

# Sistema de transferencia automática para grupos electrógenos

Turconi, Diego<sup>1,2</sup>; Agüero, Jorge<sup>1</sup>; Campero, Ignacio<sup>1</sup>; Farina, Juan<sup>1</sup>; Lupi, Daniel<sup>2</sup>; Zaradnik, Ignacio<sup>2</sup>  
Cátedra de Proyecto Final<sup>1</sup>, Laboratorio de Inteligencia Ambiental<sup>2</sup>, Departamento de Ingeniería e Investigación Tecnológica  
Universidad Nacional de la Matanza. Buenos Aires, Argentina.

[diego.turconi@gmail.com](mailto:diego.turconi@gmail.com)

**Abstract**—Los avances que se vienen dando en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs), entre las que podemos citar las Redes Eléctricas Inteligentes e Internet de las Cosas (IoT), así como en las energías renovables, como ser la fotovoltaica, la eólica, y la geotérmica, permiten administrar mejor los recursos energéticos, favorecer la protección del medio ambiente y responder a los requerimientos cada vez más exigentes de calidad de servicio y producto. Sin embargo todas estas nuevas tecnologías deben ser, en última instancia, respaldadas por sistemas clásicos como ser un grupo electrógeno, el cual permitiría continuar las actividades socio-productivas.

En el presente trabajo se pretende explicar el desarrollo de un sistema de transferencia automática para grupos electrógenos. Se detalla la selección del hardware, la implementación del firmware asociado, y las pruebas y ensayos.

**Keywords**- Electrificación rural, grupos electrógenos, microcontroladores .

## I. INTRODUCCIÓN

La electrificación rural, muchas veces no rentable para las empresas de distribución de energía eléctrica, posee una gran importancia ya que permite la integración de los sectores rurales al desarrollo económico nacional, frena la migración rural-urbana y mejora el nivel socio cultural de los habitantes entre otras. Es por estos motivos que a nivel país existen políticas de electrificación rural en distintos países de Latinoamérica [1][2]. En particular en Argentina podemos nombrar el proyecto de electrificación rural para el desarrollo pecuario del departamento de 25 de mayo, en la provincia de San Juan [3], el cual está bajo el Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP), dependiente del ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Dentro de estos programas está contemplado el uso de energías renovables, eólica, fotovoltaica, biomasa, etc., ejemplos del uso de energía eólica se pueden ver en el proceso de electrificación del espacio rural del Partido de Tandil, proceso llevado adelante por la Cooperativa Rural Eléctrica de Tandil-Azul Limitada (CRETAL) [4], así como ejemplos de energía fotovoltaica para la agricultura y el desarrollo sostenible se pueden ver en [5].

Toda fuente de energía renovable debe contar con un sistema de almacenamiento de energía, el cual le permita almacenar la energía generada y disponer de ella cuando sea necesaria. En función del dimensionamiento de dicho sistema se podrá contar, por un determinado tiempo, con energía aun cuando las condiciones ambientales no sean las favorables para la generación. Pero como las condiciones ambientales están fuera de nuestro alcance es importante contar con un sistema de respaldo, en este caso un grupo electrógeno.

En muchas aplicaciones productivas, donde el personal no tiene acceso permanente a las instalaciones, y se necesita un suministro de energía constante, es necesario contar con un sistema de transferencia automática. El mismo, permite el constante monitoreo de los parámetros de la fuente de suministro, y se encarga de hacer de forma automática la transferencia de energía a la carga, ya sea de la línea al grupo electrógeno, en caso de corte de luz o disminución de la energía almacenada, o del generador a la línea, en caso contrario.

## II. ESTUDIO DE MERCADO

Luego de realizada una búsqueda de este tipo de sistemas en el mercado, nos encontramos con productos de empresas multinacionales como el Sistema de Control Modular EPIC de Caterpillar [13], los automatismos BA y UA de Schneider Electric [14] y el sistema SENTRON ATC5300 de Siemens [15]. Empresas más pequeñas ofrecen una gran variedad de implementaciones como el sistema AUT-MP12 de la empresa Electra Molins [16] que se basa en un módulo programable con tres microprocesadores, el sistema de transferencia automática con contactores de la empresa Velázquez Ingenieros Asociados LTDA basado en el sistema de transferencia automática ITACMC [17] y el sistema de la empresa Control Para la Industria basado en PLC Omron de la familia CJ1[18]. También se han encontrado gran variedad de trabajos realizados en esta temática [19][20][21], en cuyos casos el sistema implementado se basa en un controlador de lógica programable (PLC).

