



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA

Unidad Ejecutora:

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Título del proyecto de investigación:

Controlador Lógico Programable de bajo costo para aplicaciones robóticas

Código del proyecto: C – 034

Programa de acreditación: CYTMA 2

Director del proyecto: Ing. Hugo R. Tantignone

Co-Director del proyecto: Ing. Carlos A. Rodríguez

Integrantes del equipo:

Ing. Gustavo H. Sagarna

Ing. Alejandro Martínez

Ing. Nahuel O. Nieva

Ing. Nicolás Molina Vuistaz

Fecha de inicio: 01.01.2016

Fecha de finalización: 31.12.2017

Informe final 2016 - 2017

Sumario:

Contenido

1.- PLAN DE INVESTIGACIÓN	4
1.1 Resumen del Proyecto:	4
1.2 Palabras clave:	4
1.3 Tipo de investigación:.....	4
1.4 Área de conocimiento:	4
1.5 Disciplinade conocimiento:	4
1.6 Campo de aplicación:	4
1.7 Estado actual del conocimiento:	5
1.8 Problemática a investigar:.....	7
1.9 Objetivos:	7
1.10 Marco teórico:.....	7
1.11 Hipótesis:.....	9
1.12 Metodología:	9
1.12.1.- Tareas a desarrollar en el primer año del proyecto. (2016)	9
1.12.2.- Tareas segundo año del proyecto.	10
1.13 Bibliografía sugerida.....	11
1.14 Programación de actividades (Gantt).....	12
1.14.1.- Etapa I - Primer Año	12
1.14.2.- Etapa II - Segundo Año	12
2.- Resultados que se esperan del proyecto	14
2.1.- Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:	14
2.2.-Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:	14
2.3.- Resultados en cuanto a la difusión de resultados:.....	14
2.4.- Resultados en cuanto a transferencia hacia las actividades de docencia y extensión:	14
2.5.- Resultados en cuanto a la transferencia de resultados a organismos externos a la UNLaM:	14
2.6.- Vinculación del proyecto con otros grupos de investigación del país y del extranjero:.....	14
3.- MEMORIA TÉCNICA.....	15
3.1.-INTRODUCCIÓN.....	15
3.2.- TAREAS DESARROLLADAS DURANTE EL AÑO 2016.....	15
3.3.- ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE EL AÑO 2017.....	17
4.- CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA CONTROLADOR DESARROLLADO.....	21
5.- EVALUACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO	23

6.- PARTICIPACIÓN EN EVENTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS.....	24
7.- CONCLUSIONES	25
8.- BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA.....	26

1.- PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1 Resumen del Proyecto:

Se propone el diseño de un sistema digital, que cuadra dentro del concepto de controlador lógico programable, (A partir de ahora, en el texto, identificado como PLC), de características funcionales destacadas y de muy bajo costo, destinado al control de sistemas autónomos. Se pretenden lograr características particulares, como lo son la modularidad, versatilidad y escalabilidad, combinados con una alta capacidad de cálculo y bajo consumo de energía.

Se propone desarrollar un módulo principal de alta capacidad de cómputo y bajo costo, que cumpla con normas industriales y de código abierto, como así también desarrollar un módulo base con tecnología de matrices lógicas programables (FPGA), para aplicaciones de automatización como el control numérico o la robótica.

El proyecto implica, además, la investigación y el desarrollo de algoritmos del procesamiento digital de señales que permitan la rápida implementación de métodos de control como son los utilizados para el manejo de motores, filtros digitales y de control proporcional-integral-derivativo (PID).

1.2 Palabras clave:

**Procesamiento digital de señales (DSP),
Matriz lógica programable (FPGA),
Control Proporcional-Integrador-Derivativo (PID),
robótica**

1.3 Tipo de investigación:

Desarrollo Experimental

1.4 Área de conocimiento:

1800 – Ingeniería Comunicaciones y Electrónica

1.5 Disciplinade conocimiento:

1804 – Control

1.6 Campo de aplicación:

0888 – Equipos e instrumentos científicos de medición y control.

1.7 Estado actual del conocimiento:

Hasta no hace mucho tiempo el control de procesos industriales se realizaba de forma cableada por medio de contactores y relevadores (conocidos como relés). Al operario que se encontraba a cargo de este tipo de instalaciones se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y posteriormente mantenerlas. Además, cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, lo que significaba como consecuencia un gran esfuerzo técnico y un mayor desembolso económico.

En la actualidad no se puede entender un proceso complejo de alto nivel desarrollado mediante la utilización de técnicas cableadas. Las computadoras y los controladores lógicos programables han intervenido de forma considerable, para que aquel tipo de instalaciones se hayan visto sustituidas por otras controladas de forma programada.

El controlador lógico programable nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto, se puede decir que un PLC no es más que un sistema electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.) por otra. Los PLC se introdujeron por primera vez en la industria aproximadamente en 1960. La razón principal de tal hecho fue la necesidad de eliminar el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relés y contactores.

Bedford Associates propuso el desarrollo de un sistema denominado Controlador Digital Modular (MODICON, Modular Digital Controller), destinado básicamente a grandes empresas de la industria automotriz. Otras compañías propusieron a la vez esquemas basados en computadoras, uno de los cuales estaba basado en el modelo comercial DEC PDP-8. El MODICON 084 (Schneider) resultó ser el primer PLC del mundo en ser producido comercialmente.

El mayor problema de los sistemas basados en relés surgía en el hecho de que cuando los requerimientos de producción cambiaban, también se requerían cambios (muchas veces importantes) en el sistema de control. Esta exigencia comenzó a resultar bastante poco económica cuando los cambios comenzaron a hacerse frecuentes.

Dado que los relés son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada, se requería además un estricto mantenimiento planificado. Por otra parte, a veces se debían realizar conexiones entre cientos o miles de relés, lo que implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento.

Los "nuevos controladores" debían ser fácilmente programables por ingenieros de planta o personal de mantenimiento. El tiempo de vida debía ser largo y los cambios en el programa tenían que realizarse de forma sencilla. Finalmente se imponía que trabajaran sin problemas en entornos industriales adversos.

