

TRANSCEPTOR ÓPTICO VERSÁTIL PARA COMUNICACIONES SERIE EN MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA

Suárez, J. I.^P

Marcos, A.

Martínez, E.

Macías, R.

Universidad de Extremadura (Badajoz, España)

Abstract

Usually in Computer Numerical Control (CNC) machines a central computer supervises the machine work and it establishes communications with other devices placed far away from the central computer. These devices are used for different tasks, commanded from the computer, such as signal conditioning, interfacing, actuation, and so on. These bidirectional communication between the central computer and the peripheral devices is affected by both internal and external electromagnetic noise sources, due to the control signal are small voltages. The noise influence can be greater in longer communication cables and in those cables with a great number of parallel signals. A better choice for improving the noise immunity in the communication channel is the use of fiber optics (FO). In this paper a FO electronic transmitter/receiver, for different serial buses (RS232, CAN,...), successfully used in a CNC plasma cutting machine is described.

Keywords: *fiber optics transceiver, CNC, electromagnetic noise immunity, plasma cutting machine.*

Resumen

En máquinas industriales de control numérico computerizado (CNC) suele existir un ordenador central que supervisa el trabajo de la máquina y que se comunica con otros dispositivos, situados normalmente a cierta distancia, cuya labor es la de llevar a cabo las tareas de maniobra, actuación y acondicionamiento de señal siguiendo las pautas dictadas por el ordenador central. Esta comunicación bidireccional entre el ordenador central y el sistema de maniobra está sujeta a ruidos (generalmente de carácter electromagnético, tanto externos como internos) que pueden llegar a afectar gravemente, ya que dichos sistemas emplean señales digitales en forma de voltajes de pequeño valor. Esta influencia es mayor cuanto mayor es la distancia entre los equipos que se pretende comunicar y mayor es el número de señales digitales que se quieren transmitir en paralelo de forma simultánea. Por todo ello, una forma de conseguir una mayor fiabilidad e inmunidad ante las citadas perturbaciones es emplear un sistema de comunicación serie por fibra óptica. En el presente

trabajo se describe un transceptor electrónico para transmisión y recepción por fibra óptica adaptable a diversos buses serie industriales (RS-232, CAN, ...) y que ha sido empleado con éxito en una máquina CNC de corte por plasma.

Palabras clave: *transceptor fibra óptica, CNC, inmunidad al ruido electromagnético, máquina de corte por plasma.*

1. Introducción

En el mercado hay actualmente múltiples equipos de comunicación basados en fibra óptica. Podemos encontrar, acorde a nuestras necesidades, infinidad de soluciones a nivel industrial y particular para solventar con garantías cualquier tipo de problema en comunicación con fibra óptica, pero es la ingeniería de diseño electrónico la que nos ofrece la solución más óptima ya que aúna propósito específico, integrabilidad en el conjunto, mejoras de costes, etc. La utilización de comunicaciones con fibra óptica en la actualidad está cada vez más asentada debido a las innumerables ventajas que proporcionan, a pesar de que su coste sea mayor al de la comunicación por cobre.

El presente trabajo se plantea dentro de los convenios que la Universidad de Extremadura ha firmado con la empresa Praxair Soldadura S.L. Dichos convenios tienen como objetivo mejorar la electrónica de control de una máquina de corte por plasma-oxigás. La principal motivación es el diseño de un módulo de comunicación basado en el uso de fibra óptica que sustituya al denso cableado de cobre que la máquina incorpora.

2. Objetivos

El objetivo principal del trabajo ha sido desarrollar un par de tarjetas electrónicas de comunicación serie por fibra óptica (Figura 1) que permitan conectar entre sí al módulo de control con la unidad operativa de una máquina de corte por plasma-oxigás.

