

Emulación de ejes adicionales para una máquina fresadora CNC de 3 ejes

An emulation of additional axis for a 3 axis CNC mill machine



Guillermo Martín Limón-Molina^{1,2}, Víctor Nuño-Moreno¹, Carlos Morales-Carbajal², Carlos Raúl Navarro-González¹, Álvaro González-Ángeles¹

¹ Universidad Autónoma de Baja California (México)

² Universidad Politécnica de Baja California (México)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8168>

1. INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera requiere procesos de fabricación con formas cada vez más complejas elaboradas con materiales no-convencionales. En el ámbito educativo la enseñanza de la manufactura necesita mejorar sus cursos y promover el uso de tecnologías más recientes, que permitan a los estudiantes aprender y mejorar su rendimiento por medio de la creación de procesos apropiados y recursos para el desarrollo de sus competencias laborales como en el caso de [1] donde se emplea un nuevo concepto con el propósito de modificar los procesos de enseñanza tradicionales. Muchas aplicaciones en la industria militar, aeronáutica y aeroespacial en sistemas multi-eje están surgiendo, a nivel mundial, como un método de manufactura para geometrías complejas [2]. En muchas aplicaciones industriales de acuerdo con [3] requieren tener un buen conocimiento de sistemas CNC de 4 o más ejes.

El mecanizado multi-eje es un proceso de manufactura que consiste en la remoción de material con máquinas cortadoras de fresado y torno. La mayoría de las máquinas CNC trabajan con tres ejes (dos ejes en caso de máquinas de torno) X, Y, Z para este proceso de manufactura. En otras palabras, los movimientos de los tres ejes mecanizarán una pieza sujeta a una mesa XY y el cortador se desplazará a lo largo del eje Z. Los movimientos de las máquinas fresadoras son estos tres ejes que fabrican una pieza, con la ayuda de los programas apropiados y el personal técnico a cargo.

Sin embargo, se observa un problema cuando la parte necesita ser rotado durante el proceso de mecanización. Para resolver este problema, un técnico con mucha experiencia rota la pieza de la mesa XY o utiliza otros cortadores apropiados para la tarea. Cabe mencionar, que existe un problema cuando hay piezas pequeñas como de reloj de pulso, no obstante, para estos casos no conviene mover la pieza de la mesa XY. Es aquí donde se observa los beneficios de utilizar mecanizaciones de cinco ejes. Los rápidos avances tecnológicos y un mercado altamente competitivo han influenciado la industria manufacturera de la actualidad.

La mayoría de las máquinas CNC en países subdesarrollados son importadas; tal es el caso de Tailandia [4]. Con mantenimiento regular, estas máquinas pueden durar hasta 10 años. Posteriormente, los dueños se encuentran con la necesidad de comprar una nueva máquina, actualizar la ya existente o adecuar nueva tecnología (retrofit) a un modelo viejo. Sin embargo, el comprar una nueva máquina CNC no es una opción debido a que representa un gasto muy fuerte para pequeñas y medianas empresas, SMEs (por sus siglas en inglés). Por tal motivo en muchas aplicaciones se ha tomado en cuenta el uso de arquitectura abierta como detonante de estos cambios [4], permitiendo la adecuación de tecnología (retrofit) a máquinas viejas para que trabajen como máquinas nuevas logrará reducir los gastos; considerando que la actualización de las máquinas es una opción, la implementación de un diseño personalizado puede reducir los gastos hasta el 50 % en países subdesarrollados, esta tendencia se observa en [5]. Este es el caso de institutos educacionales, los cuales poseen máquinas CNC que fueron donadas del sector industrial o cuentan máquinas CNC con 10 años o más en servicio, lo que hace que no sea posible una actualización, debido a que la mayoría de las máquinas CNC requieren nuevas tarjetas de control industriales que fueron discontinuadas por el proveedor.

