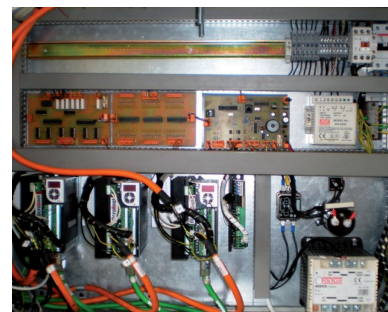


Arquitectura de control electrónico en cuadros de maniobra de máquinas de control numérico para corte por plasma y oxigás

ELECTRONIC CONTROL ARCHITECTURE IN CABINETS FOR PLASMA AND OXIFUEL CNC CUTTING MACHINES

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5840> | Recibido: 10/03/2013 • Aceptado: 28/05/2013



■■■■
José Ignacio Suárez-Marcelo, Alfonso Marcos-Hernández, Miguel Ángel Jaramillo-Morán, Abel Perriñez-Torvisco, Enrique Martínez de Salazar-Martínez

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA. Escuela de Ingenierías Industriales. Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática. Avda. de Elvas, s/n - 06006 Badajoz. Tfno: +34 924 289600. jmarcelo@unex.es

ABSTRACT

• Nowadays cutting machines usually used in industry are controlled by a Computer Numeric Control (CNC) system working with a lot of signals which communicates with sensors and actuators in the machine through a control cabinet. In many cases this unit is designed by the cutting machine manufacturer (who is usually different from that of the CNC) and, as he is not a specialist in electronic design, the control cabinet is electrically implemented with the logic functions carried out in a discrete way by means of relays. This solution generates a hard wiring work when mounting onto the machine and makes it very difficult to repair when a failure is detected.

This work presents a new electronic control system which replaces the old electrical one, with all its relays, usually used in this sort of machines. This new system has been tested in a plasma and oxifuel cutting machine. It has provided a noticeable reduction in the machine wiring and a simplification of the control cabinet design. These facts mean that the machine is now easier to assembly with an important reduction in purchasing and maintenance costs.

• **Keywords:** plasma and oxifuel cutting machine, CNC, control electronics, wiring reduction, control cabinets.

RESUMEN

Normalmente, las máquinas de corte implantadas en la industria vienen gobernadas por un sistema de control numérico computarizado (CNC) genérico que trabaja con gran cantidad de señales y que se comunica con los sensores y actuadores de la máquina a través de un cuadro de maniobra. En muchos casos este cuadro suele ser diseñado por el propio fabricante de la máquina (distinto, generalmente, al fabricante del CNC) y que, al no ser experto en tareas de diseño electrónico, recurre a cuadros de maniobra casi enteramente eléctricos, con la mayoría de las funciones lógicas implementadas de forma discreta a base de relés. Esta solución implica un esfuerzo desmesurado en los trabajos de cableado de este tipo de máquinas, así como en las tareas de diagnóstico y reparación de averías.

En este trabajo se presenta un sistema de control electrónico que sustituye tanto a la vieja electrónica de este tipo de cuadros, como a todos los relés que en ellos se encuentran. Este sistema, probado en una máquina de corte por plasma y oxigás, permite simplificar el cuadro de maniobra y reducir grandemente el cableado de la máquina, con notables ventajas de coste, montaje y mantenimiento.

Palabras clave: máquina de corte por plasma/oxigás, CNC, electrónica de control, reducción de cableado de maniobra.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación en la automatización de máquinas de control numérico computarizado (CNC), realizada tanto en la industria como en las universidades durante décadas, está basada en la creencia de que sus resultados repercutirán en la mejora de la calidad de la producción, reducción de costes, fiabilidad, etc. [1]. La automatización en máquinas de CNC puede ser aplicada a la fabricación tanto de grandes como de pequeños lotes. Además, dicha automatización puede permitir la sintonización autónoma de ciertos parámetros (velocidad, profundidad de corte, etc.) que permitan incrementar el rendimiento de la máquina de forma sustancial en lo que se refiere a calidad del acabado superficial o del corte, tolerancias, ciclos de trabajo, optimizaciones de tiempos, etc.

La tendencia actual es la de incrementar la “inteligencia” de las máquinas de CNC, no sólo en el software de control numérico,

sino también en la parte de maniobra. Esto se consigue introduciendo procesadores digitales programables [2] [3] tales como microprocesadores, microcontroladores, PLCs, FPGAs, etc. Hoy día la tecnología permite construir procesadores cada vez más rápidos, capaces de ejecutar decenas de millones de instrucciones por segundo, a precios muy razonables. Esta capacidad juega un papel muy importante en el control de procesos, permitiendo una gran precisión y repetitividad en la ejecución de tareas. Además, ha permitido utilizar nuevos sistemas de comunicación serie, en detrimento de los sistemas paralelo. Como principal ventaja de aquellos frente a estos está el ahorro de cableado, con la consiguiente reducción de costes, facilitando también una estandarización en lo que a comunicaciones serie se refiere. Esta estandarización ha propiciado que multitud de fabricantes de microelectrónica hayan sacado al mercado gran diversidad de soluciones integradas para comunicación serie, contribuyendo a la reducción de precios y a la expansión mundial de dichos estándares. Muchos fabricantes de procesadores proporcionan bibliotecas software para el establecimiento de protocolos de comunicación serie, lo que facilita enormemente la tarea a los desarrolladores de sistemas de control.

En lo referente a máquinas de corte, el sistema de CNC suele estar basado en soluciones comerciales genéricas muy potentes, capaces de trabajar con gran cantidad de señales de entrada y salida para la gestión de los sensores y actuadores. Esta comunicación no es directa, sino a través de un cuadro, o armario, de maniobra, donde se realizan funciones lógicas y de acondicionamiento de señales. Este cuadro suele estar construido por el propio fabricante de la máquina (distinto, generalmente, al fabricante del CNC) y que, al no ser experto en tareas de diseño electrónico, recurre a diseños casi enteramente eléctricos, con la mayoría de las funciones implementadas de forma discreta a base de relés. Esto implica una gran complejidad del cableado, que crece a medida que aumenta el tamaño y funcionalidad de la máquina, dificultando grandemente la actualización de las funciones del armario de maniobra y haciendo muy arduo el diagnóstico y reparación de averías. El coste de la mano de obra que realiza estas funciones será, en consecuencia, también muy elevado.