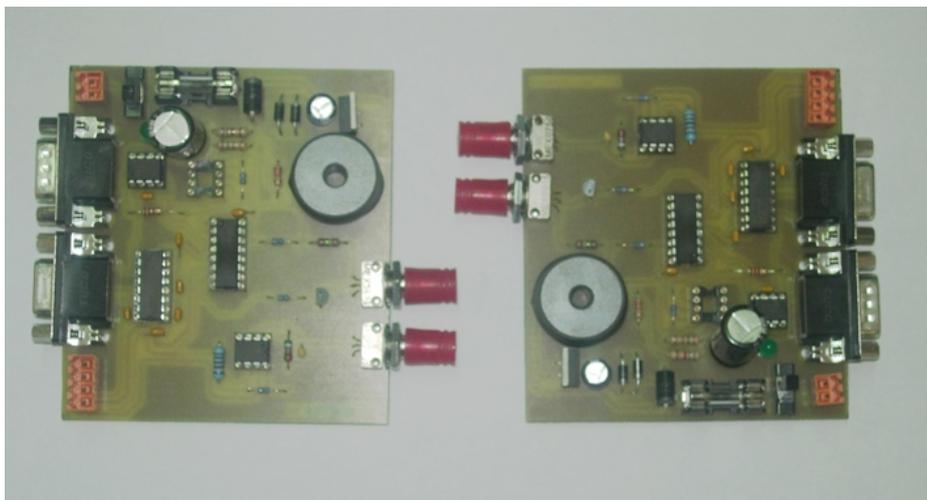


Figura 1. Tarjetas electrónicas de comunicación serie por fibra óptica

El módulo de control (Figura 2) está formado por un PC industrial con un software de CNC corriendo bajo Windows XP Embedded. La unidad operativa (Figura 3) dispone de una mesa donde se posiciona la pieza que va a ser cortada por las antorchas bien de gas o bien de plasma.



Figura 2. Módulo de control de la máquina de corte por plasma-oxigás

Originalmente el PC se comunicaba con la unidad operativa por medio de multitud de cables de cobre en formato paralelo, pero gracias a los convenios de investigación entre la empresa fabricante de la máquina (Praxair) y la Universidad de Extremadura, ahora la unidad operativa es más sencilla y se ha reducido el cableado gracias a la comunicación serie por fibra óptica que conecta con el módulo de control.



Figura 3. Unidad operativa de la máquina de corte por plasma-oxigás

El uso de fibra óptica proporciona grandes ventajas respecto a las comunicaciones por cable de cobre. Entre estas ventajas cabe citar las siguientes:

- Inmunidad al ruido: la fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas exteriores. No genera interferencias en otros equipos de comunicación y por lo tanto no son necesarios recubrimientos especiales.
- Gran ancho de banda: Los sistemas de comunicaciones ópticas emplean señales electromagnéticas de frecuencias del orden cientos de THz ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$) que caen en la regiones visible e infrarrojo cercano. Estas frecuencias tan elevadas permiten que las velocidades de comunicación a través del canal de fibra óptica sean muy superiores (por encima de 1 Gbps) a las de cable de cobre. Es cierto que existen buses con hilo de cobre con velocidades muy elevadas (cientos de Mbps), pero utilizando pocos metros de cable.
- Bajas pérdidas de potencia: gracias a ésta propiedad se logran mayores distancias de comunicación que en el caso del cobre gracias a las bajas atenuaciones que sufre la señal óptica en el interior de la fibra.
- Dimensiones reducidas y bajo peso, éste aspecto, junto a la gran flexibilidad hace que la instalación de los cables ópticos sea comparativamente sencilla.

Las tarjetas de comunicación por fibra óptica, a pesar de cumplir con el objetivo específico, han sido construidas con ciertas características generales. La electrónica instalada tanto en el módulo de control como en la unidad operativa funcionan con señales digitales comprendidas entre 0 y 5 voltios (niveles TTL), por ello las tarjetas de fibra óptica transforman este tipo de señales TTL en señales digitales ópticas. Sin embargo, debido a que el grupo de investigación de la Universidad de Extremadura trabaja en la máquina de corte con otros buses de comunicación serie (RS232, CAN), se decidió dotar a las tarjetas de comunicación de las interfaces necesarias para adaptar las señales de dichos buses a señales ópticas. De esta forma se tienen unas tarjetas muy versátiles adaptables a tres tipos de buses serie diferentes.