Los sistemas tradicionales CNC se basan frecuentemente en un control centralizado y en la mayoría de los casos, estos sistemas no pueden procesar los requerimientos de trabajo a altas velocidades, lo que restringe su uso en los nuevos sistemas de producción [6]. Esta es la razón por lo que es necesario establecer un apropiado protocolo de comunicaciones y sus respectivas interfaces para adaptarse a nuevos sistemas. Además, se observa la tendencia de migrar hacia un nuevo estándar (STEP-NC) para reemplazar los códigos GM tradicionales [7].

Las máquinas de cinco ejes son máquinas-herramienta con grandes ventajas para mecanizar superficies complejas [8]. También existe la tendencia del uso del "retrofit" en máquinas-herramienta convencionales, en otras palabras, lo que se busca es mejorar los sistemas CNC.

La falta de un cuarto y quinto eje en una fresadora vertical CNC HAAS VF-2, no permite la elaboración de piezas complejas, como lo son los álabes de turbinas, prótesis biomédicas, piezas y equipo de herramientas.

Este problema tecnológico limita el uso de máquinas fresadoras CNC de tres ejes en la industria manufacturera de la actualidad. Por esta razón, inversiones e infraestructura son un poderoso incentivo para satisfacer el desarrollo tecnológico que demanda el uso de mecanizados complejos en la industria manufacturera con la intención de formar parte del mercado competitivo.

Este trabajo propone un método para agregar un cuarto y quinto eje a una fresadora vertical CNC HAAS VF-2, que en condiciones normales opera con tres ejes coordinados, una mesa XY y un husillo que se mueve en forma vertical (eje Z).

Para validar la metodología propuesta, trayectorias de mecanización CNC fueron simuladas. Estas trayectorias son el resultado de la simulación de un proceso CAD-CAM y del programa de código numérico obtenido de un convertidor de código. El cuarto y el quinto ejes fueron emulados con servomotores convencionales.

2. METODOLOGÍA

Con la intención de habilitar una máquina CNC multieje en un ambiente escolar de bajo costo y haciendo una buena prácti-

ca con el uso de servomotores y un micro-controlador, el primer paso fue la revisión de la tarjeta de control de nuestra máquina CNC para observar el grado de actualización que esta puede recibir. Se observaron ciertas limitaciones para la implementación del cuarto y quinto eje en la fresadora vertical HAAS VF-2. Se observó que la tarjeta de control es un modelo obsoleto y solo tiene conexión física para cuatro ejes. Por esta razón, un quinto eje no podrá ser agregado en operación sincronizada con los ejes coordenados (X, Y y Z).

Y como la tarjeta de control solo cuenta con una conexión para un eje adicional, solo se puede agregar un cuarto eje completamente sincronizado y un quinto eje semi-sincronizado por medio de un controlador para servomotores HAAS. Esto abre la oportunidad de trabajar en la sincronización por medios externos.

Los nuevos modelos de fresadoras HAAS tienen la posibilidad de agregar la funcionalidad de ejes adicionales por medio del uso de tarjetas servo amplificadas y módulo TRT-160. Este módulo agrega directamente el cuarto y quinto eje, se monta arriba de la mesa XY y reduce drásticamente el área de mecanizado y esto aplica para cualquier máquina CNC vertical. También cuenta con la característica de ser costoso, por lo que no representa una solución para este trabajo.

2.1. PARÁMETROS DE ENTRADA/ SALIDA EN UNA FRESADORA HAAS VF-2

La fresadora HAAS VF-2 tiene diferentes tipos de módulos. La mayoría de estos están siendo utilizados por el sistema para el monitoreo de la puerta, nivel de refrigerante, presión de aire, los señalamientos y algunos otros elementos. Estos módulos no se pueden utilizar para otros propósitos.