Las razones mencionadas anteriormente hacen que se plantee un nuevo enfoque que permita solventar los inconvenientes de las arquitecturas tradicionales adoptadas por los fabricantes de maquinaria con CNC. La tendencia [4] es la de incorporar buses de comunicaciones que permitan simplificar dichas arquitecturas con el objetivo básico de aumentar la competitividad. En [5] se presenta una revisión de la evolución sufrida en máquinas de control de procesos, con una clara tendencia hacia sistemas de control distribuidos comunicados por buses. En [6] se hace referencia a arquitecturas basadas en multiprocesadores (como la que se presenta en este trabajo), basadas en un PC industrial con armarios de maniobra con PLC's y comunicación mediante buses de campo tanto estándares como propietarios (SERCOS, Ethernet, CAN, etc.). [7] presenta un modelo de simulación virtual de una máquina CNC real con el fin de estudiar el sistema de control de trayectorias antes de ser implantado en la máquina. Todos estos estudios describen los sistemas CNC desde el punto de vista del control de movimiento (generación y seguimiento de tra-

yectorias), dejando a un lado las arquitecturas utilizadas para las operaciones de maniobra que complementan el sistema de control de la máquina. De hecho, es difícil encontrar referencias en este último campo.

Se presenta aquí una nueva arquitectura de control para armarios de maniobra. No se incluye, por no ser el objeto del trabajo, la parte de gestión del movimiento de la máquina a través de los motores y sus drivers, que son responsabilidad directa del PC (sobre el que corre un software CNC propietario). El trabajo se centra en mejorar la parte de maniobra que conecta los sensores y actuadores con el PC. La arquitectura planteada está basada en sencillos buses industriales de comunicación y tarjetas "inteligentes", adaptada a las necesidades del fabricante de maquinaria con CNC. El objetivo primordial es el de simplificar los cuadros de maniobra y reducir el cableado interno de las máquinas, para así obtener ventajas competitivas como las relacionadas con el coste, el montaje y el mantenimiento de dicha maquinaria.

El trabajo ha sido financiado por la empresa *Praxair Soldadura S.L.* que, mediante la firma de varios convenios, ha dado respaldo al desarrollo de las soluciones que aquí se presentan.

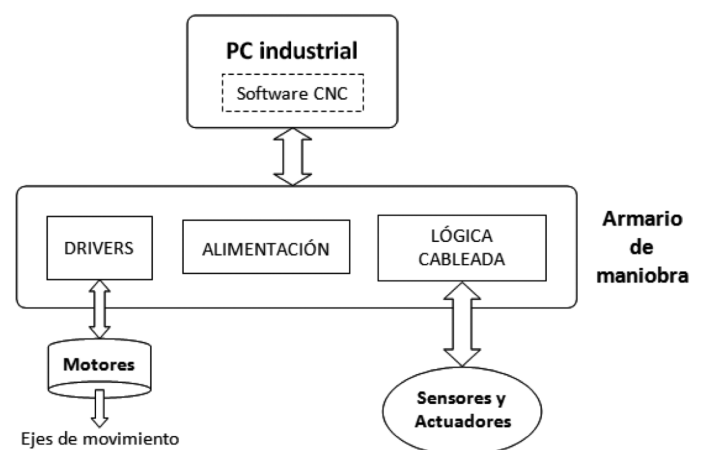


Fig. 1: Arquitectura tradicional de una máquina de CNC para corte por plasma y oxigás

2. ARQUITECTURA DE CONTROL

2.1. ARQUITECTURA DE UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO

Como plataforma de ensayo para el desarrollo del sistema de control propuesto se ha empleado una máquina de corte por plasma y oxigás modelo *Avant30* de la empresa *Praxair Soldadura, S.L.* A grandes rasgos, la arquitectura de una máquina de este tipo es la que se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 1.

La máquina consta de un controlador maestro formado por un ordenador industrial de tipo PC, con pantalla táctil y software de control numérico (corriendo sobre *Windows Embedded*) que gestiona la fabricación de las piezas de forma autónoma. El ordenador, a través de unas tarjetas de entrada y salida situadas en su propio chasis, se comunica con un armario de maniobra donde se encuentran los dispositivos de

control de movimiento de la máquina (drivers) y las circuitas de alimentación y control (lógica cableada) que gobiernan todos los sensores y actuadores de la máquina.

La máquina dispone de los correspondientes motores para ejecutar los movimientos en cuatro ejes (Figura 2) que son gobernados desde sus respectivos drivers. Los ejes X y XX son paralelos y permiten mover el puente de la máquina adelante y atrás. El uso de dos motores evita errores de alineamiento entre ambos ejes. Sobre el puente se montan las antorchas de plasma y oxigás, que pueden moverse a izquierda y derecha (eje Y) o verticalmente (eje Z). El PC controla directamente los drivers, sin pasar por la lógica cableada, excepto el de altura, que tiene un control propio implementado en el armario de maniobra.

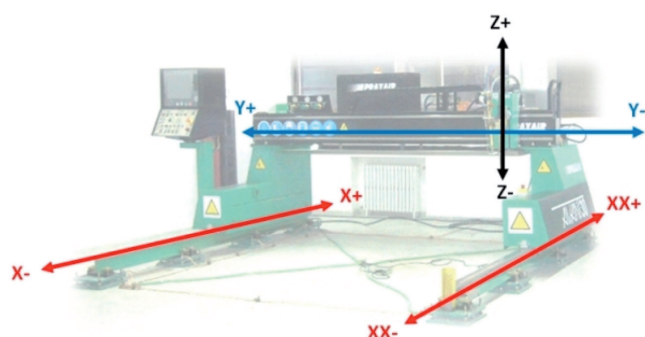


Fig. 2: Ejes de movimiento de la máquina de CNC usada como banco de ensayo

La lógica de control situada en el armario de maniobra está formada por una serie de placas electrónicas y circuitos eléctricos contruidos a base de relés que permiten realizar las funciones lógicas necesarias para que el PC pueda realizar el gobierno de la máquina (lógica cableada). Con ella se hace de interfaz entre el PC y los sensores y actuadores de toda la máquina. Toda la información, tanto de entrada como de salida, que genera esta lógica de control viaja en formato paralelo a través de una serie de macedos de cables que unen el armario de maniobra con el propio PC industrial. La Figura 3 muestra el armario con los drivers, la alimentación y el sistema eléctrico de maniobra original (lógica cableada), cuya sustitución y rediseño es el objetivo del presente trabajo.