3. Caso de Estudio

2.1 Diagrama de bloques de la tarjeta de comunicaciones

Cada equipo de comunicación por fibra óptica permite realizar la conexión entre un determinado bus y una conexión por fibra óptica de forma bidireccional, funciona por tanto como transmisor y receptor, de ahí que reciba el nombre de *transceptor* (*transceiver*, en inglés).

El transceptor consta de los bloques que se muestran en la Figura 4. Como podemos observar en la parte izquierda de éste esquema, el transceptor óptico dispone de tres conectores de entrada y salida de datos para cada uno de los buses serie para los que está pensado: TTL, RS-232 y CAN. Para los dos primeros buses (TTL y RS232) se tienen sendas señales para la transmisión de datos (TX_TTL y TX232, respectivamente) y sendas señales para la recepción (RX_TTL y RX232, respectivamente). Para el caso del bus CAN existen dos señales (CAN_H y CAN_L) que permiten la comunicación bidireccional en modo diferencial.

La tarjeta de comunicaciones es capaz de trabajar tan sólo con un bus de los tres posibles, con el qué esté seleccionado en un determinado momento mediante el *selector de bus* (*bus selector*). Para escoger un bus concreto se dispone de un conjunto de microinterruptores (*manual bus selector*) que el usuario deberá configurar manualmente de forma correcta antes de alimentar el conjunto.

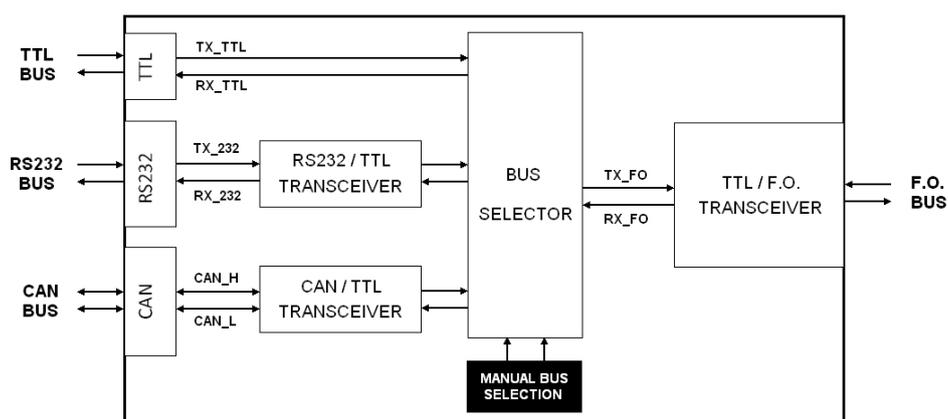


Figura 4. Diagrama de bloques de la tarjeta de comunicación por fibra óptica

Con independencia del bus seleccionado, en todos los casos las señales procedentes de los buses se convierten a formato TTL (de 0V a 5V con lógica positiva) y de TTL al bus correspondiente. Esta función la realizan los transceptores de RS232 y CAN. Obviamente en

el bus TTL no es necesario dicha conversión. A la salida del selector de bus se tienen ya señales TTL para la transmisión y recepción (TX_FO y RX_FO, respectivamente) que conectan con el *transceptor de TTL a fibra óptica* (TTL/F.O. transceiver), que es el encargado de adaptar las señales TTL a fibra óptica y viceversa.

2.2 Adaptación del bus RS232 a TTL

En el bus RS232 se adaptarán las señales de transmisión y recepción de datos. Esta adaptación debe ser doble, es decir, por un lado se ha de realizar una conversión de niveles de voltaje y por otro una conversión de lógica. La Tabla 1 refleja los niveles de voltaje que se han de respetar, tanto para el uno como el cero lógicos, para que una señal digital sea considerada como TTL o como RS232. Se observa que los rangos de voltajes difieren entre ambos casos, pero también el tipo de lógica. En el caso TTL la lógica utilizada es de tipo positiva ya que al voltaje más elevado le corresponde el 1 lógico. Sin embargo, el bus RS232 usa un tipo de lógica negativa, ya que el 1 lógico es representado por la tensión más baja.

