



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA E INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS

PROGRAMA PROINCE - PROYECTO C152

Aplicación de sistemas electrónicos embebidos a la fabricación de piezas mecánicas mediante máquinas herramienta de accionamiento manual.

DIRECTOR: Ing. Fernando Ignacio Szklanny

INTEGRANTES: Ing. De María, Elio Augusto
Lic. Maidana, Carlos Eduardo
Ing. Rodríguez, Carlos Alberto
Ing. Di Lorenzo, Roberto Carlos
Ing. Beneitez, Guillermo (durante el año 2014)
Ing. Gho, Edgardo
Ing. Mauro, Andrés (durante el año 2014)
Ing. Sagarna, Gustavo
Ing. Krajnik, Mario Juan (durante el año 2015)
Ing. Fourcade, Alejandro (durante parte del año 2015)
Sr. Ferreyra Birón, Martín
Sr. Cipollone, Mauro
Sr. Massiolo, Rodrigo (durante el año 2014)

FECHA DE INICIO: 2014.1.1

FECHA DE FINALIZACIÓN: 2015.12.31

RESUMEN DEL PROYECTO:

Se plantea un proyecto de investigación y desarrollo que toma como base las actividades previamente realizadas en el mismo campo por el grupo de investigación. En este caso, se plantea como objetivo a resolver la implementación de un sistema de control, aplicable al manejo y control de máquinas herramientas, que considere los últimos avances tecnológicos en el área de sistemas embebidos, con el objeto de lograr una solución aún más simple y económica para la automatización y control de máquinas herramienta de accionamiento manual.

Se consideran al respecto, con relación al proyecto precursor al presente, una serie de situaciones que deben ser analizadas y tomadas en cuenta. Como primera pauta a analizar, se debe considerar el avance tecnológico ocurrido durante los últimos años en la tecnología de componentes electrónicos, y en especial al desarrollo de sistemas embebidos para uso en tiempo real, hoy ampliamente disponibles en el mercado local.

Por otra parte, como un tema no menor, se deben considerar las dificultades actualmente existentes para la utilización de determinados tipos de circuitos programables (FPGAs en particular), derivadas tanto desde las exigencias que se plantean en lo que hace a la exportación de los mismos desde los países proveedores como a las limitaciones de importación actualmente vigentes en el mercado local.

La necesidad de lograr un aumento en la competitividad de los sectores que podrían llegar a ser beneficiados por el presente desarrollo, el costo cada vez mayor de los equipamientos automatizados y sistemas de control numérico de últimas generaciones, la gran cantidad de maquinaria en uso de accionamiento manual, y la necesidad de su tecnificación, derivada de la exigencia de aumentar la competitividad, permiten proponer la implementación de un sistema de control equiparable al desarrollado en el proyecto anterior, que utilice componentes fácilmente accesibles y disponibles en el mercado local.

PALABRAS CLAVES: Control Numérico, Sistema Embebido, G-Code, Máquina Herramienta

ÁREA DE CONOCIMIENTO: Ingeniería de Comunicaciones, electrónica y control

CÓDIGO DE AREA DE CONOCIMIENTO: 1800

DISCIPLINA: Electrónica / Control

CÓDIGO DE DISCIPLINA: 1804/1805

CAMPO DE APLICACIÓN: Electrónica / Control

CÓDIGO DE CAMPO DE APLICACIÓN: 1804/1805

OTRAS DEPENDENCIAS DE UNLAM QUE INTERVINIERON EN EL PROYECTO: Ninguna

OTRAS INSTITUCIONES INTERVINIENTES EN EL PROYECTO:

Centro de Formación Profesional 406, Unión Obrera Metalúrgica, Regional La Matanza. De acuerdo con lo establecido en el Protocolo de Trabajo Nº 1 y dentro del Convenio Marco de cooperación, capacitación y asistencia técnica entre la Unión Obrera Metalúrgica y la Universidad Nacional de La Matanza, se plantea el uso de las instalaciones de dicho Centro de Formación para la realización de los ensayos, pruebas de campo y puesta en marcha del sistema de control planteado en el presente proyecto de investigación.

OTROS PROYECTOS CON LOS QUE SE RELACIONA:

Universidad Nacional de La Matanza, Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Proyecto PROINCE C-128/2012 - Desarrollo e implementación de sistemas de control numérico para aplicaciones industriales mediante la utilización de dispositivos y sistemas de lógica programable.

Apellido y Nombre del Director: Szklanny, Fernando Ignacio

Integrantes: Lic. Maidana, Carlos Eduardo
Ing. Rodríguez, Carlos Alberto
Ing. Di Lorenzo, Roberto Carlos
Ing. Gho, Edgardo
Ing. Mauro, Andrés
Sr. Ferreyra Birón, Martín
Sr. Cipollone, Mauro

Fecha de Iniciación del Proyecto vinculado: 01/01/2012
Fecha de Finalización del Proyecto vinculado: 31/12/2013



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA E INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS

PROGRAMA PROINCE - PROYECTO C152

Aplicación de Sistemas Electrónicos Embebidos a la Fabricación de Piezas Mecánicas Mediante Máquinas Herramienta de Accionamiento Manual.

Resumen del Proyecto:

Se propone un proyecto que toma como base las actividades previamente realizadas en el mismo campo por el grupo de investigación. Se plantea como objetivo a resolver la implementación de un sistema de control, aplicable al manejo y control de máquinas herramientas, que considere los últimos avances tecnológicos en el área de sistemas embebidos, con el objeto de lograr una solución aún más simple y económica para la automatización y control de máquinas herramienta de accionamiento manual.

Uno de los principales problemas de productividad que se plantea resolver con el desarrollo planteado en este proyecto tiene que ver con las pérdidas de tiempo que surgen ante la necesidad de cambio y ajuste de herramientas de trabajo. Este tema, aparentemente de importancia menor, disminuye los índices de productividad debido a los tiempos requeridos para el de recambio de piezas, cambios de formato de máquinas, ajuste y reprogramación de procesos de máquina, etc.