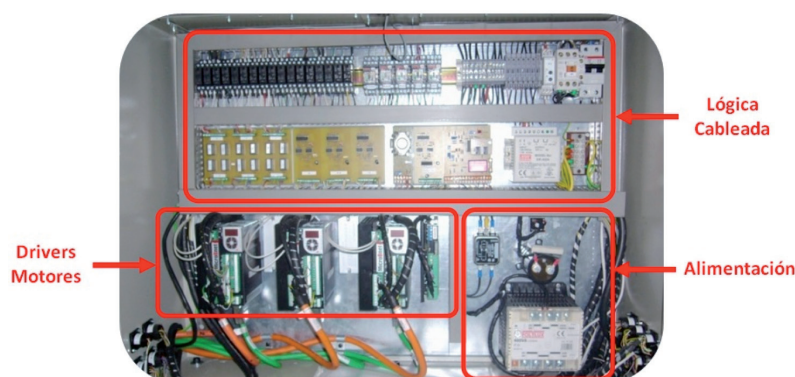


Fig. 3: Armario de maniobra original. Sólo la lógica cableada es la que ha sido sustituida y mejorada

2.2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La electrónica del armario de maniobra debe diseñarse de forma que proporcione una gran fiabilidad de funcionamiento. Debe ser fácilmente reparable para que, en caso de avería, el cliente tenga parada el menor tiempo posible su línea de producción. Su arquitectura debe estar concebida de una manera sencilla y modular, que facilite su construcción, programación, funcionamiento y la posibilidad de incorporar futuras ampliaciones. Por último, debe ser asequible en precio, para que permita una mayor competitividad a la empresa que la produce.

La lógica de control que normalmente montan los armarios de maniobras es de tipo cableado, es decir, que sus funciones están realizadas en forma de circuitos eléctricos, en su mayoría con relés electromecánicos. Un cambio en dichas funciones lógicas requeriría un cambio de cableado o, incluso, una reestructuración de la circuitería. Un sistema de estas características requiere de un gran esfuerzo de fabricación para evitar que durante su montaje se cometan fallos de cableado. Además, cuando este crece las probabilidades de error se multiplican. Obviamente, la ampliación de las funciones de una máquina como ésta, implica un cambio o reestructuración del armario de maniobra, haciendo el cableado aún más denso, lo que agrava grandemente los problemas anteriormente comentados. Todo esto lleva aparejado otra desventaja importante, y es que el diagnóstico de una avería se hace muy complejo, por lo que la visita de un técnico a las instalaciones del cliente se puede alargar en el tiempo, redundando en un aumento en el coste del mantenimiento.

En el diseño se ha de procurar reducir al máximo el uso de relés electromecánicos, especialmente para la realización de algoritmos de control, pues presentan ciertos inconvenientes que están relacionados con la velocidad, consumo de energía, fiabilidad, coste y volumen de espacio requerido, sobre todo al compararlos con otros dispositivos electrónicos fabricados en semiconductores (microcontroladores, transistores, memorias, etc.). Un relé electromecánico es un elemento de conmutación extremadamente lento, debido a su propia naturaleza mecánica, y su fiabilidad y vida útil son más reducidas debido al deterioro paulatino de los contactos. Además, en muchas ocasiones, el consumo es excesivo ya que hay que excitar una bobina. En cuanto a su precio, se puede decir que es también excesivo, teniendo en cuenta las prestaciones tan limitadas

que presenta a la hora de realizar funciones lógicas de control. Su uso masivo como elementos lógicos hace que el espacio requerido para albergarlos dentro del armario de maniobra sea bastante grande (aumentando ostensiblemente el cableado), lo que, unido a su superior consumo, hace que las fuentes de alimentación para esta circuitería sean también desproporcionadas (repercutiendo negativamente en el precio).

Por otro lado, el armario de maniobra se suele ubicar cerca de los sensores y actuadores para evitar la degradación de las señales, mientras que el ordenador industrial suele estar cerca del operario, en zona segura (Figura 4). Esto implica tender

grandes maceados de cables, de varios metros de longitud, que unan el armario y el ordenador industrial, lo que conlleva un alto coste en hilos de cobre y conectores. Además, cuanto mayor es el número de señales empleadas, mayor es el esfuerzo de cableado de la máquina, ya que la transmisión de señales suele hacerse en paralelo. Por último, hay que tener en cuenta también que estas señales, digitales, suelen ser normalmente del tipo *single-ended* (o referenciadas a masa), lo que significa que son bastante sensibles al ruido electromagnético. Este efecto es más perjudicial a mayor velocidad de conmutación y longitud de los cables.

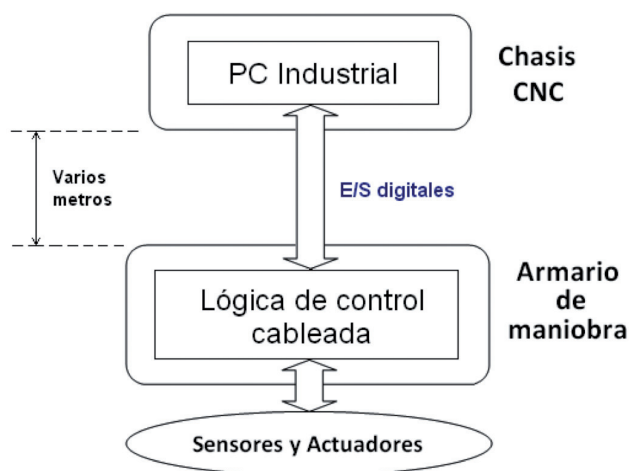


Fig. 4: Estructura de comunicación paralela entre el controlador CNC y el armario de maniobra

2.3. ARQUITECTURA PROPUESTA

2.3.1. Buses de comunicación serie

La arquitectura propuesta se basa en el uso de buses de comunicación serie, pues presentan ventajas claras frente a la comunicación paralelo [8]. Para grandes distancias el envío de múltiples señales en paralelo resulta caro debido a la multiplicidad de hilos. Por contra, existen buses serie que emplean muy poca cantidad de hilos, con un altísimo grado de estandarización, lo que permite que haya multitud de productos de diferentes fabricantes en el mercado a precios muy competitivos. Además, en muchos buses serie se emplean a menudo técnicas de reducción de ruido, poco habituales en comunicaciones paralelo, que ayudan a mejorar las velocidades de transmisión.

2.3.2. ¿Autómata programable o microcontrolador?

El protocolo empleado en los buses serie impone el uso de controladores digitales que manejen dicha información. Entre las opciones posibles sobresalen la utilización de un PLC [9] o un microcontrolador [10], ambos con sus propias ventajas e inconvenientes, e incluso una solución mixta que incluya ambos dispositivos [11]. La elección se hace, en parte, según la experiencia y el conocimiento del diseñador en cada uno de los campos, el presupuesto disponible y las necesidades técnicas.

