

# Ambiente de Desarrollo y Puesta en Marcha de Sistemas Basados en Microcontroladores

Fernando G. Tinetti<sup>1</sup>, Ricardo A. López,

Departamento de Informática Sede Trelew, Facultad de Ingeniería - UNPSJB  
Facultad de Informática – UNLP

fernando@info.unlp.edu.ar, lopez.ricardo@gmail.com,

## RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo llevar a cabo una definición y una implementación de referencia (también llamada “*proof of concept*”) de un entorno de desarrollo que involucra múltiples microcontroladores interconectados en red. El sistema debería ser capaz de adquirir y enviar datos/señales desde el exterior (con marcas de tiempo como para establecer un orden), ser controlado desde una PC como en un sistema de tipo SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) y mantener una base de datos accesible al menos para consulta vía un servidor web. En términos generales, este proyecto se orienta a establecer los lineamientos generales para contar con un sistema de desarrollo sobre una red de microcontroladores de bajo costo, documentando y normalizando técnicas y módulos de hardware y software. Además, la implementación de referencia del entorno de desarrollo no solamente se utilizará para verificar la propuesta, sino que también quedará a disposición de cátedras y/o de investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNPSJB, como para el desarrollo de sistemas de control a ser aplicados en producción. Posteriormente, se podrá evaluar la posibilidad de distribuir esta implementación de referencia con licencia de software libre, por ejemplo.

**Palabras Clave:** desarrollo de software en microcontroladores, sistemas de tiempo real, sistemas de control, sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

## 1. INTRODUCCION

Tanto a nivel local como internacional, se reconoce la necesidad de innovación en informática relacionada con software de relativamente bajo nivel y distribuido. Los centros especializados, las universidades de prestigio y las grandes compañías del mercado, poseen los recursos humanos y tecnológicos orientados hacia este esfuerzo para satisfacer las necesidades pendientes según las áreas de aplicación. La evolución y utilización de Internet potencia aún más este concepto al difundir información, documentación y software en distintas tecnologías de la especialidad. No obstante ello, en muchos casos esa información es propietaria o existe dificultad en seleccionarla y tenerla a disposición para su uso. En otros casos, la tecnología es compleja y debe ser *adaptada*, para hacerla más fácilmente entendible y utilizable o implementable para aquel que, aún siendo de la disciplina, no posee un suficiente sustento de conocimientos de hardware.

Además, es importante mencionar que al ser propietarios tanto la información como los entornos de desarrollo disponibles para microcontroladores, de alguna manera se impone un grado importante de restricciones a la hora de la implementación y puesta en producción de sistemas que los

---

<sup>1</sup> Investigador Asistente CICPBA

involucran. La idea en este sentido es establecer un conjunto bien definido y especificado lo más rigurosamente posible de requisitos para desarrollo de/con microcontroladores sin perder de vista las características comunes a todos ellos.

Por otro lado, se intenta disponer de una base a partir de la cual se puedan desarrollar aplicaciones/implementaciones sin ser restringidos por un tipo de microcontroladores en particular. Por el otro, se tiende a disponer un entorno que provea bastante más que los microcontroladores en sí mismos, con abstracciones importantes tanto en el contexto de las aplicaciones de control como en las aplicaciones distribuidas en general. En este sentido, es de fundamental importancia contar con una implementación de referencia que provea un ejemplo *real* (aunque sea en pequeña escala) de la propuesta con todas o la gran mayoría de las características que se definan en general.

También está puesto el énfasis de este proyecto en la procura de la formación de profesionales de “amplio espectro”, esto es, el profesional con amplio rango de conocimientos y técnicas. El mismo concepto es replicable en los docentes de este ámbito de la Universidad. En los últimos tiempos y seguramente impulsados por el mejor acceso a tecnologías de última generación, alumnos y docentes de la Licenciatura en Informática de la UNPSJB están interesados en conformar un grupo que, ahondando en conceptos vistos en asignaturas afines, tuviera un objetivo digno de ser investigado e implementado. Otros alumnos integraron algunos de los conceptos en tesis, en temas como edificios inteligentes o uso de redes inalámbricas, destinando un importante tiempo para su implementación. En este contexto, disponer de un entorno de desarrollo tiende a reducir sus tiempos de aprendizaje y también a reducir la replicación de esfuerzos relacionados con los niveles más bajos de abstracción ligados a los microcontroladores (en aspectos relacionados con la adquisición de datos, por ejemplo), permitiendo a los alumnos concentrarse en conceptos/tareas de mayor valor agregado. La definición y publicación de un prototipo hardware y software con propósitos múltiples, puede aliviar los tiempos necesarios para incluir esta tecnología en un trabajo de Licenciatura, dentro de otros módulos más específicos al objetivo del trabajo involucrado en este proyecto.

