

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

<b>Resumen</b>	<b>III</b>
<b>1. Introducción General</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción general del trabajo y conceptos claves . . . . .	1
1.1.1. Sistemas electrónicos para mediciones eléctricas . . . . .	1
1.2. Motivación . . . . .	2
<b>2. Introducción Específica</b>	<b>3</b>
2.1. Estilo y convenciones . . . . .	3
2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones . . . . .	3
2.1.2. Este es el título de una subsección . . . . .	3
2.1.3. Figuras . . . . .	4
2.1.4. Tablas . . . . .	5
2.1.5. Ecuaciones . . . . .	6
<b>Bibliografía</b>	<b>7</b>





# Índice de figuras

1.1. Modulo de medicion de energia electrica con comunicacion serie universal. . . . .	2
2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.	4
2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador <sup>1</sup> . . . . .	4
2.3. El lector no sabe por qué de pronto aparece esta figura. . . . .	5



# Índice de Tablas

2.1. caption corto . . . . .	5
------------------------------	---



***Dedicado a... [OPCIONAL]***



# Capítulo 1

## Introducción General

### 1.1. Descripción general del trabajo y conceptos claves

El trabajo desarrollado consiste en un sistema adquirente de datos con los sensores necesarios para una medición de potencia eléctrica, en otras palabras un medidor digital de energía eléctrica.

Las mediciones eléctricas son los métodos, dispositivos y cálculos usados para medir cantidades eléctricas. La medición de cantidades eléctricas puede hacerse al medir parámetros eléctricos de un sistema. Usando transductores, propiedades físicas como la temperatura, presión, flujo, fuerza, y muchas otras pueden convertirse en señales eléctricas, que pueden ser convenientemente registradas y medidas.

La adquisición de datos o adquisición de señales consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otros dispositivos electrónicos (sistema digital). Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital.[1]

Un convertidor de señal analógica a digital es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica, ya sea de tensión o corriente, en una señal digital mediante un cuantificador y codificándose en muchos casos en un código binario en particular. Donde un código es la representación unívoca de los elementos, en este caso, cada valor numérico binario hace corresponder a un solo valor de tensión o corriente.

#### 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 de las 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]

Hoy en día la computadora digital es una herramienta indispensable en el planeamiento de sistemas de potencia, en el que es necesario predecir el crecimiento futuro y simular operaciones día a día sobre períodos de 20 años o más.[2]

Los medidores electrónicos miden energía usando varios componentes altamente integrados o un circuito integrado específico. Estos dispositivos digitalizan el

voltaje instantáneo y la corriente vía un ADC sigma delta de alta resolución. La técnica de diseño de estos medidores digitales es influenciada por tres grandes factores tales son el costo deseado, eficiencia y tamaño total. 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]

Las mediciones digitales de potencia y energía eléctrica están basadas en el muestreo y digitalización de valores instantáneos de voltaje y corriente en intervalos regulares de tiempo. Tal medición de potencia y energía se encuentra influenciada no solo por las inexactitudes del circuito analógico pero sino también de las inexactitudes del proceso de muestreo en si mismo.

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]

## 1.2. Motivación

En la actualidad se pueden encontrar en el mercado internacional múltiples módulos electrónicos 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.



FIGURA 1.1: Modulo de medicion de energia electrica con comunicacion serie universal.



## Capítulo 2

# Introducción Específica

La idea de esta sección es presentar el tema de modo que cualquier persona que no conoce el tema pueda entender de qué se trata y por qué es importante realizar este trabajo y cuál es su impacto.

### 2.1. Estilo y convenciones

#### 2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones

Si en el texto se hace alusión a diferentes partes del trabajo referirse a ellas como capítulo, sección o subsección según corresponda. Por ejemplo: “En el capítulo 1 se explica tal cosa”, o “En la sección 2.1 se presenta lo que sea”, o “En la subsección 2.1.2 se discute otra cosa”.

Entre párrafos sucesivos dejar un espacio, como el que se observa entre este párrafo y el anterior. Pero las oraciones de un mismo párrafo van en forma consecutiva, como se observa acá. Luego, cuando se quiere poner una lista tabulada se hace así:

- Este es el primer elemento de la lista.
- Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

Si se desea poner una lista numerada el formato es este:

1. Este es el primer elemento de la lista.
2. Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

#### 2.1.2. Este es el título de una subsección

Se recomienda no utilizar **texto en negritas** en ningún párrafo, ni tampoco texto subrayado. En cambio sí se sugiere utilizar *texto en cursiva* donde se considere apropiado.

Se sugiere que la escritura sea impersonal. Por ejemplo, no utilizar “el diseño del firmware lo hice de acuerdo con tal principio”, sino “el firmware fue diseñado utilizando tal principio”. En lo posible hablar en tiempo pasado, ya que la memoria describe un trabajo que ya fue realizado.

Se recomienda no utilizar una sección de glosario sino colocar la descripción de las abreviaturas como parte del mismo cuerpo del texto. Por ejemplo, RTOS (*Real Time Operating System*, Sistema Operativo de Tiempo Real) o en caso de considerarlo apropiado mediante notas a pie de página.