Aunque la opción del PLC es perfectamente válida, la solución escogida finalmente es la basada en microcontrolador, ya que, para este caso concreto, se tienen ciertas ventajas, debidas, entre otras, a las siguientes razones:

- Con PLCs el diseñador debe atenerse a los módulos de expansión que el fabricante proporcione, pudiendo quedar desaprovechados. Con el microcontrolador se puede diseñar el sistema totalmente a medida, gracias a que la amplísima gama de microcontroladores (muy superior a la de PLCs) permite elegir el modelo más adecuado a la aplicación, sin derrochar recursos.
- El *ciclo de ejecución* o *scan* del PLC (de pocos milisegundos) impide controlar adecuadamente señales que varíen muy rápidamente, requiriendo a veces módulos específicos [12]. El microcontrolador, al no tener esta limitación, puede trabajar a velocidades de procesamiento muy elevadas, pudiendo reaccionar inmediatamente a cambios en el entorno.
- Los PLCs se programan en lenguajes propietarios, lo que obliga a comprar el software del fabricante, mientras que en los microcontroladores, aunque el lenguaje ensamblador es también propio de cada fabricante, éstos suelen proporcionarlos de forma gratuita. Los códigos no son exportables directamente de un PLC a otro, cosa que es más fácil entre microcontroladores gracias al uso del lenguaje ANSI C/C++, considerado un estándar mundial. En un PLC la capacidad de elaboración de algoritmos complejos es reducida, no así en un microcontrolador.
- Las herramientas de desarrollo de microcontroladores suelen ser asequibles en precio, en muchos casos gratuitas. Además, el fabricante proporciona potentes bibliotecas de funciones perfectamente testadas y depuradas que facilitan la programación del microcontrolador, reduciendo el tiempo de desarrollo.
- Las posibilidades de miniaturización del sistema con microcontrolador son mucho mayores que con un PLC, en parte porque el sistema se puede desarrollar a medida.
- Un sistema con microcontrolador resulta generalmente mucho más barato que uno con PLC debido al elevado precio de este último y a que los fabricantes integran un gran número de opciones y funciones que en muchas aplicaciones no se necesitan, y éstas, aunque no se usen, hay que pagarlas [13].

2.3.3. Estructura de control

La integración de buses serie y microcontroladores en el sistema que gestiona las operaciones de maniobra se ha realizado de acuerdo a una arquitectura de dos niveles (Figura 5). En el exterior se tiene una comunicación de larga distancia entre el chasis del ordenador industrial y el armario de maniobra, llevada a cabo mediante un bus serie asíncrono. Internamente se tienen las comunicaciones de corta distancia entre circuitos integrados de una misma tarjeta de circuito impreso o entre

varias tarjetas (realizada mediante bus serie síncrono).

Las entradas y salidas del ordenador industrial son gestionadas por una tarjeta ubicada dentro de su chasis. Así se consigue recortar las longitudes de macedados paralelos de cables de varios metros a pocos centímetros, reduciéndose también el número y/o el precio de los conectores, pues las conexiones son internas. Esta tarjeta está gobernada por un microcontrolador que hace de puente entre el ordenador industrial y el armario de maniobra. Su misión es doble: leer todas sus entradas (salidas para el ordenador industrial), codificarlas y enviar dicha información al armario de maniobra y, por otro lado, recibir datos del armario de maniobra, decodificarlos y alterar sus salidas (entradas del PC industrial) de acuerdo con la información recibida. Este proceso de lectura de las entradas y actualización de las salidas se lleva a cabo a través de un bus serie I²C [14].

En el armario de maniobra se emplea una estructura similar, utilizando un microcontrolador para la comunicación con el ordenador industrial y para la gestión de los sensores y actuadores repartidos por la máquina. Las entradas y salidas que conectan con los sensores y actuadores son gestionadas también desde una interfaz por bus I²C.

El uso de este bus interno se hace necesario por el elevado número de entradas y salidas, (imposible hacer frente a todas ellas con un solo microcontrolador). Esto obliga a utilizar diversos circuitos integrados cuya forma más económica y fácil de comunicación es mediante interfaz serie. De esta forma, además, se gana en modularidad y capacidad de expansión, pues se podrían incorporar fácilmente nuevas tarjetas de control a la arquitectura existente, sin necesidad de grandes cambios en el cableado y el software del sistema. Esto lleva aparejado una importante componente económica, pues los fabricantes podrían ofertar al mercado diferentes modelos de máquinas que compartan una misma arquitectura común.

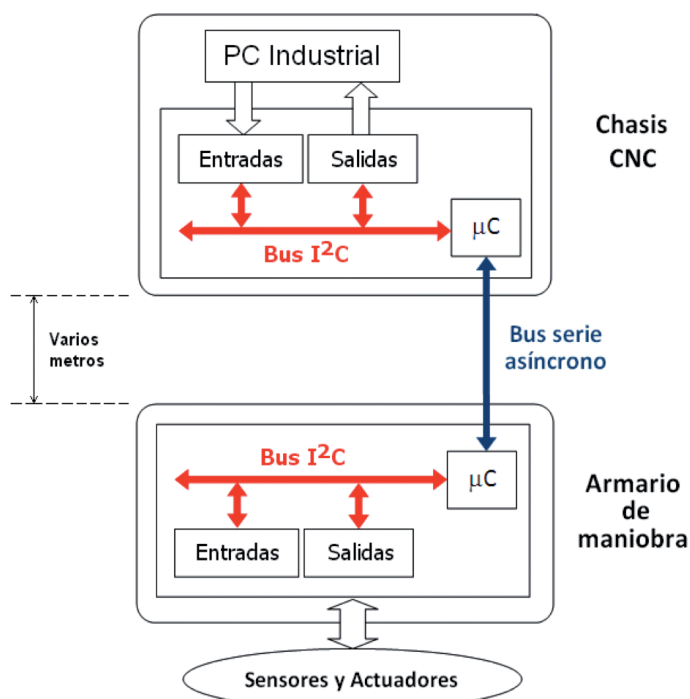


Fig. 5: Estructura propuesta con buses de comunicación serie

Además, el nivel de stocks se podría reducir, pues todos los modelos compartirían componentes básicos iguales.

La elección del bus I²C, muy empleado en la industria [15-16], como elemento de unión entre los circuitos y tarjetas se debe a su gran velocidad de comunicación, bajo consumo, gran rango de temperatura de funcionamiento y sencillez del protocolo. Permite obtener una gran reducción de espacio y precio, gracias al uso de sólo dos hilos y a la incorporación de los interfaces en los propios chips. Se pueden añadir o retirar dispositivos sin afectar al resto, lo que beneficia a la modularidad y flexibilidad de la solución propuesta. Todas estas ventajas han sido aprovechadas en el diseño de la lógica de control del armario de maniobra de la máquina de corte, donde, si se desea, se pueden incluir nuevas tarjetas, o cambiar las existentes por versiones mejoradas, manteniendo intactas el resto. El diseño final resulta compacto y sencillo, reuniendo todas las ventajas anteriormente mencionadas.