Los sistemas presentados pueden ser separados en dos grandes grupos: los sistemas dedicados y los sistemas basados en PLC. Los primeros suelen estar pensados para cubrir las demandas estándar de la aplicación, siendo poco flexibles a adaptarse a casos particulares del usuario. Los sistemas basados en PLC, si bien son más flexibles, esta flexibilidad

suele estar asociada a la incorporación de módulos extra, lo que genera un aumento de los costos finales del sistema.

Debido a estos motivos, se planteó el desarrollo de un sistema de transferencia automática para grupos electrógenos de bajo costo y flexible.

### III. DESCRIPCIÓN GENERAL

El trabajo que se presenta es parte de un sistema más complejo que involucra la medición de parámetros de consumo eléctrico, de generación de energías renovables y climáticos, su transmisión a un nodo central, su concentración y posterior transmisión a un servidor para su análisis.

El sistema toma muestras de cada una de las fases (R S y T) tanto de línea como del grupo electrógeno para controlar los valores de tensión y frecuencia con la finalidad de mantener los valores dentro de los parámetros deseados. Si alguno de los valores de la fuente de energía aplicada a la carga no está dentro los parámetros preestablecidos conmuta automáticamente a la otra fuente. Los valores muestreados son a la vez transmitidos a una estación colectora [6] para su retransmisión y análisis. La figura 1 muestra el diagrama en bloques del sistema, mientras que la figura 2 muestra el diagrama de conexión del sistema a la línea eléctrica.

El sistema de transferencia automática cuenta con los siguientes módulos:

- Medidor de parámetros de suministro de línea: con el cual se monitorea la tensión de línea y las corrientes de la carga.
- Medidor de parámetros de suministro de grupo: con el cual se monitorea la tensión de grupo y las corrientes de la carga.
- LCD: es el módulo donde se visualizan los datos.
- Módulo Serie/USB: es el encargado de la comunicación Serie/USB.
- Módulo GSM/GPRS: es el encargado de hacer la comunicación GSM y GPRS con el usuario.
- Relé contactores: es el módulo que hace la habilitación de cada contactor.
- Relé solenoide, arranque, alarma: es el que habilita el paso de combustible, hace el arranque y hace sonar una alarma externa en caso de haber algún error.

#### A. Hardware

Como base de nuestro desarrollo se tomó un microcontrolador basado en el núcleo Cortex-M4 de ARM. El producto seleccionado fue el STM32F407ZET6 de ST [7]. La elección se fundamentó en:

- La disponibilidad de conversores analógicos digitales para la medición de parámetros.

- Gran numero de interfaces seriales (I2C, UART, SPI), que posibilita la comunicación con sensores y distintos módulos OEM.
- Interfaz Ethernet
- Capacidad de procesamiento adecuada para trabajar con una pila TCP/IP.

Otro factor que influyó en la selección de este microcontrolador, es la posibilidad de que el sistema pueda actuar como estación colectora y si bien el desarrollo actual de la estación colectora [6] se basó en el ATSAM3X y se había planteado una evolución natural al ATSAM4E, dicha opción se descartó por la disponibilidad y costo de los microcontroladores y los kits de evaluación en el mercado local. Siendo el STM32F4xx y el ATSAM4E de similar desempeño se consideró adecuado el cambio.

Los bloques medidores de parámetros de suministro de línea y grupo, encargados de monitorizar las tensiones y corrientes de los mismos, están formado por el integrado ATM90E36A [8] de la firma ATMEL. Dichos dispositivos se encuentran en la parte de alta tensión del sistema. Para aislar los mismos del microcontrolador se utilizó los integrados de aislación digital de Silabs, Si8641 [9], que poseen aislación de 5kV y una velocidad de transferencia máxima de 150Mbps. La medición de corriente se realiza a través de un transformador de corrientes, AC1020 de la firma Talema [10].

En la figura 3 se puede ver una parte del circuito impreso del sistema. En el mismo se pueden apreciar tres bloques, dos de ellos correspondientes a la parte de alta tensión, en los cuales se encuentran los ATM90E36A y el tercero al de baja tensión, en el cual se encuentra el microcontrolador. Entre ambos bloques de pueden apreciar la existencia de circuitos integrados, los cuales son los aisladores Si8641.