Nivel Lógico	Rango de Voltaje (TTL)	Rango de Voltaje (RS232)
1	de +2.4V a +5V	de -3V a -15V
0	de 0V a +0.8 V	de +3V a +15V

Tabla 1. Niveles de voltaje en TTL y RS232.

Esta adaptación de niveles RS232 a TTL y viceversa se lleva a cabo mediante el circuito integrado *ST232* de la empresa *STMicroelectronics*, cuyo diagrama de bloques interno se muestra en la Figura 5.

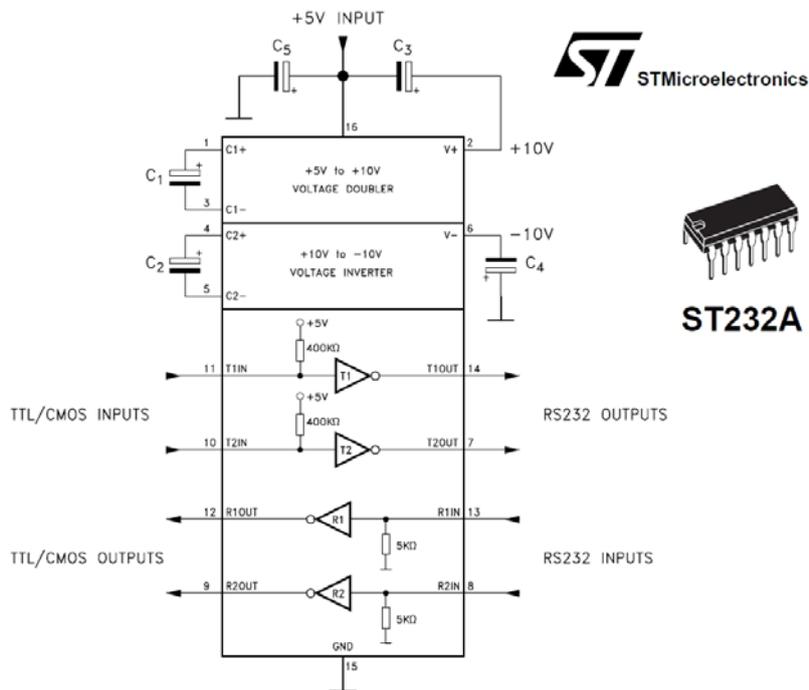


Figura 5. Transceptor de RS232 a TTL

Como vemos la alimentación del chip es a 5V (TTL) y a partir de esta alimentación y con el uso de dos condensadores externos (C1 y C3), el dispositivo genera una tensión de +10V gracias al doblador de voltaje. A partir de estos +10V y con dos condensadores externos adicionales (C2 y C4) el bloque inversor de voltaje obtiene -10V. Estos valores de voltaje de +10V y -10V sirven para alimentar los transceptores (T1, T2, R1 y R2) y como se puede comprobar en la Tabla 1 están dentro de los límites que impone la norma RS232.

Los pines 13 (transceptor R1) y 14 (transceptor T1) se conectan respectivamente con las señales de transmisión (TX_232) y recepción (RX_232) del bus RS232. Los pines 11 y 12 de este chip forman las señales TTL que llegan al módulo selector de bus que se observa en la Figura 4.

2.3 Adaptación del bus CAN a TTL

Por su parte el bus CAN está formado por dos líneas (CAN_H y CAN_L) por la que fluyen los datos en formato diferencial en ambos sentidos. Los niveles de voltaje de estas señales se observan en la Figura 6 y deberán ser adaptados a los niveles TTL, para ello se emplea el circuito integrado MCP2551 de la empresa Microchip (Figura 7).

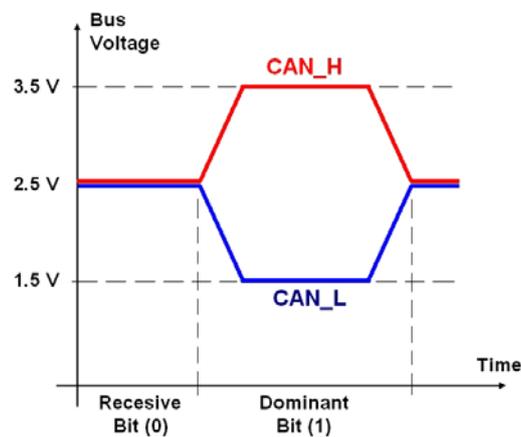


Figura 6. Señales del bus CAN y sus niveles de voltaje

El MCP2551 es un dispositivo que realiza funciones tanto de transmisión como de recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones. Debido a que la transmisión y la recepción se realizan por el mismo par de hilos (CAN_H y CAN_L), la comunicación que proporciona este transceptor es de tipo semidúplex, lo que significa que pueden enviarse señales en ambos sentidos, pero no simultáneamente.