La solución fue el empleo de una técnica de programación conocida y el reemplazo de los relés mecánicos por relés de estado sólido. A mediados de los 70, las tecnologías dominantes de los PLC eran máquinas de estado secuencial y unidades de procesamiento basadas en desplazamiento de bits. Los microprocesadores convencionales permitieron generar la potencia de programación necesaria para resolver de forma rápida y completa la lógica de los pequeños PLC. Por cada modelo de microprocesador había al menos un modelo de PLC basado en el mismo.

Las necesidades de desarrollar esquemas de comunicación comenzaron a aparecer en 1973 aproximadamente. El primer sistema comercialmente desarrollado se conoció como Modicon (Modbus). Mediante esta prestación, un PLC podía ahora dialogar con otros, y en conjunto podían estar aislados de las máquinas que controlaban. También podían enviar y recibir señales de tensión variables, entrando en el mundo analógico. Desafortunadamente, la falta de un estándar acompañado con un continuo cambio tecnológico ha hecho que la comunicación de PLC fuera un maremágnum de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí. No obstante fue una gran década para los PLC.

En la década de 1980 se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motors. También fue un tiempo en el que se redujeron las dimensiones del PLC y se pasó a programar con programación simbólica a través de computadoras personales, en lugar de los clásicos terminales de programación. Hoy en día el PLC más pequeño es del tamaño de un simple relé.

Durante la década de 1990 se ha podido ver una gradual reducción en el número de nuevos protocolos, y en la modernización de las capas físicas de los protocolos más populares que sobrevivieron a los 80. El último estándar (IEC 1131-3) intenta unificar el sistema de programación de todos los PLC en un único estándar internacional. El diseñador actual dispone de controladores que pueden ser programados en diagramas de bloques, lista de instrucciones y texto estructurado al mismo tiempo.

En la actualidad, las computadoras personales (PC) industriales están comenzando a reemplazar al PLC en algunas aplicaciones. Incluso la compañía que introdujo el Modicon 084 ha cambiado al control orientándose hacia un control basado en PC.

Por otra parte, actualmente se ven en el mercado pequeñas aplicaciones de sistemas de control basadas en microcontroladores modulares, cuyas prestaciones se amplifican mediante la interconexión de diferentes módulos y elementos auxiliares. Si bien estas aplicaciones (Arduino, Raspberry, etc) están básicamente orientadas hacia productos pequeños, al analizar la evolución de la tecnología de controladores, puede proyectarse que, en algún tiempo, la potencia de esos elementos llegue a reemplazar a la familia convencional de controladores lógicos programables.

Las principales ventajas de los sistemas basados en PLC son:

- Menor tiempo requerido para la elaboración de proyectos, pues no es necesario dibujar el esquema de contactos;
- Posibilidad de realizar modificaciones sin costo añadido en otros componentes;
- Tamaño reducido;
- Menor costo de mano de obra de la instalación;
- Mantenimiento económico;
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC; y
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.

Sin embargo, entre los inconvenientes que surgieron con el avance de los controladores lógicos programables, debe mencionarse la necesidad de capacitación del personal técnico y su costo. En la actualidad, estos inconvenientes se ven disminuidos proporcionalmente a la simplificación de los métodos de programación admisibles por la mayoría de los PLC.

El costo no representa un inconveniente, ya que el mercado ofrece controladores lógicos programables adecuados en prestación y precio a prácticamente todo tipo de necesidades.

A pesar de esto, la idea de este proyecto es la de desarrollar, a los efectos de su utilización dentro de los proyectos de investigación de la Universidad, un producto económico, con gran capacidad de cómputo, y que admita su programación en lenguaje de alto nivel, de forma similar a las computadoras personales orientadas a aplicaciones industriales. Esto permitirá además el desarrollo de un producto que puede ser utilizado en forma competitiva por la Universidad, en lo que hace a su aplicación en desarrollos que le sean requeridos desde la industria o las empresas de la región de influencia.

1.8 Problemática a investigar:

Para aquellas aplicaciones en las que el universo de controladores lógicos programables comercialmente disponibles no resulta adecuado, por su alto costo o por la limitación de sus prestaciones, este proyecto propone el desarrollo de un controlador lógico programable, capaz de ser programado en un lenguaje de alto nivel como puede ser C/C++. El controlador a desarrollar deberá ser del tipo modular a fin de poder adaptar en un mismo equipo las necesidades de un problema puntual de automatización. Deberá ofrecer una calidad de prestaciones compatible con el problema a resolver, y un costo accesible que no dispare el precio del producto final.

Mediante la combinación de un procesador de 32 bits y chip FPGA, se puede lograr un dispositivo con capacidades de cálculos muy superiores a un PLC comercial y una PC industrial.

1.9 Objetivos:

- Desarrollar un controlador lógico programable, de bajo costo y altas prestaciones.
- Impulsar el desarrollo tecnológico nacional, mediante el uso de sistemas electrónicos, en el marco de la vinculación de las instituciones educativas y el sistema científico-tecnológico con la industria.
- Generar cambios estructurales en la forma en la que se desarrollan y utilizan en nuestro país los conocimientos en el ámbito de la electrónica y de las instituciones y empresas que hacen uso de ella.
- Establecer una base de conocimientos para facilitar futuros desarrollos que en lo posible permitan generar patentes para la Universidad.

1.10 Marco teórico:

Un controlador programable es un sistema electrónico con una memoria construida para almacenar instrucciones programables para el control de una gran variedad de tipos de máquinas, considerando a estas últimas como unidades de entrada y salida.

De acuerdo con la definición de la NEMA (National Electrical Manufacturers Association) un PLC es: "Un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como

lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA, etc.), varios tipos de máquinas o procesos”

De todos modos, y si se mira la definición desde el punto de vista informático o de computación, la definición de un controlador lógico programable lo distingue como una sistema electrónico, diseñado para controlar en tiempo real procesos industriales del tipo secuencial. Desde el punto de vista del usuario es una "caja negra" en la que existen terminales de entrada a los que se conectan elementos captadores o sensores de todo tipo: pulsadores, finales de carrera, fotocélulas, detectores, etc. También existirán salidas a las que se conectarán contactores, electroválvulas, lámparas, y otros elementos de salida para señalización, control y alarma.