Las entradas digitales pueden ser monitoreadas por la instrucción M96 que utiliza los parámetros P y Q. Donde la P indica la línea en la cual la instrucción brincaré cuando la condición se cumpla, la Q indica la entrada a ser verificada con un número (0-63). Un ejemplo de esto es:

N04 G28 (N indica el número de línea en el programa principal)

N05 M96 P10 Q8 (Prueba la entrada #8 en este caso es el interruptor de la puerta, si es cero el programa brincaré a la línea 10)

N10 ... (Programa de mecanización)

M30 (Fin de programa)

Adicionalmente, la máquina cuenta con módulos de E/S llamados relevadores

de código M, los cuales en la mayoría de los casos son usados como salidas digitales, pero pueden ser dependientes de una entrada llamada M-FIN. Esta señal también puede ser monitoreada por la instrucción M96. Estos relevadores mencionados anteriormente son activados por medio de la instrucción M21-M28 respectivamente.

Un ejemplo de esto es la instrucción M23 que activará el relevador M23 si una señal M-FIN es recibida, y luego después de un corto periodo de tiempo este se apagará. También se pueden utilizar M51-M58 que activarán cada relevador (sin necesidad de esperar a que aparezca la señal del M-FIN) y lo dejan activado, hasta que M61-M68 lo apague respectivamente.

También para establecer una comunicación con la máquina CNC es requerida la interface RS-232 que normalmente es utilizada para cargar y descargar programas de mecanizado. También, la interfaz es usada para enviar información de la posición actual del husillo por medio de la instrucción G102.

En este trabajo se utilizarán estas opciones de comunicación para desarrollar la interfaz de la Fig.1, la cual puede usar un programa habilitado con macros que llama una subrutina con el uso de las E/S que lee señales de sensores y envía señales apropiadas para habilitar un quinto eje en operación sincronizada.

2.2. INSTRUCCIONES MACROS

Los macros son un conjunto de instrucciones que una característica opcional del proveedor HAAS, necesita ser comprada si se desea habilitar, otros proveedores estas instrucciones ya vienen activadas cuando compras una máquina nueva.

Los macros agregan capacidades y flexibilidad al control que no es posible con códigos G convencionales [9]. La mayoría

de las veces los macros son utilizados en familia de partes, ciclos enlatados personalizados, movimientos complejos y para generar desplazamientos en dispositivos adicionales.

Un macro es una rutina o subprograma que puede correr varias veces. Una instrucción macro puede asignar un valor a una variable o leer un valor desde una variable, puede evaluar una expresión, condicionalmente o incondicionalmente saltar de un punto a otro dentro de un programa, o condicionalmente repetir alguna sección de un programa [10]. Por esta razón este tipo de instrucciones se utilizan en este trabajo en conjunto con los parámetros E/S descritos anteriormente para agregar más flexibilidad a un programa ya existente, y también debido a que son genéricas y no limitan la pieza a ser mecanizada.

3. DESARROLLO

El problema principal aparece cuando deseamos mover la pieza para realizarle un mecanizado posterior (parte trasera), lo mismo sucede cuando queremos realizar un mecanizado lateral (no se puede realizar). Para llevar a cabo esta operación el personal técnico con gran experiencia puede rotar la pieza de la bancada o agregar los cortadores apropiados para la tarea. El problema aparece cuando piezas pequeñas como piezas de reloj de pulso, en este caso no conviene mover o rotar la pieza a mecanizar. Es aquí cuando se aprecia el uso de máquinas de cinco ejes debido a que se ahorra tiempo valioso del proceso de puesta en marcha (*set up*).