2.3.4. Circuitería de interfaz con el ordenador industrial

Para la comunicación con el ordenador industrial se ha dispuesto una tarjeta cuyo diagrama de bloques se muestra en la Figura 6. Su misión es, por un lado, la de recibir la información del PC industrial y transmitirla al armario de maniobra a través del bus serie asíncrono y, por otro, recibir información de este bus y transmitirla a las salidas que conectan con el ordenador.

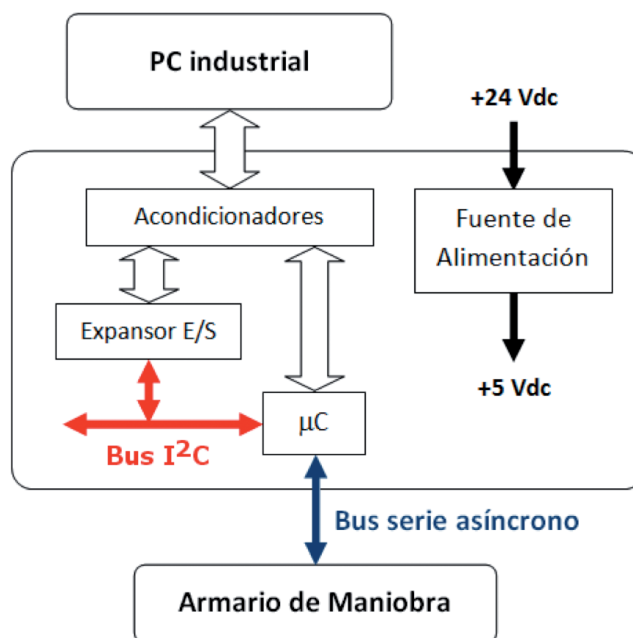


Fig.6: Diagrama de bloques de la tarjeta de interfaz entre el PC industrial y el armario de maniobra

El componente principal es un microcontrolador con capacidad para la comunicación serie con el armario de maniobra, así como para la comunicación por bus I²C. Ciertas señales son manejadas directamente por el microcontrolador, el resto, debido al reducido número de puertos de que dispone, es tratado mediante un expansor de entradas y salidas que es gobernado a través del propio bus I²C.

Todas las entradas y salidas disponen de acondicionadores para adaptarse a las necesidades de comunicación con el ordenador industrial. Para el caso de las entradas se han dispuesto filtros de ruido y antirrebotes, ya que muchas de las señales recibidas son de tipo electromecánico: contactos de relé, pulsadores o interruptores.

La fuente de alimentación está basada en reguladores conmutados de alta eficiencia, con capacidad para la protección frente a cortocircuitos, sobrecorrientes e inversión de polaridad. Su objetivo es proporcionar una tensión continua de +5V, estabilizada y filtrada, a los componentes lógicos de la electrónica de la tarjeta. La entrada se toma de la alimentación de +24V que el propio chasis del ordenador proporciona.

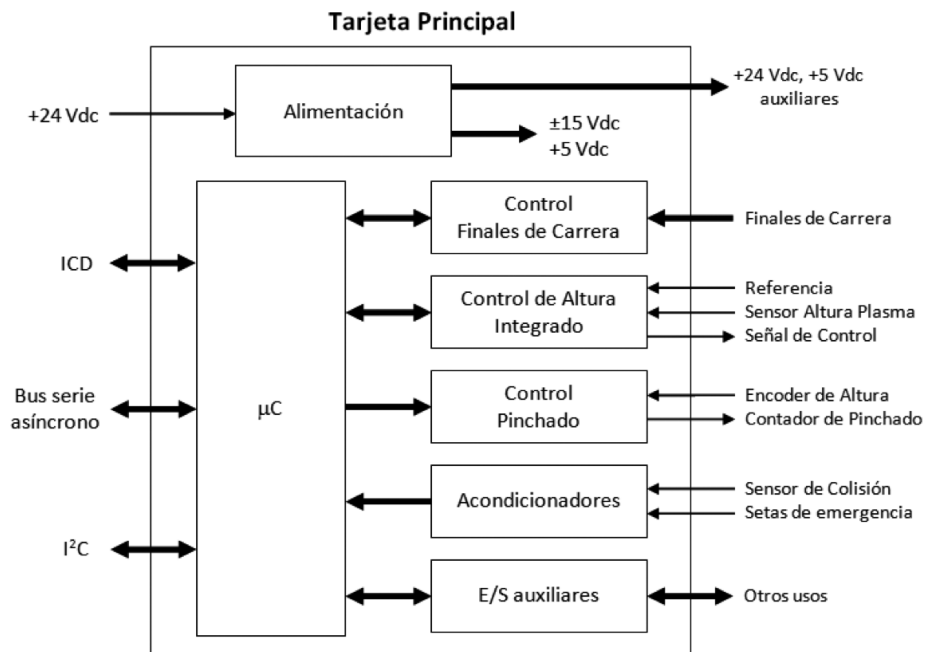


Fig.8: Diagrama de bloques de la tarjeta principal de la lógica de control del armario de maniobra

2.3.5. Circuitería de control del armario de maniobra

Este sistema sustituye la lógica cableada original por una arquitectura basada en microcontrolador. Como el número de señales (en su mayoría digitales) procedentes de los sensores y actuadores que estas máquinas manejan es muy grande, será necesario disponer de expansores de entrada y salida que permitan al microcontrolador procesar todas las señales disponibles. Además, como uno de los objetivos del trabajo es diseñar una arquitectura modular ampliable que sea aplicable con facilidad a otras máquinas más sofisticadas, se ha desa-

rollado una estructura de este tipo formada por varias tarjetas con diferentes funcionalidades conectadas mediante bus I²C (Figura 7).

La tarjeta principal (Figura 8) dispone de un microcontrolador maestro de 8 bits de altas prestaciones y bajo precio que gestiona el funcionamiento del armario de maniobra, incluyendo todas las operaciones de corte. Esta tarjeta incorpora una gran cantidad de funciones como, por ejemplo, la gestión de las tarjetas de E/S mediante I²C, la comunicación con el PC industrial por bus serie asíncrono, el control del proceso de pinchado, el arranque adecuado de todos los sistemas de la máquina, el control de altura del plasma, las paradas de emergencia (bien por colisión de la antorcha o por activación de las setas de emergencia), el disparo del plasma, el *homing* (proceso que permite establecer el origen de coordenadas), etc. Todas estas funciones son gestionadas por el microcontrolador maestro, excepto el control de altura, que se ha implementado en software en un microcontrolador esclavo. De esta forma se libera al maestro de la parte más exigente en carga computacional.