El empleo de microprocesadores les otorgó una flexibilidad y capacidad tal que realizan:

- OPERACIONES ARITMÉTICAS
- MANEJO DE DATOS
- COMUNICACIÓN ENTRE EQUIPOS
- FACILIDAD PARA DESARROLLAR NUEVOS PROGRAMAS

El uso de los microprocesadores es, en la actualidad, una alternativa obligada para los controladores industriales, resultando natural que los PLC posean características especiales frente a los sistemas de control por relés.

La lógica de relés presenta grandes inconvenientes pues es:

- DIFÍCIL EL ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO DE FALLAS
- DIFÍCIL DE MODIFICAR

Los sistemas de control con relés, debido a su sistema de conexionado de bobinas y contactos, monitorean y actúan sobre las variables en forma "paralela". En cambio, un programa almacenado ejecuta sólo una instrucción a la vez, lo que impone a los PLC limitaciones de paralelismo. El buen manejo y el conocimiento que existe de la lógica de relés permitieron la herencia hacia los controladores lógicos de un "lenguaje" llamado "ladder" (escalera), proveniente de la época de los sistemas de control basados en relés.

Este lenguaje es de "bajo nivel", pues es el acceso a una forma de programar los PLC. Permite trabajar con un entrenamiento previo en la programación de los PLC, mediante la aplicación de técnicas ya conocidas de elementos tradicionales en un dispositivo diferente a lo habitual, por lo que este elemento se debe manejar como una herramienta más, conociendo todas sus potencialidades en el campo que compete aplicar en la respectiva especialidad.

Debido a las variadas características técnicas que pueden ofrecer los distintos elementos de las familias comerciales de los PLC, su campo de aplicación es muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplia continuamente su campo para satisfacer las necesidades industriales más avanzadas.

Su utilización los lleva fundamentalmente a instalaciones en las que es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, etc., abarcando procesos industriales de cualquier tipo. Sus reducidas dimensiones, la facilidad de montaje, el almacenamiento de programas, la rápida utilización hacen que su eficiencia sea enorme.

Su manejo puede ser realizado por personal técnico sin conocimientos de informática. La tarea del usuario se reduce a escribir un "programa" que no es otra cosa que la relación, entre las señales de entrada que se deben cumplir para activar cada salida.

Los PLC poseen elementos auxiliares tradicionales como: Relés, temporizadores, contadores, registros, etc., que son internos a los mismos.

1.11 Hipótesis:

- La tecnología actual de los procesadores digitales de señales permite grandes capacidades de cálculo a altas velocidades, lo que hace posible la ejecución de algoritmos complejos necesarios para el control de los autómatas programables.
- Existen bibliotecas avanzadas realizadas en lenguajes universales, que facilitan el desarrollo de algoritmos destinados al procesamiento digital de señales, cálculos avanzados destinados a la automatización.
- Los resultados obtenidos en investigaciones previas y la relación con grupos consolidados de sensores, de programación de hardware de la Universidad posibilitarán el desarrollo exitoso del PLC que se propone en el presente proyecto, apto para trabajar en ambientes industriales.

1.12 Metodología:

El conocimiento de los integrantes en el campo de la robótica y los resultados obtenidos en investigaciones previas permiten el desarrollo de un controlador lógico programable destinado a las aplicaciones industriales que requieren mayor eficiencia en la producción.

El proyecto toma como base el desarrollo del controlador que se llevó a cabo en el marco del proyecto PROINCE C153, durante el periodo 2014-2015. El mismo fue desarrollado por el mismo grupo de investigación afectado al presente proyecto, en el Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de La Matanza.

Por lo tanto, el presente proyecto planteará un diseño de un elemento controlador de características superiores al mencionado, pero compatible con el mismo en su filosofía de diseño.

En base a lo planteado, se propone una metodología de trabajo, compuesta por dos etapas de un año de duración cada una.

En la primera etapa se diseñarán el módulo principal de computo del PLC, basado en un procesador de 32 bits a determinar, y un módulo base de alta prestaciones basado en un FPGA también a definir.

1.12.1.- Tareas a desarrollar en el primer año del proyecto. (2016)

- Investigación y selección del microprocesador y el chip FPGA.
- Investigación de la compatibilidad electromagnética y normas industriales.
- Desarrollo de los circuitos de cada módulo.
- Modelado y simulación de los circuitos.
- Estudio de los métodos de fabricación y normas de diseño de los circuitos impresos.
- Desarrollo de la placa de circuito impreso del módulo principal.
- Desarrollo del circuito impreso del módulo base.

- Simulación de los ensayos de compatibilidad electromagnética.
- Construcción y prueba de cada módulo.
- Documentación.

En la segunda etapa se desarrollarán los algoritmos básicos necesarios para aplicaciones industriales.

1.12.2.- Tareas segundo año del proyecto.

- Investigación y desarrollo de las herramientas para la programación del microprocesador.
- Estudio de los compiladores disponibles en el mercado.
- Desarrollo de las bibliotecas básicas de configuración del microprocesador y control de los periféricos del mismo.
- Investigación e implementación un sistema operativo de tiempo real.
- Desarrollo de la biblioteca base del PLC.
- Armado del entorno para la programación del PLC en lenguaje de alto nivel basado en herramientas libres.
- Desarrollo de las bibliotecas de procesamiento digital de señales.
- Estudio del rendimiento y capacidades de cálculo del procesador.
- Investigación y desarrollo de las bibliotecas básicas de control PID.
- Documentación.

1.13 Bibliografía sugerida.

- [1] Balcells Sendra, Josep. "Autómatas programables" Marcombo, S. A. 1997
- [2] Lewis, R.W., Antsaklis, P.J., "Programming Industrial Control Systems Using PLC IEC 1131-3 (Iec Control Engineering, No. 59)", Inspec/IEE, 1995.
- [3] Petruzella, F., Programmable Logic Controllers, Second Edition, McGraw-Hill Publishing Co., 1998
- [4] Martínez, V. A. "Potencia Hidráulica controlada por PLC" RA-MA, 2008
- [5] Mengual, Pilar "Step7: Una manera fácil de programar PLC SIEMENS" Marcombo, S. A. 2009
- [6] Álvarez Pulido, Manuel "Controladores Lógicos "Marcombo, S. A., 2004
- [7] Understanding Digital Signal Processing. Richard G. Lyons (Nov 6, 1996), Addison Wesley, ISBN-13: 978-0201634679
- [8] Discrete-Time Signal Processing (3rd Edition). Alan V. Oppenheim (Aug 28, 2009). Addison Wesley Pub. Co. Inc., ISBN-13: 978-0131988422.
- [9] Signal Processing and Linear Systems, B. P. Lathi (Feb 24, 2000) ISBN-13: 978-0195219173, OUP USA.
- [10] The DSP Handbook: Algorithms, Applications and Design Techniques. Andrew Bateman (Oct 26, 2002), Prentice Hall, ISBN-13: 978-0201398519.
- [11] Real-Time Digital Signal Processing from MATLAB® to C with the TMS320C6x DSPs, Second Edition. Thad B. Welch (Dec 22, 2011), CRC Press, ISBN-13: 978-1439883037.
- [12] DSP Filter Cookbook (Electronics Cookbooks). John Lane (Dec 1, 2000), Premier Pr., ISBN-13: 978-0790612041,
- [13] Michel, G., Duncan, F., "Programmable Logic Controllers: Architecture and Application", John Wiley & Sons, 1990.