Si se agrega un movimiento rotacional al eje X se llama cuarto eje, de manera similar cuando se le agrega rotación al eje Y se obtiene un quinto eje. En una aplica-

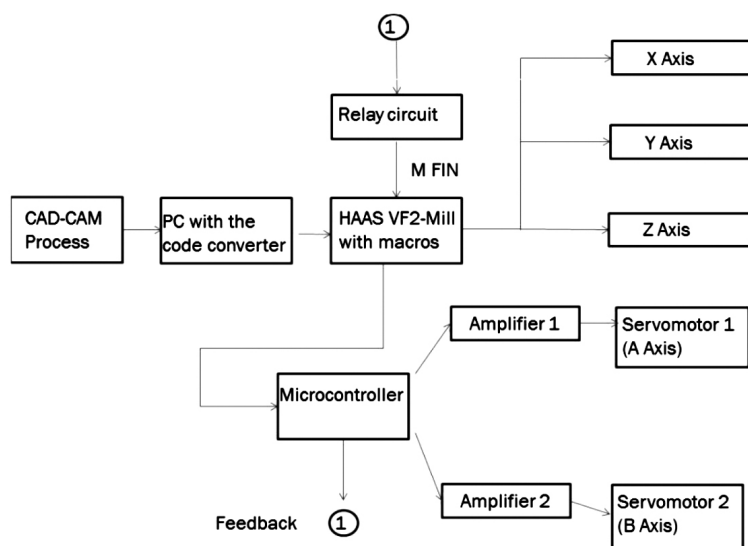


Fig.1: Diagrama a bloques de la propuesta de integración de 5 ejes

ción real, se cuenta con mecanismos que se montan en la mesa XY (el TRT-160 es un ejemplo). Sin embargo, para propósitos de este trabajo tendremos servomotores que harán las veces de ejes rotacionales (cuarto y quinto eje) con el objetivo de reducir gastos y hacerlo un prototipo educacional.

La Fig. 1 describe el método propuesto para agregar el cuarto y quinto eje. Esta propuesta es aplicable a máquinas fresadoras que cuentan con *hardware* y *software* obsoleto. La propuesta inicia con un proceso CAD-CAM que empieza con dibujar una pieza y generando un archivo de texto, el cual contiene el programa NC (de control numérico por sus siglas en inglés). Este archivo es enviado a un programa denominado convertidor de código.

El motivo por el cual se requiere un programa convertidor de código es debido a que el controlador de la máquina no puede leer código que involucre cinco ejes (A y B en este caso). Por lo anterior se hizo un programa llamado convertidor de código para ayudar en la tarea. En la sección de entrada se agrega (o se abre) el programa de mecanizado que contiene 5 ejes y en la sección de resultado se obtiene un programa compatible con una fresadora CNC de tres ejes, que llama a subrutinas cada vez que un código A o B aparece.

Estas subrutinas contienen instrucciones e información de la posición y velocidad del cuarto y quinto eje. En la primera prueba, se lograron movimientos sin control ni sincronía en conjunción de los tres ejes ya instalados. El resultado del convertidor de código se envió a la CNC con macros habilitados. Este archivo pudo ser enviado por RS-232 o vía puerto USB.

El método de sincronización es llevado a cabo por un microcontrolador que trabaja como interface con la máquina CNC y el cuarto y quinto eje emulados por dos servomotores. Este método permite generar a señal proporcional a la información recibida de la CNC vía RS-232. La sincronización se lleva a cabo por medio de una señal M-FIN.

4. RESULTADOS

En orden de validar trayectorias dos servomotores HI-TEC HS-311 son colocados a lo largo del eje Y (Fig. 2). El principal objetivo de esta configuración es para propósitos de medición. Como se explicó anteriormente este trabajo no contará con un mecanismo funcional, por esta razón no se puede evaluar una pieza mecanizada que incluya un procedimiento 4 y 5 ejes. En su lugar se evaluarán movimien-

tos de la fresadora CNC vertical (con 3 ejes coordenados) en conjunción con dos servomotores (que representarán el cuarto y quinto eje). Para lograr esto, se evaluará la información enviada por RS-232 hacia nuestra interfaz y con estos resultados, se mostrará una simulación de trayectorias de un programa de 5 ejes y para validar la interfaz se medirán los desplazamientos angulares de los servomotores. Con esto se podrá evaluar la propuesta.