El bloque más importante de la tarjeta principal es el control de altura del corte por plasma, gestionado por el microcontrolador esclavo antes mencionado y dotado con menores prestaciones que el maestro que gestiona toda la tarjeta. La altura la determina el equipo generador de plasma midiendo la diferencia de potencial entre la pieza de trabajo y la boquilla de la antorcha. El controlador garantiza que la antorcha esté siempre a la misma distancia de la plancha metálica que está siendo cortada, con el fin de evitar la pérdida de calidad en el corte de la pieza. Para el oxígeno se emplea un controlador específico (que no forma parte de la arquitectura modificada) al que se conecta directamente un sensor de altura capacitivo. Como ambos sistemas son capaces de gestionar el conjunto driver-motor de altura, el microcontrolador maestro envía

Comunicación con PC (CNC)

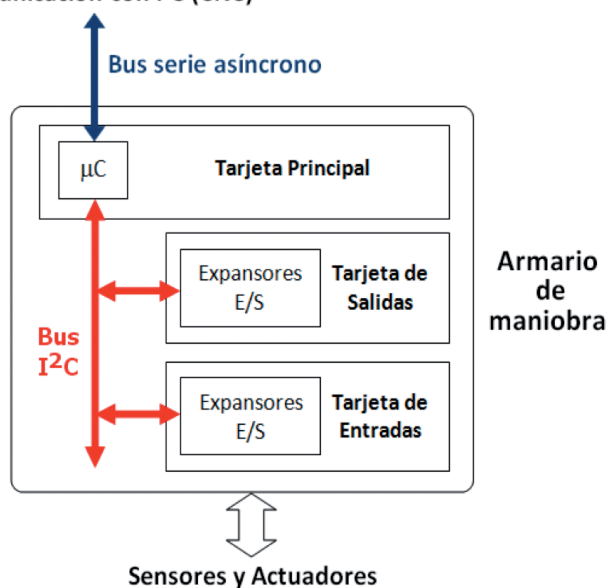


Fig.7: Estructura de la lógica de control del armario de maniobra modular y expandible mediante bus PC

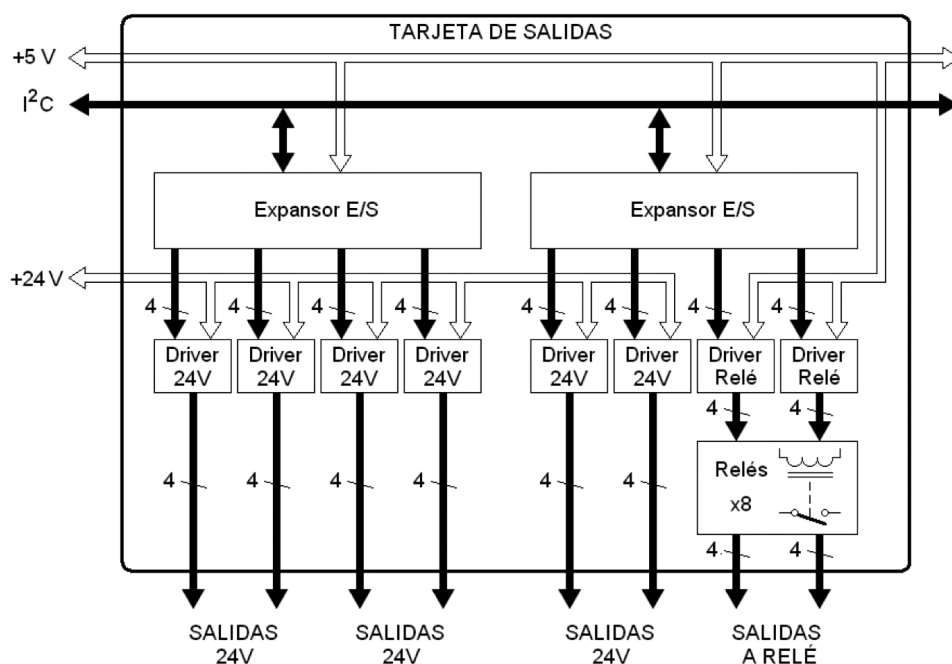


Fig.9: Diagrama de bloques de la tarjeta de salidas de la lógica de control del armario de maniobra

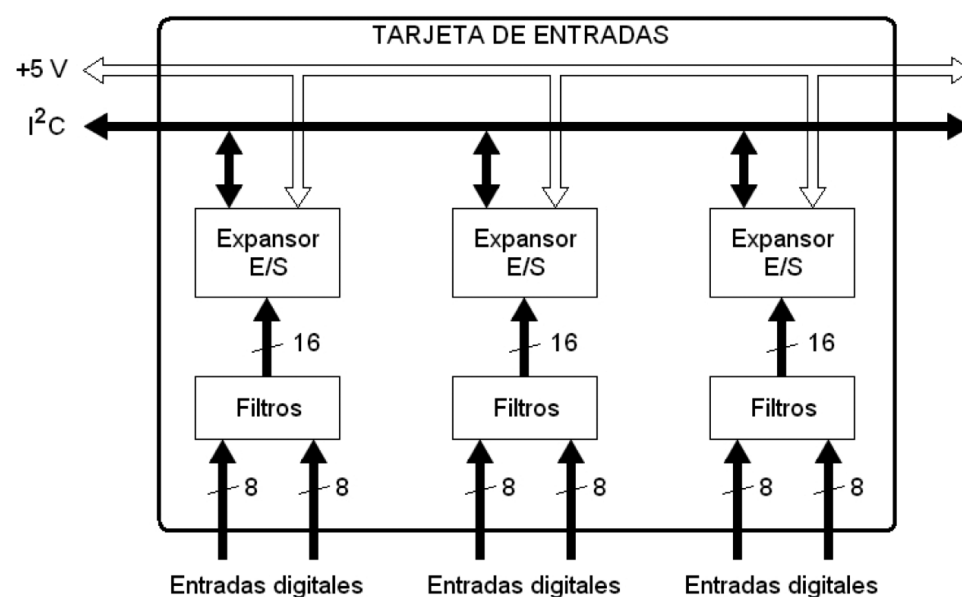


Fig.10: Diagrama de bloques de la tarjeta de entradas de la lógica de control del armario de maniobra

(mediante el bus I²C) un comando a la tarjeta de salida para que se seleccione uno u otro controlador en función del tipo de corte elegido desde la consola frontal del PC industrial.