1.14 Programación de actividades (Gantt)

En base a lo expuesto en el apartado de metodología se propone la ejecución de las tareas de acuerdo a la siguiente programación:

1.14.1.- Etapa I - Primer Año

- 1.1. Investigación y selección del microprocesador y el chip FPGA.
- 1.2. Investigación de la compatibilidad electromagnética y normas industriales.
- 1.3. Desarrollo de los circuitos de cada módulo.
- 1.4. Modelado y simulación de los circuitos.
- 1.5. Estudio de los métodos de fabricación y normas de diseño de los módulos de circuitos impresos.
- 1.6. Desarrollo del circuito impreso del módulo principal.
- 1.7. Desarrollo del circuito impreso del módulo base.
- 1.8. Simulación de los ensayos de compatibilidad electromagnética.
- 1.9. Construcción y prueba de cada módulo.
- 1.10. Documentación.

1.14.2.- Etapa II - Segundo Año

- 1.11. Investigación y desarrollo de las herramientas para la programación del microprocesador.
- 1.12. Estudio de los compiladores disponibles en el mercado.
- 1.13. Desarrollo de las bibliotecas básicas de configuración del microprocesador y control de los periféricos del mismo.
- 1.14. Investigación e implementación un sistema operativo de tiempo real.
- 1.15. Desarrollo de la biblioteca base del PLC.
- 1.16. Armado del entorno para la programación del PLC en lenguaje de alto nivel basado en herramientas libres.
- 1.17. Desarrollo de las bibliotecas de procesamiento digital de señales.
- 1.18. Estudio del rendimiento y capacidades de cálculo del procesador.

Responsables

- HRT Ing. Hugo R. Tantignone
CAR Ing. Carlos A. Rodríguez
NMV Ing. Nicolás Molina Vuistaz
GS Ing. Gustavo Sagarna
NN Ing. Nahuel Nieva
AM Ing. Alejandro Martínez

	Responsables	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	1. Etapa I – Primer año												
1.1	GS, NMV	X	X										
1.2	NN, AM	X	X	X									
1.3	Todos		X	X	X	X	X	X					
1.4	Todos			X	X	X	X	X					
1.5	NN, AM				X	X	X	X					
1.6	NN, AM								X	X	X		
1.7	NN, AM									X	X	X	
1.8	Todos								X	X	X	X	
1.9	Todos											X	
1.10	Todos		X						X				X
2	1. Etapa II – Segundo año												
2.1	GS, NMV	X	X										
2.2	GS, NMV	X	X										
2.3	Todos		X	X									
2.4	Todos		X	X	X	X	X						
2.5	Todos					X	X	X	X	X	X	X	
2.6	Todos					X	X	X	X				
2.7	Todos							X	X	X	X	X	
2.8	Todos												X

2.- Resultados que se esperan del proyecto

2.1.- Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:

El desarrollo del controlador lógico programable permitirá la ampliación de los conocimientos adquiridos de los integrantes del grupo de investigación en lo que hace a la tecnología del procesamiento digital de señales aplicado y la automatización de sistemas industriales.

2.2.- Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:

Se prevé la capacitación de alumnos en temas relacionados con procesadores de 32bit, FPGAs, control industrial, procesamiento digital de señales, con el fin de obtener resultados académicos óptimos entre la teoría y la práctica, incorporando posibles propuestas de mejoras del sistema.

2.3.- Resultados en cuanto a la difusión de resultados:

Se prevé reunir a empresarios interesados en la evaluación de la tecnología desarrollada y a corto plazo seguir desarrollando la tecnología que se ajuste a sus necesidades, mejorando la productividad y disminuyendo los costos de producción. Se prevé publicar trabajos en Congresos afines a la especialidad relacionados con los temas estudiados

2.4.- Resultados en cuanto a transferencia hacia las actividades de docencia y extensión:

Conocimiento sobre procesamiento digital de señales aplicado al control de sistemas industriales.

2.5.- Resultados en cuanto a la transferencia de resultados a organismos externos a la UNLaM:

Posibilidad de promover el PLC dentro de las industrias locales en el partido de La Matanza.

2.6.- Vinculación del proyecto con otros grupos de investigación del país y del extranjero:

En la medida de las posibilidades se intentarán conexiones con grupos de investigación que se encuentren trabajando sobre temas similares, de control de procesos y de robótica.

3.- MEMORIA TÉCNICA

3.1.-INTRODUCCIÓN

El proyecto que se plantea en el presente informe surge como una consecuencia de las necesidades generadas en otros proyectos desarrollados por el mismo grupo de investigación. Como resultado de estos otros proyectos, aparece la necesidad de normalizar los requerimientos de adquisición y control de distintas variables que intervienen en la mayoría de las aplicaciones de robótica y control industrial.

Por consiguiente, y de acuerdo con esas necesidades, se propone el diseño de un sistema digital, que cuadra dentro del concepto de controlador lógico programable, (PLC), de características funcionales destacadas y de muy bajo costo, destinado al control de sistemas autónomos de diferentes características. Se pretenden lograr características particulares, como lo son la modularidad, versatilidad y escalabilidad, combinados con una alta capacidad de cálculo y bajo consumo de energía.

Se propone, en consecuencia, el desarrollo de un módulo principal de alta capacidad de cómputo y bajo costo, que cumpla con normas industriales y de código abierto, como así también desarrollar un módulo base con tecnología de matrices lógicas programables (FPGA), para aplicaciones de automatización como el control numérico o la robótica.