El surgimiento de nuevos sistemas de control, los avances tecnológicos en áreas como la informática y los sistemas embebidos, permiten mejorar la eficiencia de fabricación, desde el diseño del producto, maquinaria y herramientas, la planificación del proceso, disponibilidad de materiales, el control de la producción, automatización, etc.

PALABRAS CLAVE: Control Numérico, Sistema Embebido, G-Code, Máquina Herramienta



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA E INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS

PROGRAMA PROINCE - PROYECTO C152

Aplicación de Sistemas Electrónicos Embebidos a la Fabricación de Piezas Mecánicas Mediante Máquinas Herramienta de Accionamiento Manual.

MEMORIA TÉCNICA

1.- Planteo inicial

Se plantea un proyecto de investigación y desarrollo de sistemas electrónicos de control numérico para su aplicación en máquinas herramienta de uso industrial, que tiene como objeto el desarrollo de dispositivos y sistemas de medición y control, basados en la aplicación y utilización de sistemas embebidos de bajo costo y disponibilidad en el mercado local, aplicables a la modernización de [sistemas-maquinaria de accionamiento](#) manual [o semiautomáticos](#) actualmente en uso a pesar de su obsolescencia.

A partir de la necesidad de diseñar piezas cada vez más difíciles de mecanizar, empiezan a producirse problemas técnicos difíciles de solucionar mediante las tradicionales máquinas de operación manual. Surgen así los sistemas de medición basados en técnicas electrónicas digitales, concebidos básicamente para solucionar los problemas técnicos surgidos a consecuencia de los nuevos requerimientos para el mecanizado de piezas de complejo diseño.

Los equipos de mecanizado basados en métodos tradicionales no presentan dificultad en producir una pieza con tolerancias de décimas de milímetro. No obstante, cuando se requieren tolerancias mucho menores ~~en los errores de maquinado~~, comienzan a requerirse mayor cantidad de horas hombre / máquina, además de una mayor capacitación en los operarios dedicados a la tarea. Estas circunstancias hacen que la producción de una serie de piezas con especificaciones muy críticas se convierta en un problema difícil de solucionar.

Por otra parte, la falta de un control automatizado de la producción de piezas permite la posibilidad de desbastar la pieza en demasía, lo que a su vez es causa de descarte de la misma, con los consecuentes problemas de demora y costo asociados.

Toda esta sumatoria de problemas lleva a un elevado costo por pieza, una demora muy grande en la entrega de piezas con los consiguientes perjuicios que esto ocasiona.

Por consiguiente, el proyecto de investigación que se propone en el presente tiene el objetivo básico de mejorar la eficiencia y el nivel de calidad de las máquinas herramienta a las que se aplicará el sistema desarrollado, para adecuar dichas características a las necesidades de los mercados actuales, sin requerir de inversiones exageradas que muchas veces se encuentran fuera del alcance de los pequeños talleres o industrias que se dedican al tema en cuestión.

El proyecto que se describe implicó, como etapa previa ya llevada a cabo, la investigación de las técnicas de medición y control requeridas para la automatización de máquinas herramienta mediante sistemas de control numérico, y, como una etapa posterior, la aplicación de dichas técnicas en sistemas de medición y control electrónico basados en sistemas digitales. Una segunda etapa del proyecto consiste en la implementación del sistema de control numérico aplicable a distintas máquinas herramienta de accionamiento manual existentes en el mercado. Esta segunda etapa se inició con el desarrollo del proyecto de investigación PROINCE 128, en el que se encaró la solución del problema planteado mediante la utilización de circuitos integrados de lógica programable (FPGA) de última generación.

Las dificultades planteadas para la importación en serie de este tipo de componentes, en especial por las exigencias y restricciones planteadas por los países exportadores de los mismos (derivadas de cuestiones de seguridad), limitan la posibilidad de concretar la producción masiva del sistema desarrollado en dicho proyecto como una solución comercial o técnica adecuada a las necesidades del mercado local.

Es por eso que se requiere el replanteo del sistema en cuestión con el objeto de lograr una solución aún más económica y sencilla del problema que se pretende resolver.

Es un objetivo del presente proyecto resolver el control numérico en sí mismo, mediante un sistema de control, basado en microcontroladores programables integrados en lo que se conoce como **sistemas embebidos**, que puedan procesar como datos un esquema o plano mecánico de la pieza a elaborar, entregando como resultado el manejo de los motores y de las herramientas que llevarán a cabo la ~~las coordenadas del movimiento requerido~~ producción de la pieza. ~~producir dicha pieza en forma automatizada o semiautomatizada.~~

Este objetivo se resuelve utilizando como base los trabajos previos llevados a cabo por el mismo grupo de investigación, y que fueron desarrollados en el marco del proyecto de investigación anteriormente mencionado.

Es un segundo objetivo del presente proyecto lograr la resolución del problema planteado mediante elementos y componentes de fácil adquisición a nivel local, y de costos bajos con relación a los sistemas convencionales de control numérico.

Es un tercer objetivo del presente proyecto obtener un sistema de control numérico que, mediante pocas modificaciones, pueda adecuarse a distintas máquinas herramienta de control manual, de

diversas marcas y modelos existentes en el mercado, sin un elevado nivel de complejidad técnica en la implementación de dichas modificaciones.

2.- Metodología utilizada:

El presente proyecto de investigación es continuación de etapas anteriores, ya desarrolladas, en las que se llevó a cabo el desarrollo tanto del sistema de medición como la implementación de los movimientos y el sistema de control. En consecuencia, ya se ha llevado a cabo el relevamiento requerido para la continuidad del proyecto.

En la primera etapa, llevada a cabo en el año 2014, se procedió a:

- ❖ Actualizar, en función de la tecnología actualmente existente, los diseños de hardware llevados a cabo para el desarrollo de la mesa de medición y del sistema de control planteados en los proyectos anteriores, básicamente en lo que hace a la utilización de componentes y elementos tecnológicos de última generación disponibles actualmente en la plaza local.
- ❖ Analizar y desarrollar las interfaces requeridas para que el sistema de control a implementar pueda utilizar la información generada por las aplicaciones antes mencionadas.
- ❖ Implementar las interfaces de hardware y software necesarias, para el funcionamiento del sistema en dos ejes X e Y.

