

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS
EMBEBIDOS



MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

**Medidor de energía eléctrica industrial
con telemetría**

Autor:
Ing. Hernán Darío Ferreyra

Director:
Esp. Ing. Nicolás Álvarez (FIUBA, UNSAM)

Jurados:
Ing. Juan Manuel Cruz Beaufre (FIUBA, UTN-FRBA)
Dr. Mariano García Inza (FIUBA)
Esp. Ing. Sergio Renato De Jesús Meleán (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, entre agosto
de 2018 y diciembre de 2019.*

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de un prototipo de un medidor digital de potencia eléctrica con telemetría, el desarrollo incluye tanto al diseño de hardware como a su respectivo firmware. El prototipo es capaz de realizar la medición de tensión alterna, corriente alterna y potencia de una máquina o tablero eléctrico, proveyendo los valores medidos mediante diferentes salidas de si mismo. Además el dispositivo es capaz de realizar un corte de energía en caso de alarma por tensión o corriente y de almacenar datos.

Para llevar a cabo el trabajo se utilizaron las técnicas de diseño de hardware aprendido en las materias de diseño en Kicad, también procedimientos y fundamentos para la manufactura de electrónica, conocimientos sobre protocolos de comunicaciones digitales, conocimientos sobre programación y arquitectura de micro-controladores, conocimientos sobre protocolos de comunicaciones, elaboración de informes y gestión de proyectos en ingeniería y sistemas de versionado tanto para el software como para el hardware. Por lo que se puede decir que se usaron casi todos los conocimientos que se dictan en los cursos de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos(CESE).

Agradecimientos

Agradecimientos personales. **[OPCIONAL]**

No olvidarse de agradecer al tutor.

No vale poner anti-agradecimientos (este trabajo fue posible a pesar de...)

Índice general

Resumen	III
1. Introducción General	1
1.1. Descripción general del trabajo y conceptos claves	1
1.1.1. Sistemas electrónicos para mediciones eléctricas	2
1.2. Motivación	2
1.3. Objetivos y alcance	4
1.3.1. Objetivos del desarrollo	4
1.3.2. Alcances	4
Bibliografía	5

Índice de figuras

1.1. Ejemplo de digitalización de una señal.	1
1.2. Medidor electrónico comercial.	2
1.3. Modulo de medición de energía eléctrica con comunicación serie universal.	3
1.4. Gráfico de medición de potencia mostrando el encendido de un frigorífico.	3
1.5. Ejemplo de dispositivo fabricado por la empresa privada.	4

Índice de Tablas

Dedicado a... [OPCIONAL]

1.1.1. Sistemas electrónicos para mediciones eléctricas

Las aplicaciones mas tempranas de computadores digitales a problemas de sistemas de potencia datan alrededor de 1940. La mayoría de las aplicaciones tempranas estaban limitadas en alcance debido a la pequeña capacidad de las tarjetas calculadoras usadas en ese periodo. Computadoras digitales de larga escalas estuvieron disponibles a mediados de 1950, y el éxito inicial de programas de flujo de carga llevaron al desarrollo de programas para cálculos de corto circuitos y estabilidad.[2]

Los medidores electrónicos digitalizan las variables medidas vía un ADC sigma delta de alta resolución. La técnica de diseño de estos medidores digitales es influenciada por tres grandes factores: el costo , eficiencia y tamaño. Mientras que el costo esta influenciado por la capacidad de compra del cliente, la eficiencia y el tamaño deben cumplir estrictamente con los estándares.[3]



FIGURA 1.2: Medidor electrónico comercial.

La exactitud del medidor eléctrico digital depende en la exactitud del circuito analógico de entrada analógica, la exactitud del conversor analógico-digital y la exactitud de los cálculos digitales.[4]

Los convertidores analógicos-digitales basados en la modulación sigma - delta son económicamente viables para convertidores de alta resolución (mayores que 12bits), por lo que son usados en el circuito integrado de procesadores de señales.

La modulación sigma-delta fue introducida en 1962 y no ganaría importancia hasta recientes desarrollos en tecnologías VLSI(integración a escala muy grande) que proveían fines prácticos para implementar complejos circuitos de procesamiento de señales.[5]

1.2. Motivación

En la actualidad se pueden encontrar en el mercado internacional múltiples módulos electrónicos, de bajo costo, con puertos de comunicación para la medición de energía eléctrica como así también medidores digitales de energía de diferentes marcas para diferentes entornos, los que nos permite pensar que un dispositivo similar podría ser fabricado en la Argentina.