El primer paso fue verificar nuestro Simulador CNC en este caso usamos CNC Backplot Editor para simular un programa de 4 ejes, este genera una operación rotacional el cual se parece a una hélice. Esta operación es similar a una espiral a lo largo del eje X y se muestra en la Fig. 3.

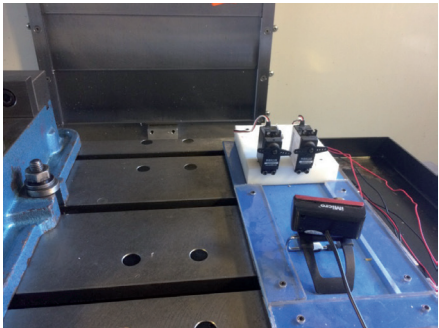


Fig. 2: Ejes rotacionales emulados en un solo eje

Con propósitos de validación, se necesita un código NC "corto" que contenga cinco ejes de mecanizado. Se pensó en un programa CAM que genera una curva en el espacio para ser mecanizada, este producirá un programa de cinco ejes. Después se toman muestras de información para ser enviadas a nuestra interface, en este caso es la información que hará que el cuarto y quinto eje se muevan.

El siguiente paso es simular el programa completo en orden de verificar todos los movimientos al mismo tiempo. Para este propósito se modificó el programa NC original para que este imprima cada línea de código, en este caso se imprimirá la posición final del husillo cuando un paso sea ejecutado, como resultado obtendremos la posición de la herramienta incluyendo la información del 4º y 5º eje.

Después, se simula el código original en el Simulador CNC y se compara con la información de los datos muestreados anteriormente, con esto, se obtiene la Fig. 4 y Fig. 5. El código original mencionado anteriormente se refiere al obtenido directamente del proceso CAD-CAM, esto sin usar el programa "Convertidor de Código" generado en Labview 2009. La otra simulación será la de la información muestreada recibida anteriormente.