## 2. LINEAS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

Inicialmente, se deben **relevar las características de desarrollo actuales con microcontroladores y experimentar y generar experiencia en el desarrollo de sistemas con microcontroladores**. La metodología básica en este sentido es la de revisión bibliográfica y experimentación con las herramientas de desarrollo disponibles (de uso libre) para microcontroladores. La bibliografía a utilizar en este punto es relativamente estándar en el contexto de arquitectura de sistemas de cómputo, en donde se describen las características de los microcontroladores en general con algunos ejemplos de microcontroladores específicos [1] [6] [9]. Además, la gran mayoría de empresas que producen y comercializan microcontroladores proveen mucha de esta información en sus páginas web, dado que es imprescindible para quienes necesiten desarrollar e implementar sistemas basados en microcontroladores pueden hacerlo lo más rápidamente posible. La información estándar en cuanto a bibliografía son las hojas de datos de los microcontroladores (con la descripción y una idea de la programación de los mismos) y ejemplos de aplicaciones completas (también denominados *notas de aplicación*). En lo referente a las herramientas estándares para el desarrollo con microcontroladores que las empresas suelen poner a disposición vía sus páginas web, son entornos de desarrollo *simples*: normalmente ensambladores y/o compiladores más un simulador de una línea (o *familia*) de microcontroladores [12] [13] [5]. Se debe recordar que es importante no solamente la adquisición de conocimiento y generación de experiencia sino también la generación de una estrategia y materiales de trabajo para la formación de recursos humanos, dado que estos materiales pueden ser utilizados en asignaturas de la Licenciatura en Informática de la UNPSJB y en la

formación de nuevos integrantes del grupo de investigación que se puedan incorporar con posterioridad.

Una vez conocidos los microcontroladores y sus entornos de desarrollo, se debería **definir un conjunto de requisitos mínimos de hardware y software para un entorno de desarrollo y puesta de sistemas en los cuales sea necesaria una red de microcontroladores**. Entre las primeras tareas a llevar a cabo es la de analizar detalladamente los sistemas en producción basados en distintos microcontroladores y el estudio de las posibilidades de y/o flexibilidad para el desarrollo de sistemas basados en múltiples microcontroladores. Una de las fuentes de información que se pueden utilizar de manera directa son las propias “notas de aplicación” que las empresas ponen a disposición en sus páginas web, pero esto no debería generar que se pasen por alto las características y las necesidades de los sistemas en producción que se puedan analizar en detalle. Por otro lado, ni las notas de aplicación ni el estudio de los sistemas en producción debería restringir la posibilidad de proponer mejoras y/o innovaciones que se consideren necesarias. En este sentido, tanto la posibilidad de trabajar con instituciones de producción de bienes y/o servicios como la propia experiencia de los integrantes del grupo de investigación son importantes en cuanto al aporte de ideas y conceptos a tener en cuenta en las definiciones y análisis de características. También se debe tener en cuenta la orientación académica del ambiente de desarrollo, para su uso específico en cátedras de la Licenciatura en Informática de la UNPSJB. Los sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) también son una buena fuente de información, aunque usualmente tienen el inconveniente de ser sistemas propietarios y, por lo tanto, no proporcionan muchos de los detalles técnicos necesarios en esta etapa.

Una de las propuestas más importantes del proyecto de investigación es, en realidad, **definir una arquitectura de hardware y software flexible y modular para sistemas que involucren redes de microcontroladores**. De esta forma, sería posible el reemplazo de módulos con el menor costo de adaptación al cambio. A priori, se deben utilizar tanto la metodología *top-down* como la estratificación en capas (*layers* o *tiers*), que puede se ha utilizado extensivamente en el área de protocolos de comunicación y sistemas distribuidos [8] [2] [10] [7] [4]. En este punto no es necesario conocer con precisión los microcontroladores a utilizar ni el hardware de la red de interconexión sino que se deben definir con la mayor precisión posible las características del hardware de cada una de las partes. Es muy probable que el sistema completo involucre varias plataformas de hardware [3] [11], dado que habrá todo un conjunto de microcontroladores en contacto directo con el campo de aplicación (básicamente a través de señales/datos de entrada/salida), por otro lado se debe definir el hardware de la red de interconexión y, tal como en los sistemas SCADA, es muy probable que se incluya al menos una PC para el almacenamiento y manejo de los datos del sistema. Además, es necesario conocer el conjunto de funcionalidades que se debería implementar en cada una de las plataformas de hardware involucradas, es decir las características del software, incluyendo el software asociado a la red de interconexión. Si bien en este punto no se tiene una implementación, es muy importante recordar que lo que se plantea es un ambiente de desarrollo para la implementación de este tipo de sistemas. Es decir que una implementación de referencia proveerá información importante sobre la versatilidad de estas definiciones, pero las definiciones en sí mismas deberían ser suficientemente bien especificadas como para simplificar el desarrollo de sistemas basados en redes de microcontroladores.