Los módulos de medición pueden servir como un monitoreo de primera instancia pudiendo ser un método preventivo de fallas, dado que los parámetros de

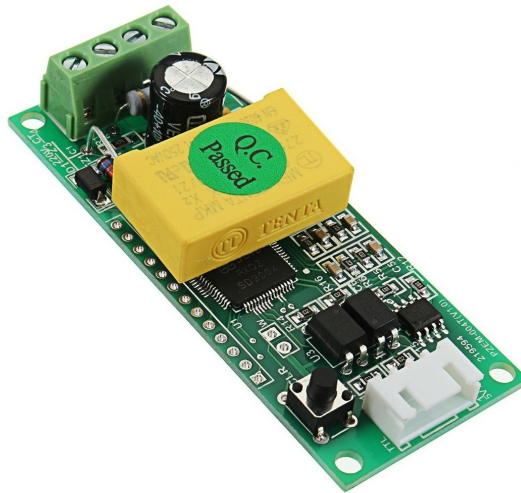


FIGURA 1.3: Módulo de medición de energía eléctrica con comunicación serie universal.

consumo dan una idea de estado de las máquinas. El módulo de la figura 1.3 anterior fue usado en un trabajo de grado para un local comercial cuyo resultados pueden verse en la figura 1.4. Estas gráficas sirvieron para realizar observaciones como el encendido de un motor trifásico y mal-funcionamiento de equipos de refrigeración.

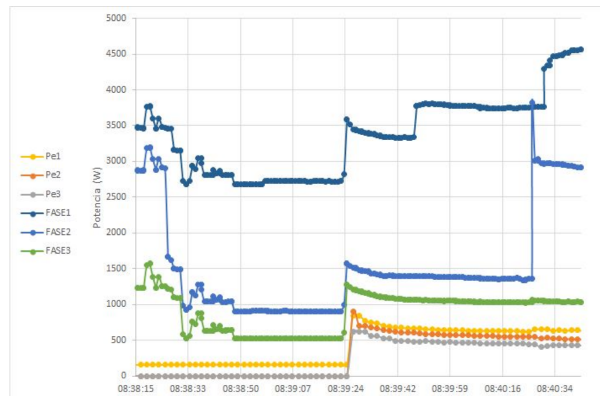


FIGURA 1.4: Gráfico de medición de potencia mostrando el encendido de un frigorífico.

Estos módulos se consiguen en el mercado internacional de modo que hay que importarlos lo que presenta una barrera para una herramienta de monitoreo simple.

Desde el punto de vista de la empresa privada el trabajo se planteó ante la necesidad de cuantificar consumos energéticos de procesos industriales para supervisar la alimentación de equipos de control o de medición. También como una alternativa a un producto anterior que solo medía consumos de corriente continua.

Por lo que la necesidad de hacer uso de la herramienta y la capacidad de realizar la electrónica de manera local fueron los impulsores del trabajo realizado.

1.3. Objetivos y alcance

1.3.1. Objetivos del desarrollo

El objetivo del proyecto es el desarrollo de un dispositivo de medición, basado en un micro-controlador de la familia MSP430 en conjunto con un ADC SOC(system on chip). Se pretende lograr un dispositivo comercial similar a aquellos elaborados anteriormente por la empresa privada, por lo que las dimensiones del PCB (printed circuit board) deberán ajustarse a los utilizados por las carcasas estándar que utiliza la empresa, como puede verse en la figura 1.5.



FIGURA 1.5: Ejemplo de dispositivo fabricado por la empresa privada.

Además se espera que el firmware maneje protocolo modbus y comunique las variables medidas a través de los puertos de comunicación. Físicamente se espera que el dispositivo sea capaz de comunicar por puertos serie RS-232 y RS-485, y ser diseñado pensando en su uso industrial (el dispositivo deberá ser robusto).

1.3.2. Alcances

El trabajo abarca desde el planteo, diseño y fabricación de un pcb, la selección de componentes la elaboración del esquemático de conexiones lógicas, elaboración del pcb y su diseño teniendo en cuenta la fabricación de este hasta inclusive la elaboración de un prototipo y testeo sobre este.

También se espera que se realice un firmware para el funcionamiento del dispositivo, teniendo en cuenta que el software debe incluir métodos de configuración para un futuro usuario.

Bibliografía

- [1] NationalInstrument, *¿Qué es Adquisición de Datos?*, Disponible: 2019-11-04, 2019. dirección: <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>.
- [2] «IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis (Brown Book)», *IEEE Std 399-1997*, págs. 1-488, 1998. DOI: [10.1109/IEEESTD.1998.88568](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1998.88568).
- [3] C. Micheal, O. Ogungbenro y K. Okafor, «Digital Metering System: A Better Alternative for Electromechanical Energy Meter in Nigeria», *International Journal of Academic Research*, vol. 3, págs. 189-192, ene. de 2011.
- [4] J. Hribik, P. Fuchs, M. Hruskovic, R. Michálek, B. Lojko y F. Sut, «Digital Power and Energy Measurement», 2004.
- [5] S. P., *Principles of Sigma Delta Conversion for Analog to Digital Converters*.