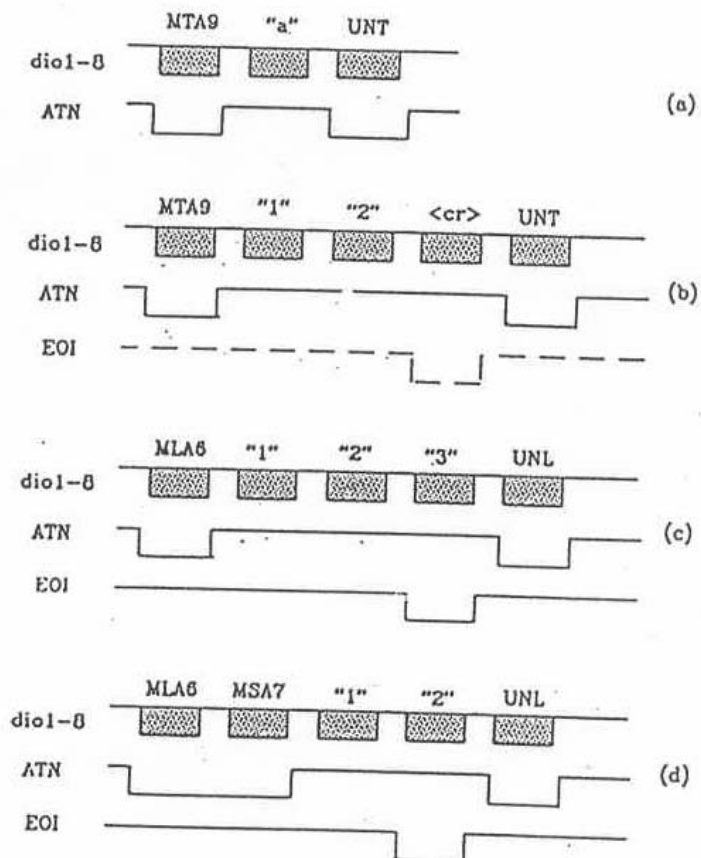


Ejemplos de transferencias de datos por el GPIB bus.

Ejemplo de una transferencia de dato iniciado por el "controller" con una instrucción MTA4, seguida de la transferencia de dos datos, por parte del equipo #4, y por último de desactivación del equipo "talker mediante un comando UNT.



Ejemplo de la transferencia de datos. En cada caso la transferencia se inicia con un comando MxA, y termina con un comando UNx.



COMANDOS GPIB Y CARACTERES ASCII

Code	Char	Cmd	Code	Char	Cmd	Code	Char	Cmd	Code	Char	Cmd
0	NUL		32	SP	L0	64	@	T0	96	'	
1	SOH	GTL	33	!	L1	65	A	T1	97	a	
2	STX		34	"	L2	66	B	T2	98	b	
3	ETX		35	#	L3	67	C	T3	99	c	
4	EOT	SDC	36	\$	L4	68	D	T4	100	d	
5	ENQ	PPC	37	%	L5	69	E	T5	101	e	
6	ACK		38	&	L6	70	F	T6	102	f	
7	BEL		39	'	L7	71	G	T7	103	g	
8	BS	GET	40	(L8	72	H	T8	104	h	
9	HT	TCT	41)	L9	73	I	T9	105	i	
10	LF		42	*	L10	74	J	T10	106	j	
11	VT		43	+	L11	75	K	T11	107	k	
12	FF		44	,	L12	76	L	T12	108	l	
13	CR		45	-	L13	77	M	T13	109	m	
14	SO		46	.	L14	78	N	T14	110	n	
15	SI		47	/	L15	79	O	T15	111	o	
16	DLE		48	0	L16	80	P	T16	112	p	
17	DC1	LLO	49	1	L17	81	Q	T17	113	q	
18	DC2		50	2	L18	82	R	T18	114	r	
19	DC3		51	3	L19	83	S	T19	115	s	
20	DC4	DCL	52	4	L20	84	T	T20	116	t	
21	NAK	PPU	53	5	L21	85	U	T21	117	u	
22	SYN		54	6	L22	86	V	T22	118	v	
23	ETB		55	7	L23	87	W	T23	119	w	
24	CAN	SPE	56	8	L24	88	X	T24	120	x	
25	EM	SPD	57	9	L25	89	Y	T25	121	y	
26	SUB		58	:	L26	90	Z	T26	122	z	
27	ESC		59	;	L27	91	{	T27	123	{	
28	FS		60	<	L28	92	\	T28	124		
29	GS		61	=	L29	93	}	T29	125	}	
30	RS		62	>	L30	94	^	T30	126	~	
31	US		63	?	UNL	95	_	UNT	127	DEL	