Este módulo vendrá acompañado por módulos adicionales, adaptables a los diferentes sistemas y dispositivos en los que se lo utilice.

El proyecto implica, además, la investigación y el desarrollo de algoritmos del procesamiento digital de señales que permitan la rápida implementación de métodos de control como son los utilizados para el manejo de motores, filtros digitales y de control proporcional-integral-derivativo (PID).

3.2.- TAREAS DESARROLLADAS DURANTE EL AÑO 2016.

Durante del 2016 se lograron cumplir todas las tareas propuestas en la presentación inicial, las que se describen en el apartado 1.14.1 y que se repiten a continuación, para mayor claridad.

- Investigación y selección del microprocesador y el chip FPGA.
- Investigación de la compatibilidad electromagnética y normas industriales.
- Desarrollo de los circuitos de cada módulo.
- Modelado y simulación de los circuitos.
- Estudio de los métodos de fabricación y normas de diseño de los circuitos impresos a desarrollar.
- Desarrollo del circuito impreso del módulo principal.
- Desarrollo del circuito impreso del módulo base.
- Simulación de los ensayos de compatibilidad electromagnética.
- Construcción y prueba de cada módulo.

- Documentación.

Los Ing. Nahuel Nieva y Alejandro Martínez tuvieron a su cargo la responsabilidad del diseño primario de la electrónica del controlador desarrollado. El Ing. Nicolás Molina Vuistaz, por su parte, fue el encargado de supervisar y coordinar el desarrollo de dichas tareas.

La experiencia profesional del Ing. Molina Vuistaz hizo que la dirección del proyecto delegara en él la evaluación de los diseños de los diferentes módulos que componen el PLC, así como la selección y compra de los componentes.

Una vez completadas las definiciones mencionadas los integrantes del grupo de investigación procedieron al diseño de los circuitos impresos para el primer prototipo de laboratorio.

Fabricados los mismos y adquiridos los componentes, se procedió al desarrollo del software para probar el prototipo desarrollado.

Cabe mencionar en este punto que las compras de componentes y la producción de los circuitos impresos para el primer prototipo se realizaron con fondos de proyectos anteriores al presente, dado que el desarrollo del PLC objeto del presente se consideró inicialmente como parte del proyecto C-153, correspondiente al período 2014-2015, para el control de los motores de cada eje del manipulador programable.

Dado que los fondos asignados a dicho proyecto y correspondientes al año 2015 fueron acreditados muy tardíamente, se consideró la posibilidad de utilizar el desarrollo, cuyo planteo teórico ya estaba resuelto, para encarar un eventual proyecto independiente para el período 2016-2017.

En función del desarrollo de los hechos, el mencionado proyecto C 153 se vio continuado por otro proyecto, también encarado por este grupo de investigación, “Manipulador automático programable asistido por visión” (PROINCE C 197), en el que se aplicará, como se ha dicho, el presente controlador lógico programable.

El mismo también tiene cabida en el desarrollo del proyecto “Diseño de un sensor óptico sumergible para técnicas volumétricas por color” (C2-ING-027), en el que participan algunos de los integrantes del grupo de investigación.

Dada la demora en la aprobación de los proyectos presentados para el período 2016-2017, se tomó la decisión de avanzar, al igual que en años anteriores, sobre trabajos asociados al proyecto, que no implicaran gastos y que permitieran aprovechar el tiempo de los investigadores que forman parte del grupo.

Al respecto, una de las determinaciones evaluadas fue el desarrollo de un módulo de comunicaciones basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal para agregarlo como un módulo adicional al PLC. Esta tarea estuvo a cargo del Ing. Mario Krajnik, integrante del grupo de investigación, quien realizó una investigación inicial de la tecnología. El informe del Ing. Krajnik sobre el trabajo encomendado forma parte del presente como anexo.

En la medida en que se fue avanzando sobre los diseños de los distintos módulos, surgieron algunos cambios de criterio con respecto a las tareas oportunamente planteadas en la presentación del proyecto.

Una de esas diferencias de criterio llevó a la idea del desarrollo de un módulo individual de comunicaciones, el que no estaba previsto originalmente en el diseño, en reemplazo o adición (la definición queda para el segundo año) del módulo basado en FPGA previsto originalmente.

El Ing. Molina Vuistaz se encargó del desarrollo de módulo de comunicaciones, incluyendo su diseño, la confección de los esquemáticos del módulo, el diseño del circuito impreso y la realización de pruebas sobre el kit de evaluación SimpleLink CC 1310 LaunchPad de Texas.

Asimismo, y dentro de las tareas previstas, se procedió también a la selección del gabinete que alojará al controlador lógico desarrollado, en función de los módulos previstos y de su fuente de alimentación.

3.3.- ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE EL AÑO 2017.

Al igual que en el apartado anterior, se plantea el desarrollo de actividades del segundo año del proyecto, sobre la base del cronograma original, incorporado en el punto 1.4.2, el que se repite a continuación:

- Investigación y desarrollo de las herramientas para la programación del microprocesador.
- Estudio de los compiladores disponibles en el mercado.
- Desarrollo de las bibliotecas básicas de configuración del microprocesador y control de los periféricos del mismo.
- Investigación e implementación un sistema operativo de tiempo real.
- Desarrollo de la biblioteca base del PLC.
- Armado del entorno para la programación del PLC en lenguaje de alto nivel basado en herramientas libres.
- Desarrollo de las bibliotecas de procesamiento digital de señales.
- Estudio del rendimiento y capacidades de cálculo del procesador.

Una de las tareas principales correspondiente al segundo año de ejecución del corriente proyecto, fue la investigación y selección de las herramientas a utilizar para la programación del procesador, núcleo del PLC en cuestión. Por tal motivo, se hizo una búsqueda de los recursos disponibles por los distintos proveedores que sean compatibles con la arquitectura y los periféricos desarrollados por el fabricante del silicio. Luego de un relevamiento, se llegó a la conclusión de que la herramienta más eficaz para lograr el objetivo era el IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), uVision v5.11.10 de la firma Keil. Esto se debe a que dicha firma forma parte de ARM y sus herramientas se usan para el desarrollo de las IP de ARM, motivo por el cual sus productos presentan una serie de ventajas cuando se trata de desarrollos basados en arquitecturas Cortex-M. Algunas de las ventajas que ofrece la utilización de este IDE incluyen:

- Disponibilidad de un entorno completo de desarrollo de software para dispositivos basados en ARM Cortex-M.
- Posibilidad de desarrollar sistemas heterogéneos Cortex-A + Cortex-M (DS-MDK).