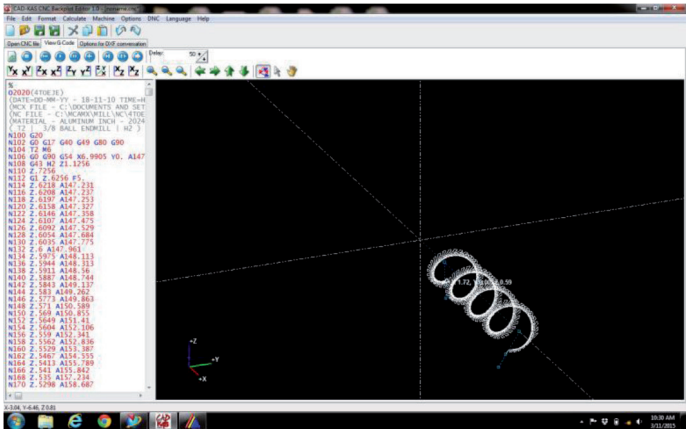


Fig. 3: Operación Rotacional de 4 ejes

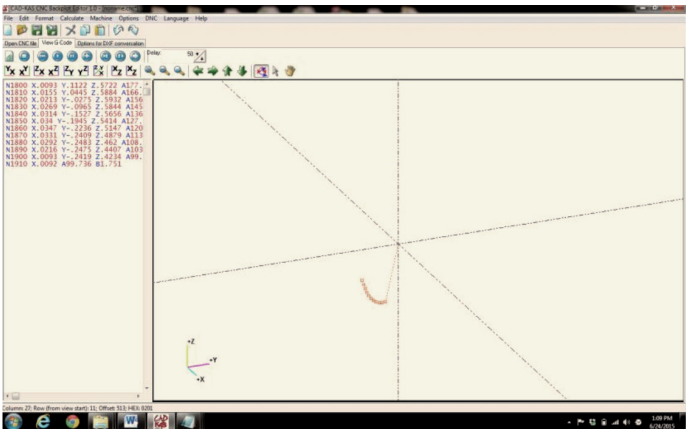


Fig. 4: Código original simulado en CNC Backplot Editor

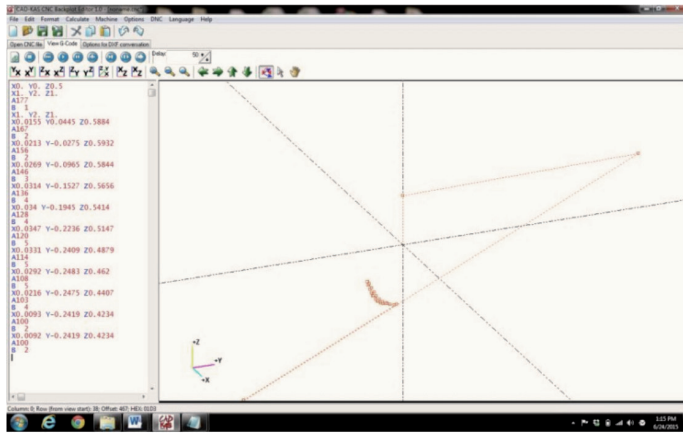


Fig. 5: Simulación de los datos muestreados por parte del experimento

Para incluir otra validación, se usaron las herramientas de Visión por Computadora de Labview 2009 para medir los ángulos de los movimientos finales de ejes rotacionales (4° y 5° eje). Como resultado de esto, se obtuvieron imágenes tomadas por la webcam de ambos servomotores. Posteriormente, se aplicó el procesamiento de imágenes y se obtuvo la medida exacta de cada ángulo de los servomotores. Los datos obtenidos en este paso se almacenaron en arreglos para ser luego graficados. Un ejemplo de esto es la Fig. 6.

Una prueba final fue ejecutada, se obtuvieron datos de movimientos de un código de 5 ejes en forma de arreglos que corresponden al 4° y 5° eje respectivamente y se obtuvo una gráfica de sus trayectorias como se muestra en la Fig. 6. La imagen de la izquierda (Fig. 6a) muestra una gráfica de un programa generado en forma aleatoria. Para este caso se escribió un programa corto para ser probado de forma rápida que incluya movimientos de cinco ejes. Para la imagen de la derecha (Fig. 6b) se tomaron los datos de la operación rotacional de la Fig. 3 y se graficó en instrumento virtual de Labview 2009 (vi por sus siglas en inglés).

Con los resultados de la Fig. 6 se muestra que es posible simular trayectorias de

cuarto y quinto eje, se puede obtener una gráfica de los movimientos reales del procesamiento de imágenes. La comparación de las dos permite evaluar el propósito de este trabajo.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que se pueden obtener formas complejas con una máquina CNC con dos servomotores externos, emulando una máquina CNC de 5 ejes. Sin mencionar, que se reducen costos de cualquier inversión y sin duda esto puede ser parte de un recurso didáctico dentro de un programa académico.

Lo anterior se puede lograr por medio del uso del puerto serial y un microcontrolador con E/S digitales, y pasando el programa al convertidor de código, reemplazando algunas líneas de código y dirigiendo las instrucciones de ejes adicionales a los servomotores que emulan el cuarto y quinto eje. Una retroalimentación de las E/S de la máquina CNC fue conectada también a un microcontrolador.

En este trabajo, se pudo lograr la sincronización de dos motores convencionales con la fresadora vertical HAAS VF-2, lo que permite la enseñanza o evaluación de movimientos de 5 ejes relacionados con

los mecanizados complejos, necesarios en la industria aeroespacial.

Por medio del uso de las capacidades de E/S usadas en este trabajo, se abre altamente la oportunidad de trabajar con Sistemas Flexibles de Manufactura.