Durante el año 2015, el avance del proyecto continuó mediante el desarrollo de las siguientes etapas:

- ❖ Implementación del prototipo del sistema de control, incluyendo las etapas de potencia necesarias para el manejo de los motores requeridos para convertir en movimientos el código binario recibido desde el computador supervisor.
- ❖ Desarrollo e implementación del funcionamiento del tercer eje requerido Z, para completar el planteo original del sistema.
- ❖ Una vez verificado el funcionamiento del sistema, desarrollo e implementación del prototipo final de laboratorio. .

Para el desarrollo de las etapas de hardware se procedió a:

- 1.- La selección de la plataforma a utilizar.
- 2.- La selección de los componentes individuales.
- 3.- La implementación de un prototipo de laboratorio, basado en los elementos seleccionados, para determinar la factibilidad de la solución planteada.
- 4.- La documentación del sistema de hardware (planos eléctricos, listas de componentes, diseño de circuitos impresos, etc).
- 5.- La puesta en marcha del prototipo de hardware y software de laboratorio.

6.- La implementación y puesta en marcha del sistema sobre máquinas herramienta disponibles al efecto.

7.- El desarrollo circuital del prototipo de producción.

Al efecto de los puntos 6 y 7, se hizo uso de las facilidades de equipamiento e instalaciones mecánicas disponibles como consecuencia de los convenios de colaboración suscritos entre la Universidad y la Unión Obrera Metalúrgica para la utilización del Centro de Formación Profesional Nº 406 de la U.O.M. regional La Matanza.

No fue posible lograr, por razones ajenas a este grupo de desarrollo, y tal como se proponía en el informe de avance al 31.10.2014, la compra de alguna máquina herramienta (fresadora, por ejemplo) que resultara de utilidad en laboratorios de aplicación para las carreras que se dictan en el Departamento de Ingeniería.

Para el desarrollo de las etapas de software sobre el sistema programable, las tareas realizadas tuvieron que ver con:

- 1.- El desarrollo de los sistemas de software necesarios para la plataforma seleccionada.
- 2.- El diseño y desarrollo de los periféricos específicos, así como la interconexión con la plataforma seleccionada.
- 3.- La implementación de dichos periféricos.
- 4.- La documentación de todos los bloques de hardware y software desarrollados.

El desarrollo del sistema mecánico (para cada máquina distinta) requirió de:

- 1.- Diseño de planos mecánicos para la construcción de los diferentes elementos que conforman el sistema mecánico prototipo.
- 2.- Fabricación de la estructura mecánica.
- 3.- Montaje.
- 4.- Diseño y construcción de los elementos mecánicos a implementar sobre la máquina herramienta.
- 5.- Documentación completa.
- 6.- Producción del sistema mecánico definitivo.

Con posterioridad a la culminación del proyecto y la implementación del sistema final se procederá a las etapas de transferencia y capacitación.

3.- Resultados esperados y obtenidos:

3.1. Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:

El desarrollo del sistema de control planteado permitió la ampliación de los conocimientos adquiridos por los integrantes del grupo de investigación en lo que hace a las metodologías existentes para el control numérico computarizado (CNC).

Permitió asimismo plantear alternativas de menor costo que las obtenidas en el proyecto anterior, las que pueden ser personalizadas para la automatización de máquinas herramientas de accionamiento manual, lo que, a su vez, permite a los propietarios de ese tipo de máquinas mejorar sus métodos de producción, la calidad de la misma y el rendimiento de su trabajo.

Desde el punto de vista de la utilización de sistemas embebidos, la utilización de los mismos requirió de la capacitación y formación de los integrantes del grupo, en lo que hace a la aplicación de estos sistemas en áreas de control y aplicaciones industriales.

Y finalmente, al incorporar los conceptos vinculados con los procesos de manufactura flexible, se pudo orientar al grupo de investigación hacia una nueva línea de pensamiento, en la que los objetivos de dichos procesos deben ser tenidos en cuenta como elemento fundamental en el desarrollo de sistemas productivos.

3.2. Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:

El desarrollo del proyecto permitió un alto grado de capacitación de los integrantes del grupo de investigación en lo que tiene que ver con el control numérico de máquinas herramientas, con el desarrollo de sistemas embebidos y con su aplicación a sistemas industriales, más allá de su utilización en laboratorio.

3.3. Resultados en cuanto a la difusión de resultados:

Tal como se ha planteado en apartados anteriores, en una etapa anterior ya completada de este proyecto se logró determinar el desarrollo de las técnicas de medición necesarias en máquinas herramienta, con el objeto de permitir la actualización tecnológica de máquinas de funcionamiento manual, de tecnologías anteriores a las que actualmente ofrece el mercado internacional, e incluso, de maquinaria en estado de obsolescencia.

El proyecto que se desarrolla en el presente informe, como una etapa posterior a la anterior, tiene por objeto la implementación de técnicas de control automático aplicables a dichas máquinas herramienta, utilizando sistemas embebidos de bajo costo y existentes en la plaza local.

Por consiguiente, se espera incluir dentro de los beneficiarios de la aplicación que resulte del presente proyecto de investigación y desarrollo:

- ❖ Pequeñas y medianas industrias metalúrgicas que necesiten actualizar su maquinaria sin necesidad de inversiones elevadas o fuera de sus alcances presupuestarios.

- ❖ Fabricantes de máquinas herramientas que requieran una actualización tecnológica de bajo costo para los equipos que fabrican.
- ❖ Fabricantes de productos que requieren medición precisa en formato uni o bidimensional, tales como circuitos impresos para aplicaciones electrónicas y otros.
- ❖ Instituciones educativas, tales como escuelas industriales, técnicas y universidades que posean equipamiento obsoleto o antiguo y que deseen modernizarlo para adecuarlo a las actuales condiciones de la tecnología.