- Menor tiempo de aprendizaje y mayor facilidad al momento de iniciar un proyecto basado en ARM, ya que MDK es una herramienta fácil para comenzar, que incluye muchos ejemplos y proyectos.
- Disponibilidad de un depurador JTAG con (o sin) capacidad de traza perfectamente integrado en el entorno de desarrollo.
- Rápida escalabilidad a un sistema RTOS específicamente diseñado para diversas CPUs, con pocos requerimientos de memoria, libre y sin royalties.
- Acceso a librerías middleware como GUI, TCP/IP, USB, Flash File System, drivers CAN o utilidades de conexión con el servidor y seguridad SSL/TLS para dispositivos IoT.

Esta serie de ventajas, acompañadas de la experiencia previa con versiones anteriores del software, dieron como resultado su utilización como herramienta principal para la generación de código y rutinas de firmware para todo lo relacionado al dispositivo programable.

En cuanto al desarrollo de las bibliotecas base para el sistema uPLC, las mismas fueron planteadas de manera de conformar un conjunto de funciones que permita acceder de manera dinámica y práctica a los distintos periféricos del mismo. Además, prevén la simplificación de operaciones de carácter lógico y aritmético en relación con las distintas posibilidades de aplicación del dispositivo en tareas de procesamiento de señales y control de sistemas en general. Esto permite otorgar un nivel de abstracción y transparencia en el uso del hardware, de cara al operador del mismo.

En línea con la idea de que el código pueda ser escrito en una primera instancia en C (lo que permite aprovechar toda la potencia de este lenguaje en cuanto a su uso en diversos campos de los sistemas embebidos), las bibliotecas se desarrollaron utilizando el código ofrecido por el fabricante del microcontrolador (en este caso STMicroelectronics).

Esto permitió hacer uso de los recursos de firmware disponibles para acceder a los distintos registros y periféricos del chip, facilitando la generación de código personalizado y optimizado a las necesidades de entrada/salida y de operaciones básicas del PLC. Dicho código se encuentra embebido en gran parte dentro de las bibliotecas CMSIS que proporcionan un marco de software básico para aplicaciones integradas que se ejecutan en microcontroladores basados en núcleos de la familia Cortex-M. CMSIS permite realizar interfaces de software consistentes y simples para el procesador y los periféricos, lo que simplifica la reutilización del software, reduciendo la curva de aprendizaje necesaria.

A partir de lo último se procedió a escribir y probar las distintas funciones relacionadas al control de los periféricos del microcontrolador, ya sean temporizadores, módulo del conversor analógico-digital, entradas/salidas digitales, salidas PWM, etc. Para permitir la realización de las pruebas en forma independiente, las mismas se generaron de forma en forma de “proyectos” individuales con recursos propios. Luego, los diferentes códigos se agruparon en función de su uso en particular dentro de los archivos fuente con extensión .c (cuerpo de las funciones) y .h (definiciones de funciones, variables, etc.) propios de cada aplicación (por ejemplo, temporizadores del microcontrolador).

Cabe destacar que el firmware escrito fue íntegramente probado y verificado en el hardware desarrollado previamente, asegurando su correcta utilización con los recursos disponibles para dicho dispositivo. Esto permitió a su vez validar el desarrollo hecho previamente en cuanto a niveles y velocidades de operación de las señales en las distintas interfaces y la posibilidad de vinculación

del PLC con el entorno que lo rodea a través de la lectura y el control de diversos transductores. Esto también comprende el, a futuro, desarrollar bibliotecas de procesamiento de señales, integrables en las funciones básicas antes mencionadas, expandiendo el campo de aplicación del equipo desarrollado.

Por otra parte, y de forma de evaluar en un sistema real, el rendimiento como centro de control del PLC bajo estudio, se plantea el desarrollo de un dispositivo denominado Colorímetro, cuya principal aplicación se da en el marco de las investigaciones químicas de laboratorio. Dicha aplicación está enmarcada dentro del proyecto “Diseño de un sensor óptico sumergible para técnicas volumétricas por color” que lleva adelante el Lic. Luis Faroux, también investigador perteneciente al Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Para el mismo, y en base a los requerimientos de dicha aplicación específica, se desarrolló hardware complementario al incluido en el PLC, con sus correspondientes comprobaciones asociadas y firmware dedicado. Este último fue desarrollado en base a funciones organizadas en bibliotecas, con entradas/salidas de datos definidas en lenguaje C.

En base a estas actividades, se redactó un trabajo de investigación para su presentación en el VIII Congreso de Microelectrónica Aplicada. Tal evento se realizó en la ciudad de Córdoba, más específicamente, en la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, del 11 al 13 de octubre. Dicho documento, en el que se incluyó todo lo relacionado con el sistema del colorímetro y su implementación con el Controlador Lógico Programable desarrollado, fue aceptado como Trabajo Profesional en el mencionado congreso y presentado por el Ing. Nicolás Molina Vuistaz. El texto completo del documento se acompaña como anexo al presente informe.

Entre las medidas a implementar, se indica el desarrollo de un entorno de alto nivel, basado en herramientas libres. El lenguaje a utilizar sería el Ladder, o de diagrama en escalera, lenguaje de programación gráfico, utilizado dentro del campo de los controladores lógicos, cuyos elementos constitutivos se basan en los esquemas eléctricos de control clásicos (contacto cerrado, contacto abierto, temporizador, actuadores, etc.). Dada la fácil adaptación a dicho lenguaje para su aplicación, y la amplia difusión del mismo entre los operadores de controladores lógicos programables, se busca implementar un entorno para que el PLC bajo estudio pueda configurarse a partir de esta herramienta.

Dado que esta tarea requiere conocimientos específicos del ámbito de la ingeniería informática, además de una importante asignación de tiempo, no se ha podido trabajar este punto en profundidad. En su lugar, se redirigieron los recursos correspondientes a la continuación de las pruebas funcionales de los módulos constitutivos del PLC, de forma de conseguir una plataforma de hardware completamente depurada.