Este trabajo muestra que la adecuación de tecnología (retrofit) es posible y esta será una buena opción para reducir gastos además que se tendrá una CNC multi-eje en los procesos educativos y en el ambiente de los países subdesarrollados. También se considera que un proyecto de adecuación de tecnología usando servomotores, microcontroladores de arquitectura abierta y el software de Labview se convierte en una experiencia educacional en el área de Mecatrónica.

Se sabe que más investigación se requiere. Para un siguiente paso de esta investigación será el incluir un mecanismo personalizado para el cuarto y quinto eje con lo que se podrán evaluar trayectorias en relación a las herramientas CNC.

PARA SABER MÁS

- [1] LARRUSCAIN-SARASOLA, Jaso, RODRÍGUEZ-ANDARA, Alejandro. M-LEARNING IN VOCATIONAL TRAINING: USE AND TRAINING NEEDS AMONG TEACHERS. DYNA New Technologies, Enero-Diciembre 2015, vol. 2, no. 1, [16 p.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT7677>
- [2] U. K. W. C. A. T. P. S. T. L. K. T.-n. a. K. T. K. Ekkachai, "Design and Development of and Open Architecture CNC Controller for Milling Machine," International Joint Conference, pp. 5629-5632, 2009.
- [3] Agencia Espacial Mexicana, "Proyecto Multinstitucional de Formación de Capital Humano Especializado en el Campo Espacial," 2012.
- [4] D. G. a. T. M. Crandell, An Introduction to CNC Machining and Programming, Michigan: Industrial Press, 1991.
- [5] J. A.-P. F. B.-H. M. Torner-Ribe, "Robotic Arm Controlled Through Vision and Biomechanical Sensors," DYNA New Technologies, vol. 4, no. 1, p. 14, 2017.
- [6] H. L. J. L. Y. T. Haibo Yang, "The Architecture and Real Time Communication of CNC Systems Based on Switched Ethernet," Int. Conf. in Comput. Eng. Technol. Proc., vol. 1, pp. 169-173, 2010.
- [7] L. W. Y. R. Xun W. Xu, "Step-NC and Function Blocks for Interoperable Manufacturing," IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., vol. 3, no. 3, pp. 169-173, 2006.
- [8] J. H. Y. C. a. Y. J. H. J. Son, "Development of post processor for five-axis machine of non-orthogonal head tilting type," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, vol. 17, no. 2, pp. 189-194, 2016.
- [9] HAAS Automation Inc., "Mill Operator Manual," HAAS Automation, Oxnard, 2001.
- [10] HAAS Automation Inc., "VF-HS Series CNC Machine Programming Workbook," HAAS Automation, Oxnard, 2002.

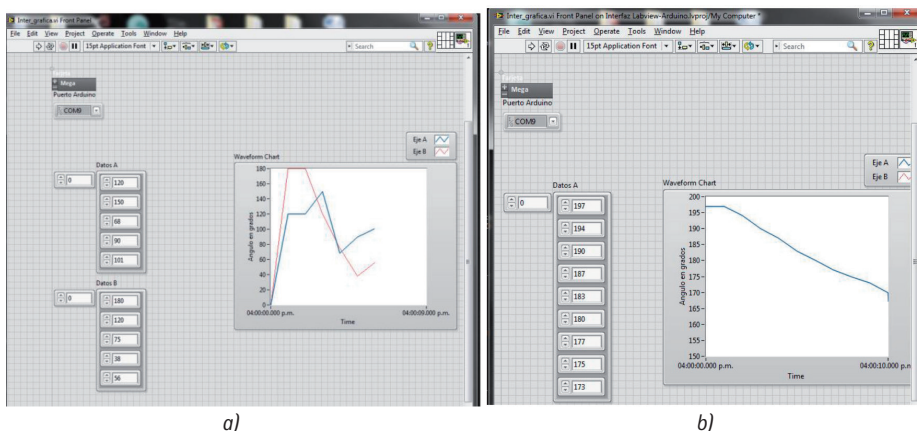


Fig. 6 a) Graph of random values b) Values extracted from a real fourth axis machining program