El resto de bloques lo forman una fuente conmutada de 5V y 2A, que alimenta las tres tarjetas del armario, y los circuitos de gestión de los principales sensores de la máquina (seta de emergencia, finales de carrera, sensores de colisión y pinchado, etc.). Una descripción más detallada se puede encontrar en [17].

La tarjeta de salida (Figura 9) dispone de varios módulos expansores que se comunican mediante I²C con el microcon-

trolador de la tarjeta principal. Han sido configurados para ser usados como salidas digitales (de tipo TTL), sin embargo, muchas de las señales de la máquina requieren ser adaptadas a las necesidades de los actuadores y resto de módulos, por ello se hace necesario el uso de acondicionadores (*drivers*). Estos permiten adaptar la lógica TTL a voltajes distintos, por ejemplo a 24V, o también para su uso con relés, ya que ciertos módulos de la máquina y del PC industrial requieren como señales de entrada cierres de contactos.

Por último, la tarjeta de entradas (Figura 10) también dispone de varios expansores para la comunicación por I²C, configurados para su uso como entradas digitales. En todas las entradas digitales se ha optado por utilizar filtros de tipo paso bajo (circuitos con resistencias y condensadores) con el fin de limitar los rebotes y los ruidos presentes en este tipo de señales.

3. RESULTADOS

La arquitectura de control propuesta ha sido sometida a multitud de pruebas de funcionamiento, obteniéndose un resultado altamente satisfactorio, pues sustituye con plenas garantías la circuitería original basada en lógica cableada. Esta afirmación se basa en el hecho

de que la máquina ha sido sometida a todos los tipos de cortes soportados desde la consola de operario y se han comparado los resultados con los de la arquitectura original.

En primer lugar, se modificó la antorcha de la máquina para realizar dibujos de piezas de calibración sobre un papel dispuesto sobre la mesa de corte, con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del nuevo sistema. El test consiste en dibujar una serie de figuras geométricas, comprobando los puntos de calibración y de paso. No hubo diferencia, en cuanto a desviaciones y errores, con el sistema original. Al no haber realizado ningún cambio en los algoritmos de seguimiento de

trayectorias, ya que se usó el software de CNC propietario que originalmente disponía la máquina, no era de esperar una mejora en cuanto a precisión y errores de perfil se refiere. Tan sólo se esperaba que el nuevo sistema de maniobra funcionara al menos como el original.

Posteriormente, se sometió a la máquina a todos los tipos de corte soportados, tanto con plasma (el caso más habitual) como con oxigás, ya fuese en modo automático como manual, con control de altura manual o automático, etc. De esta forma quedaba comprobado que la nueva arquitectura de maniobra operaba con éxito. Durante las primeras pruebas se realizaron retoques en el software de los microcontroladores de las nuevas tarjetas, con el fin de depurar fallos de funcionamiento. Finalmente, se pudo comprobar en diferentes tipos de piezas (Figura 11), que la precisión y la capacidad operativa de la máquina no se vio mermada con respecto al sistema anterior, resultando ser muy fiable.



Fig.11: Algunas piezas cortadas por plasma con la máquina operando con la nueva arquitectura

Por otro lado, se ha conseguido un ahorro considerable en el cableado, tanto dentro del armario de maniobra como en el resto de la máquina. El ahorro también es de espacio (Figura 12), ya que todas las funciones lógicas, que anteriormente

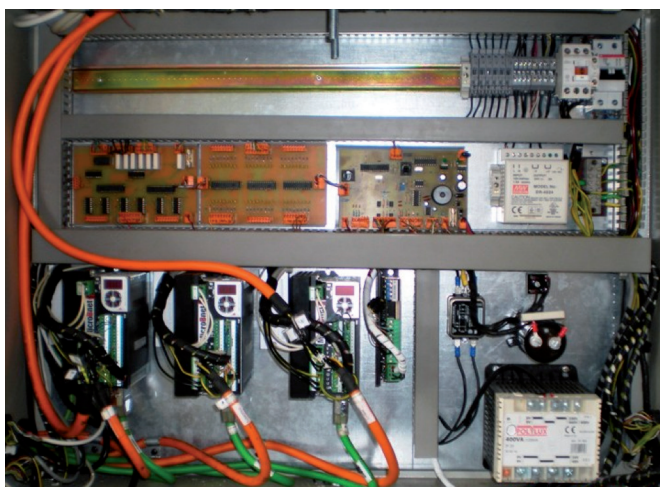


Fig.12: Disposición de las tarjetas prototipo en el armario de maniobra

estaban realizadas por una lógica cableada basada en relés, han sido integradas en el software de los microcontroladores. Compárese la Figura 3 (arquitectura original) con la Figura 12 (arquitectura modificada).

Con la nueva arquitectura de maniobra se han conseguido grandes beneficios. El empleo de microcontroladores permite obtener ventajas de diseño: tamaño reducido, robustez (pues están diseñados para ambientes industriales), bajo coste (muchas de las herramientas de desarrollo son gratuitas y los propios microcontroladores son dispositivos de costo inferior al de un solo relé de maniobra), etc.

El sistema es modular, porque es posible, gracias a los buses de comunicación empleados, añadir, quitar y sustituir fácilmente las tarjetas que forman el sistema. Un simple cambio de software sería suficiente para adaptarse a la nueva configuración. Esto puede permitir al fabricante sacar al mercado diversos modelos de máquinas manteniendo una arquitectura base común, fácil de mantener (se reducen los stocks al compartir todas las máquinas la misma base) y actualizar.

El nuevo sistema es más fácil de mantener porque se ha reducido el número de componentes y, por tanto, también el cableado. Esta reducción proviene, fundamentalmente, de dos vías. Por un lado, el hecho de haber implementado en software muchas de las funciones que anteriormente estaban realizadas mediante la lógica cableada ha permitido eliminar casi todos los relés de la arquitectura original. Tan sólo se han mantenido unos pocos que sirven de adaptación a dispositivos especiales (electroválvulas de corriente alterna, relés maestros de alimentación para circuitos de alto consumo de corriente alterna, etc.). Por otro lado, al haber empleado buses de comunicaciones (con pocos hilos) se ha evitado tener que usar señales adicionales por cada una de las funciones que deban ser transmitidas de un lado a otro de la máquina. Los numerosos macedos de cables (con más de 50 hilos) que conectaban la lógica cableada con el PC industrial han sido sustituidos por un único bus de tres hilos.