Para finalizar, respecto del desarrollo del PLC, se planteó una última revisión de su hardware a futuro. Las modificaciones a realizar están orientadas, en general, a una ampliación en la capacidad de uso del procesador y un mejoramiento de la escalabilidad del sistema. Esto se logrará mediante la inclusión de borneras de expansión conectadas a todos los pines, ya sean de propósito general o con funciones específicas, del microcontrolador en la placa CPU. Con esto se prevé disponer de los elementos necesarios para crear expansiones modulares del hardware, mediante la simple conexión de los bloques que la conforman, o la posibilidad de cablear los módulos requeridos directamente al procesador. Esto, a su vez, facilitará el proceso de desarrollo de los prototipos de los subsiguientes elementos a diseñar y dotará de flexibilidad al sistema de procesamiento en su totalidad.

Cabe destacar que al mismo tiempo, se plantearán modificaciones de la placa base que actualmente contiene las interfaces de entrada/salida, para permitir que la misma incluya los conectores apropiados al efecto de la aplicación.

Con relación al agregado de un circuito FPGA para complementar las prestaciones del PLC, se descartó su implementación en la presente versión, considerando que los requerimientos y las funciones planteadas no harían uso de la potencia de la lógica programable. En caso de poder seguir avanzando con nuevas prestaciones para el equipo desarrollado, se volverá a considerar la posibilidad de su incorporación.

4.- CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA CONTROLADOR DESARROLLADO.

El controlador lógico programable objeto del presente desarrollo presenta una serie de prestaciones y características que, además de permitir su presentación como un producto independiente, lo hacen aplicable a distintos proyectos de investigación y desarrollos de aplicaciones industriales.

La siguiente es una descripción de las características técnicas más importantes:

Unidad de proceso: El procesador utilizado es el STM32F407VGT, de la firma STMicroelectronics, basado en un procesador de alto rendimiento ARM® Cortex®-M4 de 32 bits y arquitectura RISC. El dispositivo puede operar hasta una frecuencia de 168 MHz, posee una unidad de punto flotante de simple precisión, un juego completo de instrucciones para el procesamiento digital de señales, dispone de un 1 Mbit de memoria del tipo Flash y 192 Kbit de memoria RAM, además de ofrecer una gran cantidad de periféricos. También implementa un set completo de instrucciones para procesamiento digital de señales (DSP) e incluye una unidad de protección de memoria (MPU), que mejora la seguridad del sistema para ciertas aplicaciones. A partir de este procesador se desarrolla el controlador lógico programable mediante el diseño y agregado de los siguientes elementos de almacenamiento e interfaces.

Memoria de almacenamiento EEPROM (I²C): el mismo está comprendido por un circuito integrado de memoria tipo EEPROM de 64kB de capacidad de almacenamiento. La comunicación con el chip es del tipo I²C.

Memoria de almacenamiento externa (microSD): definido por un puerto de conexión (slot) para una tarjeta de memoria tipo microSD. Esto se logra a través del uso del periférico SDIO del procesador que permite leer y escribir la memoria de forma simple y con una comunicación más veloz que una implementación en base a SPI, con 4-bits de datos o con uno dependiendo de la aplicación.

Salidas digitales a contacto seco: salidas de propósito general a relé, para la activación de actuadores que requieran de señales digitales para su funcionamiento (activación de válvulas discretas, arranque de motores, electroimanes, etc.).

Entradas digitales: una mejora respecto de la primera versión, que establecía la conexión de las entradas del microcontrolador directamente con el entorno. De esta forma, se aísla a los pines del CPU de valores excesivos de tensión por parte de las señales de entrada al sistema.

Salidas moduladas por ancho de pulso (PWM): las mismas pueden utilizarse para el manejo de motores a pasos, como ejemplo.

Interfaz de comunicación serie RS-232: implementado mediante un circuito integrado, encargado de resolver la capa física de la comunicación, sus elementos complementarios y un conector RJ-45.

Interfaz de comunicación serie RS-485: conformado de forma similar a la anterior, pero con un conector del tipo DB9.

Interfaz de comunicación CAN: la misma tiene el fin de dar un medio de expansión para agregar funcionalidades al diseño. Cada nuevo dispositivo que se acople al sistema, utilizará el bus CAN como medio de comunicación con la unidad de procesamiento.

Interfaz de red Ethernet: esta es vital para establecer redes entre diferentes sistemas autónomos. De esta manera, dos unidades de procesamiento pueden intercambiar información entre ellas, a través de una red Ethernet.

Interfaz de Depuración JTAG: conforma una interfaz de cuatro líneas que permite programar y depurar el código escrito para el microcontrolador del CPU desde una PC a través de hardware específico (ST-Link Debugger).

En cuanto al desarrollo del hardware, el diseño del uPLC se planteó dividiendo el sistema en dos bloques fundamentales entre los cuales se reparten los distintos circuitos que componen el dispositivo. Dichos bloques son: Módulo CPU y Módulo I/O. En cuanto al primer módulo, el mismo contiene al microcontrolador que constituye el “cerebro” del PLC ya que se encarga del procesamiento y control de las interfaces de comunicación con el mundo exterior; mientras que en el segundo módulo, se encuentran las entradas/salidas con sus respectivos circuitos de adaptación/acondicionamiento en cuanto a entornos de operación industrial (tensiones de 20V-35V, salidas de contacto seco, entradas optoacopladas, etc). Además, en la placa I/O se encuentra la fuente de alimentación de todo el sistema, de la cual se obtienen las distintas tensiones utilizadas en los circuitos con una corriente máxima de 1A. Por otro lado, la mayoría de los circuitos de comunicaciones CAN/RS232/Ethernet se encuentran en la placa CPU, junto con los módulos de almacenamiento de datos disponibles, es decir una memoria EEPROM I2C de 64K y un slot para memorias micro SD. La vinculación de las placas se realiza mediante conectores IDC dispuestos en los extremos de ambas placas para poder brindar un mayor soporte mecánico y aumentar la robustez del diseño.

El desarrollo completo, desde su planteo original, se acompaña como anexo al presente, según el trabajo preliminar oportunamente presentado en el Congreso de Microelectrónica Aplicada 2015.