Queda claro, por consiguiente, que la aplicación resultante de este proyecto permitirá a la Universidad Nacional de La Matanza una transferencia de tecnología que podría exceder el ámbito local de influencia de la misma, para extenderse hacia lo regional y lo nacional.

Con el objeto de cumplir con estos objetivos de transferencia, se previó la difusión de los resultados obtenidos a través de los medios habituales en la Universidad, su Departamento de Extensión, su Centro de Tecnología y todo otro camino que permita acceder a los posibles interesados en la implementación del sistema desarrollado.

En este sentido se comenzaron a realizar, a través de la Secretaría de Investigación de la Universidad, contactos con cámaras empresarias, organismos oficiales y privados que puedan servir como auspiciantes, intermediarios o destinatarios finales de la aplicación desarrollada. Sirva como ejemplo para este caso la participación de los integrantes del grupo de investigación en la Jornada de la red Vitec 2015, en la cual los asistentes a la misma pudieron ver el prototipo de laboratorio en funcionamiento.

Lamentablemente, las limitaciones presupuestarias y de provisión de materiales y componentes impidieron lograr el objetivo final del proyecto, en el que dicho prototipo de laboratorio se debió haber convertido en un prototipo de producción, controlando una máquina herramienta instalada en el ámbito de los laboratorios del Departamento de Ingeniería.

4.- Programación de actividades (GANTT):

En la presentación inicial del proyecto, se plantearon las siguientes tareas y cronogramas de actividades. Al final del párrafo se detallan las actividades realmente concretadas a lo largo de estos dos años, así como lo que quedó pendiente de realización por diferentes razones, que se justificarán en su momento.

Planificación de las tareas para los dos años del proyecto (según presentación inicial):

Etapas de análisis del sistema:

1. Selección de la máquina herramienta.
2. Análisis de las estrategias de mecanizado.
3. Selección del sistema embebido.

Etapas de diseño inicial:

4. Diseño de las interfaces de Hardware.
5. Fabricación de prototipos.
6. Armado y prueba de las interfaces de hardware.
7. Definición de los requisitos de la interfaz de usuario.
8. Diseño y codificación de los programas de manejo de las interfaces de hardware.
9. Pruebas en laboratorio.

Incorporación del sistema al equipo a controlar:

10. Adaptación de la máquina herramienta al sistema desarrollado.
11. Puesta en marcha y pruebas preliminares del conjunto.
12. Desarrollo de la interfaz de usuario.
13. Pruebas de campo.
14. Detección y corrección de errores.

Desarrollo de documentación y transferencia.

15. Documentación.
16. Diseño y construcción del prototipo final.
17. Transferencia a la comunidad.

Diagrama de actividades originalmente previstas para el año 2014

Actividades previstas - Año 2014	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
1.- Selección de la máquina herramienta	X	X										
2.- Análisis de las estrategias de mecanizado		X	X	X								
3.-Selección del sistema embebido a utilizar			X	X								
4.- Diseño de las interfaces de hardware					X	X	X					
5.- Fabricación de prototipos de laboratorio							X	X	X	X		
6.- Armado y prueba de las interfaces de hardware									X	X	X	X
7.- Definición de los requisitos de las interfaces de usuario.												X

Diagrama de actividades originalmente previstas para el año 2015

Actividades previstas – Año 2015	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
8.- Diseño y codificación de los programas de manejo de las interfaces de hardware.		X	X									
9.- Pruebas en laboratorio.			X	X								
10.- Adaptación de la máquina herramienta al sistema desarrollado.					X	X	X					
11.- Puesta en marcha y pruebas preliminares del conjunto.							X	X				
12.- Desarrollo de la interfaz de usuario.								X	X	X		
13.- Pruebas de campo.										X	X	
14.- Detección y corrección de errores										X	X	X
15.- Documentación.							X	X	X	X		
16.- Diseño y construcción del prototipo final.									X	X	X	
17.- Transferencia a la comunidad.												X

5.- Detalle de tareas realizadas durante los años 2014-2015.

A la finalización del período bianual 2014 – 2015 establecido para la concreción del presente proyecto, se logró el desarrollo de prácticamente todo el hardware del mismo, así como gran parte del desarrollo de software, si bien no se puede decir que el proyecto esté concluido al 100%.

Concretamente, al poner en marcha el desarrollo realizado para el eje Z del sistema de control numérico, surgieron algunos problemas de inestabilidad en los lazos de control del mismo, los que obligaron a su rediseño. Este problema, a su vez, demoró la fabricación de algunas de las partes componentes de hardware y software, dado que la solución buscada al problema no resultó fácil de encontrar.

En lo que hace a la fabricación de los prototipos y de las interfaces de los puntos 6 y 7, los mismos se vieron muy demorados por varias razones, algunas de la cuales se detallan a continuación:

- ❖ Las limitaciones en las posibilidades de importación de algunos elementos necesarios para el desarrollo del sistema, debido a las restricciones que durante los últimos años fueron de público conocimiento, hizo imposible la disponibilidad local de los mismos. En consecuencia, esta limitación requirió la compra de los mismos a proveedores extranjeros, con las consiguientes demoras en el despacho a plaza de los mismos, lo que más de una vez se convirtió en un problema difícil de resolver.
- ❖ El grupo de investigación sufrió a fines del año 2014 la baja del Ing. Andrés Mauro, quien renunció a sus cargos en la Universidad. El Ing. Mauro tenía la responsabilidad básica de toda la implementación de los sistemas mecánicos vinculados con el proyecto. Asimismo, el Ing. Mauro, conjuntamente con el alumno Sr. Rodrigo Massiolo, estaba a cargo de la implementación del sistema prototipo en el Instituto de Formación de la UOM en el que se realizaban los ensayos preliminares. Debido a sus obligaciones académicas y laborales, el Sr. Massiolo también debió limitar su dedicación al proyecto, lo que provocó un prolongado lapso de inactividad en dicho instituto.
- ❖ Asimismo, el grupo sufrió la baja de dedicación del Ing. Guillermo Beneitez quien, si bien no tenía una carga horaria importante, tenía a su cargo los análisis técnicos y la preparación de documentación para el proyecto.
- ❖ Por otra parte, el Ing. Edgardo Gho, integrante del grupo de investigación, quien actualmente se encuentra en los Estados Unidos de América para completar su formación de posgrado, debió dejar gran parte de sus tareas asignadas, y que desarrollaba desde el exterior, por la necesidad de dedicar mayor tiempo a sus obligaciones académicas en la Universidad donde desarrolla su posgrado.
- ❖ Desde el punto de vista de la financiación del proyecto, se produjeron importantes demoras en la acreditación de fondos durante 2015, debido a atrasos en la cadena de trámites requeridos para dicha acreditación. Si bien el informe de avance del año 2014 fue