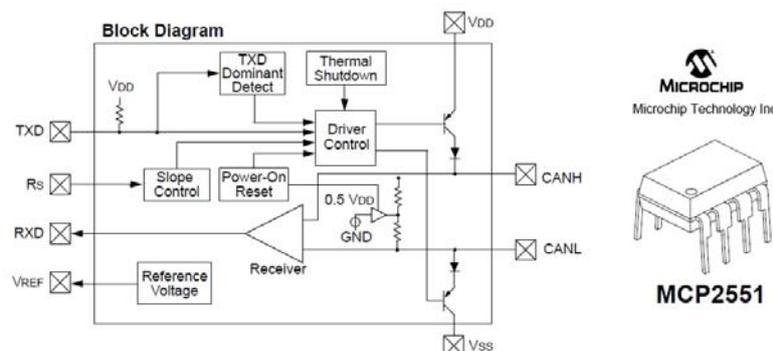


Figura 7. Transceptor de bus CAN a TTL

El MCP2551 proporciona tres modos de operación diferentes: un primer modo de alta velocidad que soporta la velocidad y la longitud máximas del bus, un segundo modo de control de pendiente que reduce las interferencias radiadas, y un último modo de ahorro de energía. El modo elegido para el uso de las tarjetas es el de control de pendiente. Por otro lado las tarjetas proporcionan la posibilidad de habilitar o no la resistencia de terminación de bus conectable entre los hilos CAN_H y CAN_L.

Los pines TXD y RXD del transceptor de CAN forman las señales TTL que conectan con el módulo selector de bus de la tarjeta.

2.4 Módulo selector de bus

Para la elección del bus que se desee utilizar se distingue entre señales de transmisión y señales de recepción (en formato TTL) que conectan con el selector de bus. Para el caso de las señales de transmisión de datos se conmutará a cada una de ellas en función del bus elegido en el selector de bus manual. Sin embargo, para las señales de recepción (que viajarán desde el selector de bus a los transceptores) no se hace ninguna conmutación, sino que llegan directamente a los transceptores de bus procedentes del módulo de fibra óptica (ya en formato TTL).

El módulo selector de bus consta, por tanto, de un multiplexor *DM74ALS153* de la firma *Fairchild Semiconductor*, empleado únicamente para la conmutación de las señales de transmisión (Figura 8). Este circuito dispone de dos multiplexores, cada uno de los cuáles tiene cuatro entradas de datos (*data inputs*), una salida (*output*), dos entradas de selección (*select*) y una entrada de habilitación (*strobe*). Tan sólo se utiliza un multiplexor ya que sólo se necesitan tres entradas de datos, una para cada una de las señales de transmisión en formato TTL procedente de cada transceptor de bus. Para que el multiplexor funcione se debe activar a nivel bajo la señal *strobe*. Las dos entradas de selección permiten elegir, mediante microinterruptores, la entrada de datos que pasará a la salida, o lo que es lo mismo el bus seleccionado.