5.- EVALUACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO

De todo lo planteado en apartados anteriores surge claramente que los integrantes del grupo asignado al proyecto asumieron su papel en el mismo con responsabilidad y esmero.

Dado que la totalidad de los integrantes del grupo de trabajo están afectados parcialmente a otros proyectos a la par del presente, se considera que los resultados obtenidos superan ampliamente a lo esperado y previsto en el plan de trabajo original.

Como ya ha sido dicho, los Ing. Nahuel Nieva y Alejandro Martínez tuvieron a su cargo la responsabilidad del diseño primario de la electrónica del controlador desarrollado. El Ing. Nicolás Molina Vuistaz, por su parte, fue el encargado de supervisar y coordinar el desarrollo de dichas tareas. El informe de los Ing. Nieva y Martínez se agrega al presente informe como anexo.

La experiencia profesional del Ing. Molina Vuistaz hizo que la dirección del proyecto delegara en él la evaluación de los diseños de los diferentes módulos que componen el PLC, así como le permitió participar en la selección y compra de los componentes.

Por otra parte se debe hacer notar la colaboración del Ing. Agustín Reyes y del Ing. Mario Krajnik, quienes a pesar de no estar asignados al proyecto colaboraron con distintas partes del mismo para poder concretar los objetivos planteados.

6.- PARTICIPACIÓN EN EVENTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS.

Tal como ya se ha mencionado, el grupo de investigación participó, en relación con el presente proyecto, en el VIII Congreso de Microelectrónica Aplicada, llevado a cabo en el mes de octubre de 2017 en la ciudad de Córdoba. El Ing. Nicolás Molina Vuistaz presentó en dicho Congreso una aplicación del sistema controlador lógico programable, bajo el título de “Diseño de un sistema óptico de control para técnicas volumétricas por color”. Este trabajo se asocia con otro proyecto de investigación llevado a cabo dentro del mismo Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad, y se acompaña como anexo al presente informe. El mismo ha sido incluido en el “Libro de Resúmenes” del mencionado Congreso, el que también se acompaña al presente. Lamentablemente, a la fecha de cierre del presente informe, los organizadores del evento no han entregado los correspondientes certificados de asistencia o de autoría de trabajo, como tampoco han procedido a una publicación de los trabajos presentados, lo que se espera ocurra en algún momento del año, anterior a la próxima realización del Congreso.

7.- CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo del proyecto, se ha logrado consolidar un equipo de trabajo que se compenetró plenamente con sus responsabilidades en el mismo. Esto aseguró, sin duda alguna, el éxito del proyecto de investigación encarado, a pesar de algunas dificultades externas al grupo.

En lo que hace a estas dificultades, el desarrollo del proyecto ha mostrado, entre otras cosas, algunas en lo que respecta a los proveedores locales de componentes e insumos con respecto de proveedores extranjeros. En efecto, habiendo desaparecido parcialmente las restricciones de importación existentes hasta el año 2015, se han detectado, a lo largo del desarrollo del proyecto, diferencias notorias de precios, disponibilidades y plazos de entrega entre los proveedores locales y extranjeros de circuitos impresos. Estas diferencias, así como los plazos de provisión hicieron más económicas y eficientes una provisiones de materiales (componentes y circuitos impresos) en el extranjero, con una calidad de producción similar a la que se obtiene localmente, aun teniendo que abonar los derechos de importación establecidos.

Por otra parte, el mercado local sigue muy desprovisto de componentes del tipo de los que se requieren para el desarrollo del controlador, lo que implicó, nuevamente, para lograr un desarrollo tecnológico actualizado, la necesidad de acudir a proveedores extranjeros, en este caso por la falta de competencia local.

De todos modos, estas dificultades no comprometen el futuro del proyecto y del producto a obtener, a menos que cambien radicalmente las actuales condiciones de importación de componentes e insumos electrónicos.

En lo que hace a los resultados del proyecto, se ha logrado el desarrollo de un sistema controlador programable, de bajo costo, de múltiples prestaciones, basado en un microcontrolador de importantes prestaciones, el que podrá ser aplicado a distintas necesidades. La primera experiencia de utilización del mismo en un proyecto particular, ha dado los resultados esperados, por lo que, como resultado de este proyecto, se ha logrado obtener para la Universidad Nacional de La Matanza un producto realizable, que puede ser ofrecido como alternativa a otros productos similares existentes en el mercado, a bajo costo y de mayores prestaciones.

8.- BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA.

- [1] Balcells Sendra, Josep. "Autómatas programables" Marcombo, S. A. 1997
- [2] Lewis, R.W., Antsaklis, P.J., "Programming Industrial Control Systems Using PLC IEC 1131-3 (Iec Control Engineering, No. 59)", Inspec/IEE, 1995.
- [3] Petruzella, F., Programmable Logic Controllers, Second Edition, McGraw-Hill Publishing Co., 1998
- [4] Martinez, V. A. "Potencia Hidráulica controlada por PLC" RA-MA, 2008
- [5] Mengual, Pilar "Step7: Una manera fácil de programar PLC SIEMENS" Marcombo, S. A. 2009
- [6] Alvarez Pulido, Manuel "Controladores Lógicos "Marcombo, S. A., 2004
- [7] Understanding Digital Signal Processing. Richard G. Lyons (Nov 6, 1996), Addison Wesley, ISBN-13: 978-0201634679
- [8] Discrete-Time Signal Processing (3rd Edition). Alan V. Oppenheim (Aug 28, 2009). Addison Wesley Pub. Co. Inc., ISBN-13: 978-0131988422.
- [9] Signal Processing and Linear Systems, B. P. Lathi (Feb 24, 2000) ISBN-13: 978-0195219173, OUP USA.
- [10] The DSP Handbook: Algorithms, Applications and Design Techniques. Andrew Bateman (Oct 26, 2002), Prentice Hall, ISBN-13: 978-0201398519.
- [11] Real-Time Digital Signal Processing from MATLAB® to C with the TMS320C6x DSPs, Second Edition. Thad B. Welch (Dec 22, 2011), CRC Press, ISBN-13: 978-1439883037.
- [12] DSP Filter Cookbook (Electronics Cookbooks). John Lane (Dec 1, 2000), Premier Pr., ISBN-13: 978-0790612041,
- [13] Michel, G., Duncan, F., "Programmable Logic Controllers: Architecture and Application", John Wiley & Sons, 1990.