presentado en tiempo y forma, de acuerdo con los plazos requeridos por la Unidad Académica, las demoras suscitadas en etapas posteriores a dicha presentación, hicieron que los fondos se acreditaran prácticamente sobre el final del mes de noviembre de 2015.

- ❖ En esa situación, y con las incertidumbres provocadas por el inminente cambio de gobierno y su consecuencia sobre la economía, los proveedores restringieron su oferta de equipamiento e insumos prácticamente hasta fines de diciembre, lo que significó llegar a 2016 con dichos fondos utilizados parcialmente y con las compras necesarias postergadas hasta la reiniciación de las actividades comerciales luego de los períodos de vacaciones de enero y febrero. El resumen de gastos que se incluye con el presente permite ver que varias compras debieron realizarse directamente en el exterior, aprovechando viajes de alguno de los componentes del grupo de investigación y las franquicias de importación correspondientes, y otras se llevaron a cabo a principios de 2016, antes del cierre de este informe final.
- ❖ Para completar esta serie de situaciones, durante gran parte del año 2015 (al igual que ocurriera a fines del 2014) los integrantes del grupo de investigación debieron repartir sus tiempos de actividad profesional dentro de la Universidad entre el proyecto de que se trata en este informe y otros proyectos, requeridos con urgencia por las autoridades del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas y del Rectorado de la Universidad. Esto hizo que los tiempos disponibles para la actividad de investigación se redujeran con respecto a los tiempos estimados en la propuesta original.

Para resolver algunos de estos inconvenientes, a partir de fines del año 2014 se incorporó al proyecto que se describe, el integrante del grupo de investigación, Ing. Gustavo Sagarna, quien estaba asignado a otras actividades del grupo.

Y a principios del año 2015 fue incorporado al grupo de investigación y al proyecto el Ing. Mario J. Krajnik, quien, al igual que el Ing. Sagarna, tras interiorizarse del avance del proyecto, pudo colaborar en las tareas que le fueran asignadas. Hacia fines del año 2015, asimismo, se incorporó al grupo al Ing. Alejandro Fourcade, de reciente incorporación a la Universidad, quien colaboró con los restantes integrantes del grupo en algunas tareas específicas.

6.- Bibliografía utilizada.

El desarrollo del proyecto de investigación requirió de la búsqueda de información sobre diversos puntos y temas de interés a ser aplicados al mismo. Se utilizaron recursos bibliográficos, algunos de los cuales pudieron ser adquiridos con fondos asignados al proyecto, otros ya eran propiedad de los investigadores y fueron aportados por los mismos para su uso por el resto de los integrantes, y algunos otros debieron consultarse en forma electrónica (ebook) debido a que, nuevamente y como ya se ha mencionado, las restricciones a las importaciones vigentes a lo largo del desarrollo del proyecto afectaron incluso a la compra de libros en el exterior, lo que impidió mantener la costumbre habitual de comprar dicho material (generalmente de origen extranjero y de precios que superaban los límites vigentes) y despacharlo vía correo de cualquier tipo.

Entre la bibliografía consultada se pueden mencionar las siguientes obras, referidas tanto a temas de control numérico como de sistemas embebidos:

6.1.- Para temas relacionados con Control Numérico:

- Introduction to Computer Numerical Control - James Valentino & Joseph Goldemberg., Prentice Hall; 4ª edición, Diciembre 2007, ISBN 978-0132436908.
- CNC Programming Handbook - Peter Smid. Industrial Press; 3ª edición Noviembre 2007, ISBN 978-0831133474
- CNC Programming Techniques - Peter Smid, Industrial Press; 1ª edición, diciembre 2005, ISBN 978-0831131852
- CNC Control Setup for Milling and Turning: Mastering CNC Control Systems - Peter Smid, Industrial Press, Inc.; 1a edición, enero, 2010, ISBN 978-0831133504
- Programming of CNC Machines, Ken Evans, Industrial Press, Inc.; 3ª edición, Abril, 2007, ISBN 978-0831133160.
- Theory and Design of CNC Systems (Springer Series in Advanced Manufacturing) 2008th Edition, Suk-Hwan Suh, Seong Kyoong Kang , Dae-Hyuk Chung , Ian Stroud , ISBN-13: 978-1848003354, Springer, 2008

6.2.- Para temas relacionados con sistemas embebidos:

- Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers - Tammy Noergaard, Newness, 2a. edición, Diciembre 2012, ISBN 978-0123821966.
- Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools and Techniques - Arnold S. Berger, CMP books, 1ª edición, Diciembre 2001, ISBN 978-1578200733.
- Pro Linux Embedded Systems. Gene Sally, Apress, Diciembre 2009, 1a. Edición, ISBN 1430272279.