Si se desea indicar alguna página web utilizar el siguiente formato de referencias bibliográficas, dónde las referencias se detallan en la sección de bibliografía de la memoria, utilizado el formato establecido por IEEE en [IEEE:citation]. Por ejemplo, “el presente trabajo se basa en la plataforma EDU-CIAA-NXP, la cual se describe en detalle en [5]”.

### 2.1.3. Figuras

Al insertar figuras en la memoria se deben considerar determinadas pautas. Para empezar, usar siempre tipografía claramente legible. Luego, tener claro que es incorrecto escribir por ejemplo esto: “El diseño elegido es un cuadrado, como se ve en la siguiente figura:”



La forma correcta de utilizar una figura es la siguiente: “Se eligió utilizar un cuadrado azul para el logo, el cual se ilustra en la figura 2.1”.



FIGURA 2.1: Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.

El texto de las figuras debe estar siempre en español, excepto que se decida reproducir una figura original tomada de alguna referencia. En ese caso la referencia de la cual se tomó la figura debe ser indicada en el epígrafe de la figura e incluida como una nota al pie, como se ilustra en la figura 2.2.



FIGURA 2.2: Imagen tomada de la página oficial del procesador<sup>1</sup>.

La figura y el epígrafe deben conformar una unidad cuyo significado principal pueda ser comprendido por el lector sin necesidad de leer el cuerpo central de la memoria. Para eso es necesario que el epígrafe sea todo lo detallado que corresponda y si en la figura se utilizan abreviaturas entonces aclarar su significado en el epígrafe o en la misma figura.

<sup>1</sup><https://goo.gl/images/i7C70w>



FIGURA 2.3: El lector no sabe por qué de pronto aparece esta figura.

Nunca colocar una figura en el documento antes de hacer la primera referencia a ella, como se ilustra con la figura 2.3, porque sino el lector no comprenderá por qué de pronto aparece la figura en el documento, lo que distraerá su atención.

#### 2.1.4. Tablas

Para las tablas utilizar el mismo formato que para las figuras, sólo que el epígrafe se debe colocar arriba de la tabla, como se ilustra en la tabla 2.1. Observar que sólo algunas filas van con líneas visibles y notar el uso de las negritas para los encabezados. La referencia se logra utilizando el comando `\ref{<label>}` donde label debe estar definida dentro del entorno de la tabla.

```
\begin{table}[h]
\centering
\caption[caption corto]{caption largo más descriptivo}
\begin{tabular}{l c c}
\toprule
\textbf{Especie} & & \textbf{Tamaño} & & \textbf{Valor aprox.} \\
\midrule
Amhiprion Ocellaris & 10 cm & & \$ 6.000 \\
Hepatus Blue Tang & 15 cm & & \$ 7.000 \\
Zebrasoma Xanthurus & 12 cm & & \$ 6.800 \\
\bottomrule
\hline
\end{tabular}
\label{tab:peces}
\end{table}
```

TABLA 2.1: caption largo más descriptivo

Especie	Tamaño	Valor aprox.
Amhiprion Ocellaris	10 cm	\$ 6.000
Hepatus Blue Tang	15 cm	\$ 7.000
Zebrasoma Xanthurus	12 cm	\$ 6.800

En cada capítulo se debe reiniciar el número de conteo de las figuras y las tablas, por ejemplo, Fig. 2.1 o Tabla 2.1, pero no se debe reiniciar el conteo en cada sección. Por suerte la plantilla se encarga de esto por nosotros.

### 2.1.5. Ecuaciones

Al insertar ecuaciones en la memoria estas se deben numerar de la siguiente forma:

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2] \right) \quad (2.1)$$

Es importante tener presente que en el caso de las ecuaciones estas pueden ser referidas por su número, como por ejemplo “tal como describe la ecuación 2.1”, pero también es correcto utilizar los dos puntos, como por ejemplo “la expresión matemática que describe este comportamiento es la siguiente:”

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r}) \Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (2.2)$$

Para las ecuaciones se debe utilizar un tamaño de letra equivalente al utilizado para el texto del trabajo, en tipografía cursiva y preferentemente del tipo Times New Roman o similar. El espaciado antes y después de cada ecuación es de aproximadamente el doble que entre párrafos consecutivos del cuerpo principal del texto. Por suerte la plantilla se encarga de esto por nosotros.

Para generar la ecuación 2.1 se utilizó el siguiente código:

```
\begin{equation}
\label{eq:metric}
ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1-k\sigma^2} +
\sigma^2 \left[ d\theta^2 +
\sin^2 \theta d\phi^2 \right] \right)
\end{equation}
```

Y para la ecuación 2.2:

```
\begin{equation}
\label{eq:schrodinger}
\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r}) \Psi =
-i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}
\end{equation}
```

# Bibliografía

- [1] NationalInstrument, «¿Qué es Adquisición de Datos?», 2019, Disponible: 2019-11-04. 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] Proyecto CIAA, *Computadora Industrial Abierta Argentina*, Disponible: 2016-06-25, 2014. dirección: <http://proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/doku.php?id=start>.