El control de altura analógico de tipo P que venía con la arquitectura original ha sido sustituido por un control digital PID basado en microcontrolador [17]. Al disponer de este elemento reprogramable se pueden implementar diferentes algoritmos y estrategias de control sin necesidad de alterar el hardware.

Se han empleado técnicas convencionales de reducción de ruido (filtros, condensadores de desacoplo, etc.) para garantizar la robustez del sistema.

Con la nueva estructura modular reprogramable, ante una posible avería del sistema, la solución más sencilla consiste en sustituir la tarjeta causante del fallo. En el mejor de los casos, una simple actualización de software puede ser suficiente para que el error no se vuelva a reproducir. En la arquitectura original, al poseer una estructura de control cableada (frente a una programada) los inconvenientes proceden de la dificultad de averiguar el elemento (generalmente relé) causante del malfuncionamiento.

Frente a las ventajas de la nueva arquitectura cabe mencionar algunos inconvenientes. Por ejemplo, es necesario nuevo personal especializado tanto para el diseño como reparación de los equipos. Por otro lado, la arquitectura es dependiente del sistema CNC empleado, en este caso uno de tipo propieta-

rio, ya que la interfaz con el PC industrial se hace por medio de un panel de entradas y salidas digitales. Sin embargo, esto puede ser solventado con el uso de un CNC que incorpore buses de comunicaciones estándares.

4. CONCLUSIONES

La arquitectura que aquí se presenta ha sido llevada a cabo teniendo en cuentas criterios de sencillez, flexibilidad del diseño, economía de espacio y precio, fácil disponibilidad de componentes, rapidez de prototipado, calidad y fiabilidad. La naturaleza digital y la capacidad de trabajar en modo incrustado de los microcontroladores empleados hacen que el sistema sea robusto y fiable, como así lo atestiguan las pruebas llevadas a cabo. Ha habido una mejora de la fiabilidad y de la flexibilidad en todo el sistema que gestiona los procesos de corte, conseguida, fundamentalmente, por la elección de soluciones sencillas de diseño, basadas en el uso de sistemas empotrados reprogramables y comunicaciones por buses serie. Se ha ganado en capacidad de expansión del diseño gracias, sobre todo, al uso de esa arquitectura de buses serie. Además, estas soluciones permiten mejorar problemas de fabricación, puesta en marcha, mantenimiento y costes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la participación de la empresa *Praxair Soldadura, S.L.* en la financiación, disponibilidad de materiales e información, gracias a la cual ha sido posible la realización del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Shih-Jer Huang, Cheng-Fa Lee, Servo-drive systems for milling machine retrofit application, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 33, Issue 3, June 1993, Pages 449-463, ISSN 0890-6955, [http://dx.doi.org/10.1016/0890-6955\(93\)90051-U](http://dx.doi.org/10.1016/0890-6955(93)90051-U).
- [2] K.D. Oldknow, I. Yellowley, Design, implementation and validation of a system for the dynamic reconfiguration of open architecture machine tool controls, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 41, Issue 6, May 2001, Pages 795-808, ISSN 0890-6955, [http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955\(00\)00109-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(00)00109-7).
- [3] R. Ramesh, M.A. Mannan, A.N. Poo, Tracking and contour error control in CNC servo systems, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 45, Issue 3, March 2005, Pages 301-326, ISSN 0890-6955, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.08.008>.
- [4] R. Krafting, "Digitally networked servos drive two new machines". *Design News*. Motion Control Supplement, April 9, 2001.
- [5] K.F. Martin, A review by discussion of condition monitoring and fault diagnosis in machine tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 34, Issue 4, May 1994, Pages 527-551, ISSN 0890-6955, [http://dx.doi.org/10.1016/0890-6955\(94\)90083-3](http://dx.doi.org/10.1016/0890-6955(94)90083-3).
- [6] López de Lacalle, L.N. y Lamikiz, A. "Machine Tools for High-Performance Machining". Springer. 2009.
- [7] Chi-Ho Yeung, Yusuf Altintas, Kaan Erkorkmaz, Virtual CNC system. Part I. System architecture, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 46, Issue 10, August 2006, Pages 1107-1123, ISSN 0890-6955, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.08.002>.
- [8] N. Mathivanan. "PC-Based Instrumentation: Concepts and Practice". Prentice-Hall of India Private Limited. 2007.
- [9] S. Gordon and M. T. Hillery, "Development of a high-speed CNC cutting machine using linear motors". *Journal of Materials Processing Technology*. 2005. Vol. 166. p. 321-329.
- [10] C. Candiani, J. Luzuriaga, and D. Petrone. "Un CNC modular, multieje, apto para el comando de robots y sistemas especiales". *V Jornadas Argentinas de Robótica (JAR'08)*. Bahía Blanca (Argentina). 12-14 noviembre 2008.
- [11] X. Zhou, B. Tan, B. Zhu, X. Peng, and Y. Pei. "CNC system of MKS1632 external cylindrical grinding machines based on embedded". *Proceedings of the Second International Symposium on Networking and Network Security (ISNNS10)*. Jinggangshan (P. R. China). April 2-4 2010. p. 262-266.
- [12] N. A. Ivanescu, T. Borangiu, S. Brotac, and A. Dogar. "Implementation of sequential function charts with microcontrollers". *Proceedings of the 15th Mediterranean Conference on Control and Automation*. Athens (Greece). July 27-29 2007.
- [13] R. Hoehn and S. M. Sbenaty. "Designing, building and testing a microcontroller based system for industrial applications". *Proceedings of the 2005 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference*. 2005.
- [14] "I²C-Bus Specification and User Manual, Rev. 3". June 19, 2007. <http://www.nxp.com>.
- [15] J. M. Andújar, T. de Jesús Mateo, F. J. Aguilar y J. J. Chica. "Plataforma robótica controlada de forma remota mediante una red I²C de microcontroladores". *XXVII Jornadas de Automática*, Almería (España), 2006.
- [16] Changqing Cai. "The LPT Data Acquisition Card Design of the Front-Wheel Vehicle Positioning Test Equipment Based on the I2C Bus". *International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops*, 2008. December 21-22 2008. p.753-756. doi: 10.1109/IITA.Workshops.2008.37
- [17] J. I. Suárez, M. A. Jaramillo, A. Marcos, E. Martínez de Salazar, "Mejora en la Electrónica del Control de Altura de una Máquina de corte por Plasma/Oxigás". *Actas del Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI 2011)*. 5-8 de julio, 2011. Badajoz (España). p. 549-554.