- Embedded Linux: Hardware, Software, and Interfacing. Craig Hollabaugh, Addison Wesley Professional, Marzo 2002, ISBN 978-0672322266.
- Embedded Linux System Design and Development - Sriram Neelakandan, Auerbach, Diciembre 2005, ISBN 0849340586.
- Embedded Systems Architecture, Second Edition: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers – Tammy Noergaard – Editoria Newnes - 2a. Ed. 2013, - ISBN 978-0123821966
- Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Introduction, Frank Vahid - Tony D. Givargis , ISBN 978-0471386780, Wiley, 2001
- Embedded Systems Hardware for Software Engineers, Ed Lipiansky, Mc Graw Hill Education, 2011, ISBN 978-0071639484

Otros recursos bibliográficos utilizados incluyeron los siguientes trabajos publicados:

- A CNC Model Well-suited for the Requirements of CNC Software Construction Environment. - Michel MOREAUX - Laboratoire d'Informatique Technique - Ecole Polytechnique Fdddrale de Lausanne.
- Dependence Of Machining Accuracy On Acceleration - deceleration And Interpolation Methods In CNC Machine Tools. - Dong-I1 Kim, Jin-I1 Song, and Sungkwun Kim. - FA Research Institute, Production Engineering Center. - Samsung Electronics, Suwon City, Kyungki-Do, Korea.
- R. de J. Romero-Troncoso, and G. Herrera-Ruiz, FPGA implementation of a tool breakage detection algorithm in CNC milling machines, Field Programmable Logic and Applications. - Proceedings of the 14th International Conference FPL 2004.
- A new compact control unit for CNC using SoCs technology. Assar, Kh.M.; Ashour, I.S.; Saad, E.M.; Rashid, A.M. Proceedings of the 15th International Conference on Microelectronics, 2003. ICM 2003. 9-11 Dec. 2003.
- The design of a high performance modular CNC system architecture - Ambra, C.; Oldknow, K.; Migliorini, G.; Yellowley, I. Proceedings of the International Symposium on Intelligent Control, 2002. IEEE , 2002.
- The Integrated Linear and Nonlinear Motion Control Design for Precise CNC Machine Tools. - Zheng-Hong Tsai, Syh-Shiuh Yeh, Pau-Lo Hsu,. - Proceedings of the 2004 IEEE Intemational Conference on Control Applications. Taipei, Taiwan, September 24,2004.
- Development and Implementation of a Real Time Embedded Control System for Machine Tools - Youdong Chen, Kai Sun, Tianmiao Wang,

7.- Evaluación del grupo de trabajo.

Como ya se ha dicho, el grupo de investigación sufrió, durante el año 2014, la baja de varios de sus integrantes. Para reemplazarlos, se han iniciado contactos con docentes de las carreras afines al proyecto que tuviesen interés en participar en los proyectos de investigación a mi cargo. Hasta la fecha, estas gestiones han dado como resultado, como ya ha quedado dicho, la incorporación al grupo de investigación de un profesional, el Ing. Mario Juan Krajnik, a quien le fuera asignada la tarea de documentación en lo que hace a planos mecánicos, eléctricos, y algunas de las especificaciones técnicas a desarrollar.

Asimismo, se pudieron resolver algunos de los inconvenientes derivados de la baja del Ing. Mauro mediante la asignación al proyecto del Ing. Gustavo Sagarna, integrante del grupo de investigación desde hace un par de años. El Ing. Sagarna, a partir de mediados de 2014, comparte su actividad de investigación con su dedicación a los otros proyectos a los cuales se encuentra afectado.

Por último, y hacia fines del año 2015, como también ha sido dicho en párrafos anteriores, se incorporó a la Universidad y al proyecto de investigación el Ing. Alejandro Fourcade, profesional ingeniero electrónico, con amplia experiencia en diseño de sistemas electrónicos en distintas áreas, lo que significó un valioso aporte al avance del proyecto.

Estos tres profesionales se integraron al grupo de investigación con muy buena predisposición y aportaron sus conocimientos, su dedicación y responsabilidad en las tareas que le fueron asignadas.

En lo que hace al resto del equipo de investigación, debe destacarse primeramente el esfuerzo y la dedicación mostrados por los alumnos integrantes del grupo. Tanto el Sr. Martín Ferreyra Birón como el Sr. Mauro Cipollone, han dedicado grandes cantidades de tiempo y dedicación a resolver distintas tareas que les fueron asignadas, repartiendo sus tiempos entre el proyecto que se informa en el presente, sus actividades académicas, y las exigencias de otros proyectos de investigación que nos han sido asignados.

Por la dedicación a sus tareas y el empeño puesto en las mismas, se recomienda la obvia continuidad de los mencionados alumnos dentro del grupo de investigación, por lo que además se ha gestionado, y se ha logrado, la asignación de una beca de iniciación a la investigación para el Sr. Mauro Cipollone, quien hasta el pasado mes de septiembre de 2014 desempeñaba sus tareas en el grupo de investigación sin asignación alguna, a excepción de una dedicación docente de ayudante alumno que compartía con sus tareas en la cátedra de Técnicas Digitales III. Dicha beca le fue asignada durante el período septiembre 2014 – agosto 2015, durante el cual el Sr. Cipollone cumplió con las tareas asignadas con profesionalidad y gran entusiasmo.

En lo que hace al resto del grupo profesional y docente, el Ing. Elio De María y el Lic. Carlos E. Maidana tuvieron a su cargo, juntamente con el Director del proyecto, las responsabilidades mayores en lo que hace a la redefinición del proyecto a encarar y sus especificaciones. En el análisis de alternativas y la selección de componentes electrónicos (en especial, en el análisis de características de los sistemas embebidos con posibilidad de ser utilizados) participó activamente el Sr. Mauro Cipollone.

El Ing. Carlos Rodríguez y el Ing. Gustavo Sagarna, este último a partir de su incorporación, se dedicaron con intensidad a la reconstrucción en los laboratorios de la Universidad del prototipo ya

desarrollado para el proyecto anterior, el que fue traído desde el Instituto de Formación de la UOM, y a la adecuación de sus sistemas mecánicos para la adaptación del mismo al nuevo planteo de diseño que se propone en el presente. El trabajo fundamental de los mencionados investigadores fue, además, la puesta en marcha de la electrónica y la mecánica del tercer eje (Z), necesario para permitir la integración del sistema de control en tres ejes.