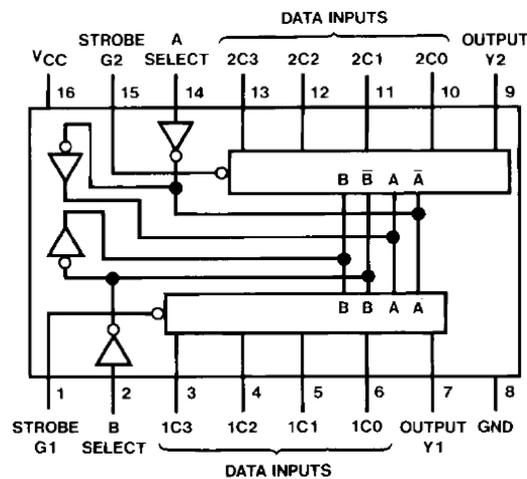


Figura 8. Multiplexor DM74ALS153

2.5 Adaptación de TTL a fibra óptica

La conversión TTL a fibra óptica se realiza mediante un LED (Light-Emitting Diode) que convierte una corriente eléctrica en una señal óptica (generalmente infrarroja) que puede viajar a través de un cable de fibra óptica. Para el presente trabajo se ha empleado el LED OPF372A de la casa Optek, que emite a una longitud de onda de 850 nm (infrarrojo) con una potencia óptica de 29 μ W. Este fotoemisor se polariza mediante un transistor BC547B según se observa en la Figura 9. Cuando la señal TX_FO (en formato TTL) procedente del

módulo selector de bus tiene un nivel alto el transistor hace que circule corriente por el LED y éste emite luz a través del cable de fibra óptica que se le conecte. Por el contrario con la señal a nivel bajo el transistor corta la corriente por el LED y éste se apaga. De esta forma se transmiten señales digitales a través del cable de fibra óptica.

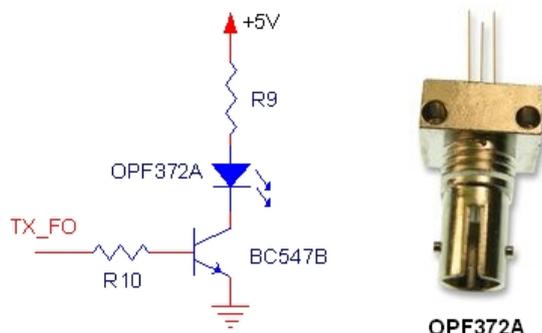


Figura 9. Circuito de conversión de TTL a fibra óptica (izquierda) y LED OPF372A (derecha)

2.6 Adaptación de fibra óptica a TTL

En la parte de recepción de las tarjetas se ha de realizar la conversión de fibra óptica a TTL y para ello se emplea un fotodiodo tipo *OPF482* de *Optek*. Este dispositivo convierte la luz procedente de la fibra óptica en una corriente eléctrica muy débil que necesita ser amplificada y convertida a un voltaje en formato TTL.

El primer paso de amplificación de corriente y conversión a voltaje se consigue mediante un amplificador de transimpedancia (Figura 10). En ella el fotodiodo está conectado en modo fotovoltaico, es decir, con voltaje entre sus extremos próximo a cero. Este modo presenta ciertas ventajas frente a otros, como por ejemplo que la respuesta del fotodiodo es menos sensible a variaciones de temperatura, la corriente de oscuridad es más reducida (ya que no se aplica tensión inversa al fotodiodo) y el ruido, por el mismo motivo, también es más reducido.

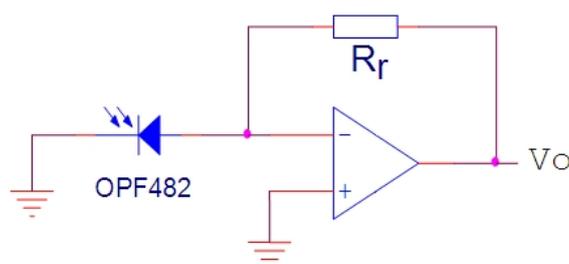


Figura 10. Amplificador de transimpedancia para conversión de fibra óptica a voltaje

La tensión de salida V_o viene dada por la expresión:

$$V_o = I_f \cdot R_r \quad (1)$$

donde I_f es la corriente en el fotodiodo y R_r es la resistencia de realimentación donde se convierte la corriente a voltaje. La tensión de salida pasa posteriormente por un bloque comparador que convierte este voltaje en una señal digital TTL. Para ello compara el voltaje de salida con una tensión de referencia, si V_o supera dicha referencia la salida del comparador da 5 V y si no da 0 V. De esta forma la señal óptica procedente de la fibra es convertida a un voltaje en formato TTL.