Como se comenta antes, si bien la definición del ambiente de desarrollo es muy importante e independiente del hardware y software a utilizar/desarrollar, de todas maneras se considera muy necesario **implementar un prototipo de hardware y software de sistemas que involucren múltiples microcontroladores interconectados en red para propósitos múltiples**. Con este prototipo se tienen al menos dos resultados importantes: a) una implementación del entorno de desarrollo de sistemas con redes de microcontroladores y b) una plataforma lista para ser utilizada

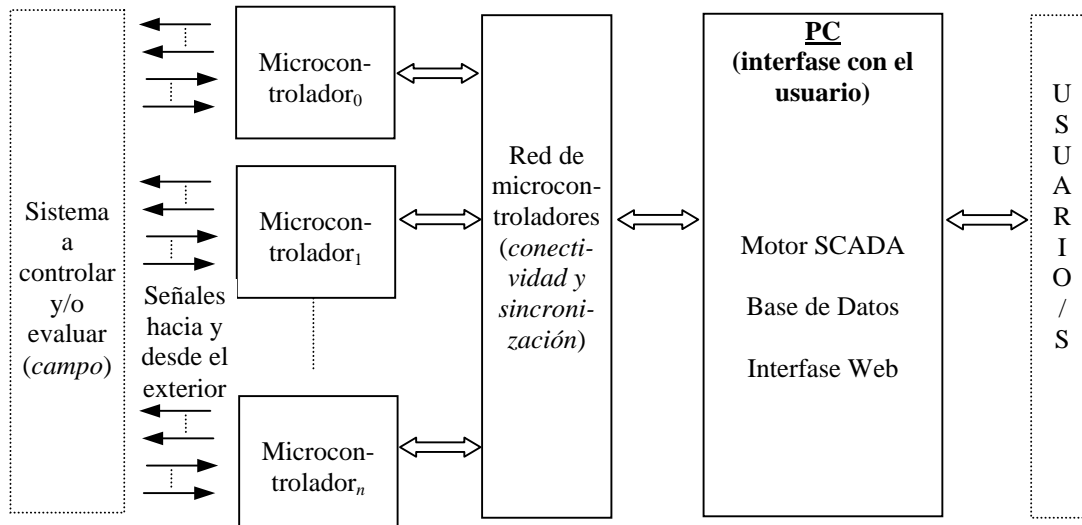
en la investigación y desarrollo dentro de la UNPSJB para, por ejemplo, incorporar temas relacionados en las tesis de la Licenciatura mencionada. Evidentemente también se tiene la posibilidad de experimentar, redefinir, incorporar características/funcionalidades, etc. sobre un sistema real. Aunque la definición del entorno es necesaria para la independencia de, por ejemplo, los microcontroladores específicos a utilizar, también es necesario contar con una herramienta o prototipo real, para comprobar que la definición no sea solamente una propuesta y se pueda llegar a un sistema en producción. En el contexto del software a desarrollar, sería importante analizar la posibilidad y utilidad de generar código con licencia de uso libre, tal como la GNU GPL (General Public License o licencia pública general) [14]. En cuanto al uso del prototipo, será importante la verificación y la caracterización del prototipo con la redefinición de las partes que se consideren necesarias.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

A partir del desarrollo de las líneas de investigación precedentes, se tiende obtener resultados satisfactorios en cuanto a:

1. Experimentación y generación de experiencia con microcontroladores y formas de interconexión de redes de microcontroladores como punto de partida, para después continuar con otras propuestas de mayor porte, teniendo en cuenta la evolución sistemática de estos dispositivos en campos como redes inalámbricas y control.
2. Definición de un conjunto de requisitos mínimos de hardware y software para contar con un entorno de desarrollo y puesta en marcha de sistemas en los cuales sean necesarios un conjunto de microcontroladores interconectados en red. El sistema definido debería tener la capacidad de:
  - Adquisición de datos/señales y envío de señales de control.
  - Generación de secuencia (ordenamiento temporal) de eventos hacia/desde el exterior. Dado que habría varios microcontroladores, éstos deberían estar sincronizados para establecer una secuencia con referencias de tiempo confiables.
  - Interfase con un motor de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA, *Supervisory Control and Data Acquisition*) corriendo en PC.
  - Registro de eventos y datos relevantes en una base de datos corriendo en PC.
  - Acceso a la base de datos del sistema, vía un servidor web.
3. Definición de una arquitectura de hardware y software (para sistemas que involucren múltiples microcontroladores interconectados en red) flexible y modular de forma tal que sea posible el reemplazo de módulos con el menor costo de adaptación al cambio. Una vez definidas las características de los sistemas basados en microcontroladores y en las características de los propios microcontroladores, la idea será definir una arquitectura de hardware del sistema como la que se muestra en la Fig. 1. A priori, el esquema de la arquitectura que se muestra en la Fig. 1 no es más que una idea que debe ser verificada/contrastada con lo que se analice, estudie y defina en los pasos anteriores. Es decir, una vez que los objetivos 1 y 2 ya estén cumplidos, se podrá analizar y evaluar si el esquema de hardware de la Fig. 1 resulta útil o si debe ser modificado por alguna razón específica.
4. Elaboración de un prototipo hardware y software de sistemas que involucren múltiples microcontroladores interconectados en red para propósitos múltiples, preparando así una base para posibilitar la inclusión de la temática en la producción de tesis.
5. Documentación y normalización (siempre que sea posible) de las definiciones y módulos o subsistemas (de hardware y software) incluidos dentro del trabajo efectuado, a efectos de sistematizar la información disponible. Esta información se orienta, en principio, a las cátedras de la Licenciatura en Informática de la UNPSJB donde el tema es de base: Introducción a la Computación y Arquitectura de Sistemas de Cómputo. Estas dos asignaturas tienen ya incluido

en sus programas, un conocimiento relativamente elevado de distintos tipos de hardware. También es posible utilizar esta información dentro de la temática de la asignatura Sistemas Distribuidos ya que, de hecho, se utilizan muchos de los conceptos involucrados.



**Figura 1:** Esquema General para Sistemas Basados en Redes de Microcontroladores.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Cady F. M., Microcontrollers and Microcomputers: Principles of Software and Hardware Engineering, Oxford University Press, 1997, ISBN: 0195110080.
- [2] Comer D. E., Internetworking with TCP/IP, Vol 1, Prentice Hall, 5th Edition, ISBN 0131876716, 2005.
- [3] Coulouris G., Dollimore J., Kinberg T., Sistemas Distribuidos. Conceptos y Diseño, 3ra. edición, Pearson Educación, 2001, ISBN: 84-7829-049-4.
- [4] Kurose J., Ross K., Redes de Computadores: Un enfoque descendente basado en Internet, Pearson Addison Wesley, 2003, ISBN 84782900613
- [5] Microchip Technology Inc., PICMicro – Mid-Range MCU family, Reference Manual, 2002.
- [6] Stallings W., Computer Organization and Architecture, Prentice Hall, 6th edition, ISBN 0130351199, 2002.
- [7] Stallings W., Data and Computer Communications, Prentice Hall, 8th Edition, ISBN 0132433109, 2006.
- [8] Stevens W. R., Fenner B., Rudoff A. M., Stevens R. W., Unix Network Programming, Vol. 1: The Sockets Networking API, Addison-Wesley Professional, 3rd Edition, ISBN 0131411551, 2003.
- [9] Tanenbaum A. S., Structured Computer Organization, 5th Edition, Prentice Hall, ISBN 0131485210, 2005.
- [10] Tanenbaum A. S., Computer Networks, 4th Edition, Prentice Hall Ptr, ISBN 0130661023, 2002.
- [11] Tanenbaum A. S., M. van Steen, Distributed Systems: Principles and Paradigms, Prentice Hall, 2nd Edition, ISBN 0132392275, 2006.
- [12] Microchip Technology Inc., [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [13] Freescale Semiconductor, [www.freescale.com](http://www.freescale.com)
- [14] Free Software Foundation, Inc., GNU General Public License, [www.gnu.org/copyleft/gpl.html](http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html)