El Ing. Guillermo Beneitez, durante su participación en el proyecto, y hasta su desvinculación parcial por baja de su dedicación académica, se ocupó de documentar las distintas actividades del proyecto y de un análisis a nivel sistemas del mismo. En este análisis de sistemas, así como en otras tareas de distinto grado de relevancia, participó también el alumno Martín Ferreyra Birón, quien compartió su dedicación al proyecto a que se refiere este informe con una profunda dedicación a un proyecto de investigación, que le fuera asignado, referido al reconocimiento de imágenes, para ser aplicado a otros proyectos en que se encuentra embarcado el grupo de investigación a mi cargo.

Por último, el Ing. Roberto Di Lorenzo actuó como colaborador en las instancias de documentación y administración de los recursos asignados al sistema. En este caso, cabe acotar que el Ing. Di Lorenzo dedicó parte de su actividad en el grupo de investigación a la realización de una especialización de posgrado en temas de interés para el grupo y el Departamento de Ingeniería. Se espera que dicha especialización quede concluida a principios de 2016.

Como resumen de esta evaluación, debe decirse que la Universidad Nacional de La Matanza ha logrado formar y fortalecer un grupo de investigación, dedicado a temas muy actuales dentro de la tecnología electrónica, con capacidad de enfrentar diferentes cuestiones de la más variada complejidad dentro del ámbito de la electrónica digital, la lógica programable y los sistemas inteligentes, además de contar con recursos que permitan resolver temas, no electrónicos, asociados con los anteriores, tales como el desarrollo y fabricación de elementos mecánicos, circuitos impresos, etc. Es importante que la Universidad mantenga y permita la ampliación del grupo de investigación para permitir el avance del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas sobre temas avanzados de la tecnología electrónica y sus temas afines.

8.- Participación de los integrantes del Grupo de Investigación en Congresos, Conferencias y otras actividades durante el desarrollo del proyecto.

A lo largo de los dos años de vigencia del proyecto, se desarrollaron en el país gran cantidad de actividades vinculadas con temas de microelectrónica, sistemas embebidos y control industrial. Fue intención de las autoridades del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, así como de los responsables del grupo de investigación, tener presencia en los distintos eventos realizados, ya fuera como participantes o presentando trabajos afines con la actividad desarrollada, según fuera el caso.

Se detallan en el presente apartado las actividades realizadas en este sentido por los integrantes del grupo de investigación:

8.1.- Segunda Escuela para la Enseñanza de Sistemas Embebidos

Los Sres. Mauro Cipollone y Martín Ferreyra Birón participaron, al igual que en el año 2013, en las actividades llevadas a cabo en Oro Verde, Entre Ríos, en la sede de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos y en la Regional Paraná de la Universidad Tecnológica Nacional. En los apartados correspondientes se acompañarán los informes generados por los asistentes luego de las actividades.

8.2.- SASE 2014 – Simposio Argentino de Sistemas Embebidos.

Los Sres. Mauro Cipollone y Martín Ferreyra Birón participaron, asimismo, en las actividades llevadas a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. En los apartados correspondientes se acompañarán los informes generados por los asistentes luego de las actividades.

8.3.- Seminario Microchip Masters Conference 2014

El Sr. Mauro Cipollone asistió al “Microchip MASTERS Conference Argentina 2014”, llevado a cabo durante el mes de Septiembre en la Universidad Católica Argentina, en la ciudad de Buenos Aires.

8.4.- CACIC 2014

En este evento, llevado a cabo en la sede de la Universidad Nacional de La Matanza, el grupo de investigación estuvo representado por el Sr. Martín Ferreyra Birón, asistente a los distintos workshops y seminarios que formaron parte del mismo. También en este caso, se acompañará al presente el informe generado por el Sr. Ferreyra Birón.

8.5.- Quinto Congreso de Microelectrónica Aplicada

En este evento, desarrollado en la ciudad de Córdoba durante el mes de mayo de 2014, el grupo de investigación presentó un trabajo sobre “Implementación de Linux sobre un microprocesador embebido en una FPGA Spartan 6 (Proceso de implementación, desde la síntesis del procesador hasta la compilación del sistema operativo), vinculado con los temas desarrollados en el presente proyecto de investigación. Fueron autores del trabajo el Sr. Mauro Cipollone y el Ing. Fernando I. Szklanny, el que fuera presentado, en formato de poster, por el Sr. Cipollone. Se adjunta al presente el documento originalmente presentado así como el poster definitivo. (Anexo I)

8.6.- Jornada de Investigación Interdepartamental UNLAM – Septiembre 2014

Los integrantes del grupo de investigación participaron en su totalidad en la mencionada Jornada, en la que el Lic. Carlos E. Maidana, en representación del grupo, presentó el informe referido al proyecto de investigación llevado a cabo durante los años 2012 – 2013, en tanto que el Ing. Roberto Di Lorenzo actuó como moderador en una de las mesas de la misma. .

8.7.- Sexto Congreso de Microelectrónica Aplicada.

Este evento se llevó a cabo en la Universidad Nacional de La Matanza, organizado y desarrollado íntegramente por el Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas. Los integrantes del grupo de investigación tuvieron una importante y destacada participación en el mismo, tanto mediante la presentación de trabajos, cuanto mediante el dictado de un curso de capacitación sobre temas de Microelectrónica Aplicada y Lógica Programable.

Si bien en este caso, la actividad desarrollada y los trabajos presentados no tuvieron relación con el objetivo del presente proyecto, se debe destacar la dedicación de sus autores, quienes además de participar en este proyecto, destinaron tiempo, como ya se ha dicho, a un conjunto de tareas adicionales, requeridas por la Universidad y el Departamento de Ingeniería, algunas de ellas relacionadas con la organización del Congreso y otras no vinculadas. De esas tareas adicionales surgieron trabajos que fueron presentados para conocimiento y divulgación y que merecieron elogiosos comentarios.