4. Resultados

Por último, previo a la incorporación de las tarjetas en la máquina de corte, se llevaron a cabo pruebas experimentales utilizando dos tarjetas conectadas entre sí, midiendo las señales en cada uno de los buses. Para ello se introdujo una señal de tipo TTL en el bus de transmisión TTL de una tarjeta y se midieron las recepciones en los tres buses de la otra tarjeta. Las respuestas experimentales se muestran en las Figuras 11, 12 y 13 para los buses TTL, RS232 y CAN respectivamente. Como se observa en todos los casos se cumplen con los niveles requeridos para cada uno de los buses, por lo que se puede decir que las tarjetas funcionan de forma correcta. Su inclusión en la máquina de corte se llevó a cabo con éxito, permitiendo la comunicación por fibra óptica entre el módulo de control y la unidad operativa.

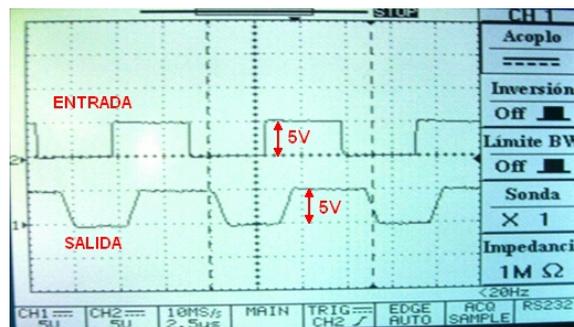


Figura 11. Señales en el bus TTL

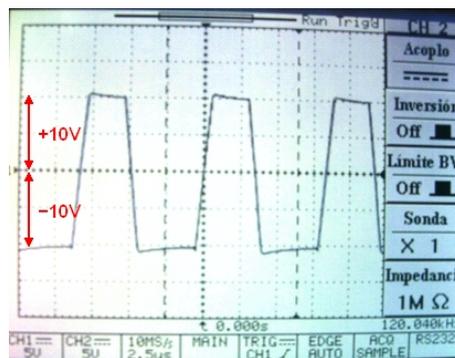


Figura 12. Señales en el bus RS232

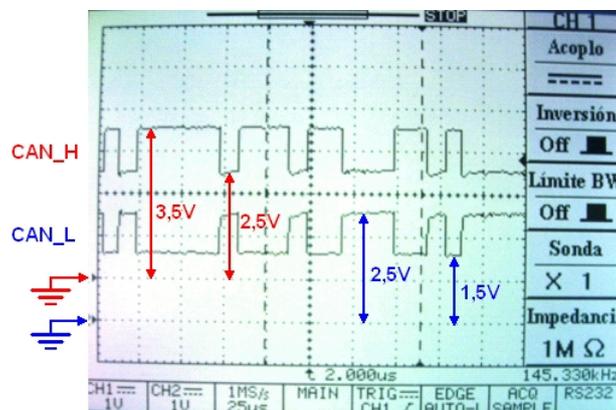


Figura 13. Señales en el bus CAN

5. Conclusiones

Se ha descrito el funcionamiento de una tarjeta de comunicaciones por fibra óptica adaptable a diversos buses. Se ha expuesto el diagrama de bloques y se han descrito cada uno de los módulos que intervienen. Las pruebas experimentales llevadas a cabo con éxito demuestran que las tarjetas están preparadas para funcionar en una máquina de corte por plasma-oxigás haciendo fiables y robustas las comunicaciones.

Referencias

Axelsson J. "Serial Port Complete", Lakeview Research ,2007.

Graeme, J. G., "Photodiode amplifiers: Op Amp solutions" McGraw-Hill, 1996.

Rako P., "Photodiode Amplifiers, changing light to electricity". National Semiconductor.

Voss W., "A Comprehensive Guide to Controller Area Network", Copperhill Technologies Corporation, 2005.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de la empresa Praxair Soldadura S.L.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Alfonso Marcos Hernández
Dpto. Expresión Gráfica
Escuela de Ingeniería Industriales
Av. de Elvas s/n 06071 Badajoz
Phone: +34 924 289 600
Fax: + 34 924 289 601
E-mail : alfomarh@unex.es