8.8.- Jornada sobre Desarrollos en Vinculación Tecnológico Social en la UNLaM – Red Vitec

Durante los días 14 y 15 de mayo de 2015 se llevó a cabo en la Universidad la XXIII Jornada de Vinculación de la Red Vitec, la que se denominó “JORNADA SOBRE DESARROLLOS EN VINCULACIÓN TECNOLÓGICO-SOCIAL EN LA UNLaM.”

Los responsables del proyecto de investigación que se refiere participaron de dicha Jornada, asistiendo a las conferencias y mesas redondas, y además, como responsables de la presentación del proyecto involucrado. El documento final generado por la Universidad Nacional de La Matanza forma parte del presente informe como documento anexo. Asimismo se acompaña como anexo el poster y la presentación multimedial que se utilizaron como parte de dicha participación.

8.9.- Curso de capacitación en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales – Centro Espacial Teófilo Tabanera.

Como parte de las actividades de extensión y transferencia, los integrantes del grupo de Investigación, Ing. Elio A. De María y Lic. Carlos E. Maidana dictaron un curso de capacitación sobre temas relacionados con las actividades del grupo y el proyecto que se describe en el presente informe, destinado a la formación profesional de personal de dicha Comisión y de dicho Centro Espacial.

Dicho curso tuvo una alta concurrencia, y un positivo impacto sobre los asistentes, lo que les fue transmitido a los profesionales mencionados por los responsables de la organización del mismo.

9.- Resumen final y conclusiones

El proyecto desarrollado permitió lograr la implementación de un prototipo de laboratorio para un sistema de control numérico aplicable a máquinas herramienta de control manual.

Se completó el diseño de hardware del prototipo, se ensayó el funcionamiento del control sobre los tres ejes y se detectaron, en la última parte del desarrollo e implementación, algunos inconvenientes en el funcionamiento del eje Z, lo que obligó al rediseño del sistema planteado originalmente para el mismo.

Las dificultades en la provisión de componentes y elementos electrónicos, por las restricciones a las importaciones vigentes durante el desarrollo del proyecto, demoraron algunas decisiones de diseño en cuanto a la electrónica a definir como sistema embebido, lo que se vio reflejado en atrasos en el diseño del software embebido correspondiente. Esto obligó a organizar la prueba y puesta en marcha del prototipo usando software comercial, en versiones de prueba, y con limitación de utilización y prestaciones, para lograr verificar el funcionamiento del mismo.

Estas dificultades se vieron agravadas por el hecho, ya comentado, de algunas bajas entre los integrantes del grupo de investigación, las que obligaron a incorporar nuevos docentes que, obviamente, requirieron de un cierto tiempo para ponerse al día con el desarrollo del proyecto.

Afectó también la marcha normal del proyecto la falta de recursos económicos, dado que al presupuestar el proyecto para su financiamiento por parte de la Universidad, se preveía también un subsidio, externo e importante, que a la fecha no se ha concretado. Esto implicó, por ejemplo, que no se pudiera adquirir, como se preveía, una máquina herramienta que sirviera no solamente a los fines del proyecto, sino como elemento de eventual utilización en otros sectores del Departamento de Ingeniería y de la Universidad.

No obstante, se considera como positivo el balance del proyecto, debido a las siguientes razones:

- Se logró desarrollar un sistema prototipo de laboratorio, el que se completó desde el punto de vista electrónico (hardware), al que se proveyó de gran parte de software propio y al que se complementó con software comercial, en versión libre o de prueba, para verificar su correcto funcionamiento.
- Se lograron detectar problemas de estabilidad del sistema desarrollado, los que pudieron ser corregidos antes de dar por terminado el proyecto.
- Se logró una importante capacitación de docentes investigadores y de alumnos becarios en las áreas de control numérico, desarrollo de software y hardware referido al tema, y a temas afines.
- El grupo de investigación participó en distintos eventos nacionales e internacionales, mediante la asistencia a los mismos, la presentación de trabajos y el dictado de cursos referidos a temas asociados con el proyecto.
- La participación en la Jornada 2015 de la Red Vitec permitió el contacto con otras Universidades cuyos investigadores pudieron ver el trabajo realizado, compartir ideas y hacer observaciones para la mejora del trabajo llevado a cabo por el grupo de investigación.

Contenido

Resumen del Proyecto:	4
1.- Planteo inicial	5
2.- Metodología utilizada:	7
3.- Resultados esperados y obtenidos:	9
3.1. Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:	9
3.2. Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:	9
3.3. Resultados en cuanto a la difusión de resultados:	9
4.- Programación de actividades (GANTT):	11
Planificación de las tareas para los dos años del proyecto (según presentación inicial):	11
Diagrama de actividades originalmente previstas para el año 2014	12
Diagrama de actividades originalmente previstas para el año 2015	12
5.- Detalle de tareas realizadas durante los años 2014-2015.	13
6.- Bibliografía utilizada	15
6.1.- Para temas relacionados con Control Numérico:	15
6.2.- Para temas relacionados con sistemas embebidos:	15
7.- Evaluación del grupo de trabajo.	17
8.- Participación de los integrantes del Grupo de Investigación en Congresos, Conferencias y otras actividades durante el desarrollo del proyecto.	19
8.1.- Segunda Escuela para la Enseñanza de Sistemas Embebidos	19
8.2.- SASE 2014 – Simposio Argentino de Sistemas Embebidos.	19
8.3.- Seminario Microchip Masters Conference 2014	19
8.4.- CACIC 2014	19
8.5.- Quinto Congreso de Microelectrónica Aplicada	19
8.6.- Jornada de Investigación Interdepartamental UNLAM – Septiembre 2014	20
8.7.- Sexto Congreso de Microelectrónica Aplicada.	20
8.8.- Jornada sobre Desarrollos en Vinculación Tecnológico Social en la UNLaM – Red Vitec	20
8.9.- Curso de capacitación en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales – Centro Espacial Teófilo Tabanera	20
9.- Resumen final y conclusiones	21