#### B. Entorno de desarrollo integrado(IDE)

Para la realización del proyecto se utilizo el IDE de IAR Workbench ARM versión 7.3

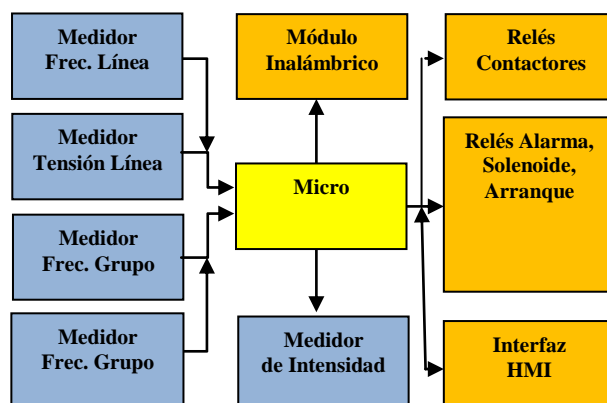


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

#### IV. FIRMWARE

El firmware del microcontrolador del sistema se encuentra estructurado de la siguiente forma: inicialización de periféricos, configuración de los dispositivos de medición (ATM90E36A) y un ciclo infinito en el cual se verifica los valores eléctricos y actúa en función de ellos. La acción a realizar depende del estado del grupo electrógeno (Detenido, Arranque, Marcha), esta se representa en el diagrama de flujo en el bloque “Alarmas”, figura 4. A continuación se presentan los valores medidos en el display de la interfaz hombre máquina (HMI), se verifica la recepción de algún comando de configuración y se envían los datos por el puerto serie para ser presentados en el software de PC.

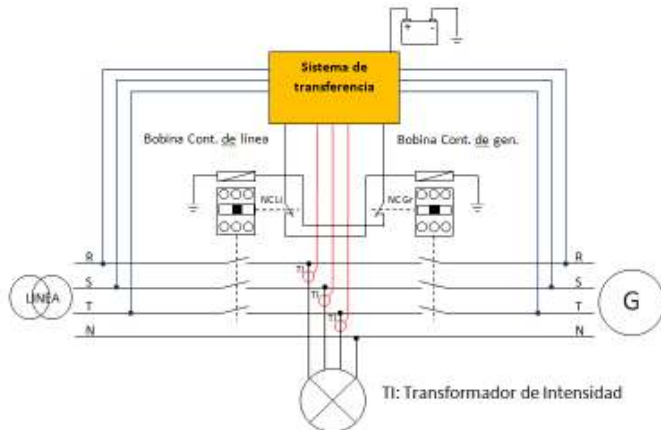


Figura 2. Diagrama de conexión del sistema a la línea eléctrica.

La principal virtud del firmware implementado radica en la rápida y transparente configuración de los parámetros del dispositivo de medición. El ATM90E36A cuenta con más de 100 registros para la lectura de los valores y la configuración de todas las funcionalidades del mismo [8].

La figura 5 presenta una pantalla del software desarrollado, a través de la cual se puede configurar la ganancia y el offset para cada una de las fases y el neutro conectados al ATM90E36A, en este caso particular los asociados a la medición del grupo electrógeno. Una vez configurados los valores y presionado “enviar”, los mismos son almacenados en los registros correspondientes del dispositivo de medición.

A continuación se detalla el código de inicialización de los dispositivos de medición:

#### // Reset chip Generator /Line

```
Atm90e36a_SetDataG(0x0000,0x789A);
Atm90e36a_SetDataL(0x0000,0x789A);
Delay_us(120000);
```

#### // Lee los parametros de los chips medidores

```
Atm90e36a_Read_ParamG();
Atm90e36a_Read_ParamL();
```

#### // Configura los chips medidores

```
Atm90e36a_Conf_updateG();
Atm90e36a_Conf_updateL();
```

#### //Setea los parametros de los chips medidores

#### // Calc Checksum 2

```
Atm90e36a_SetDataG(0x0050,0x5678);
ATM90E36A_GEN.HarmStart=Atm90e36a_GetDataG(0x0050);
ATM90E36A_GEN.CS2=atm90e36a_checksum(&ATM90E36A_GEN.POffsetAF,6);
Atm90e36a_SetDataG(0x0057,ATM90E36A_GEN.CS2);
ATM90E36A_GEN.CS2=Atm90e36a_GetDataG(0x0057);
ATM90E36A_GEN.SysStatus0=Atm90e36a_GetDataG(0x0001);
Atm90e36a_SetDataG(0x0050,0x8765);
```

#### // Calc Checksum 3

```
Atm90e36a_SetDataG(0x0060,0x5678);
ATM90E36A_GEN.AdjStart=Atm90e36a_GetDataG(0x0060);
ATM90E36A_GEN.UgainA=0x8B2F;
Atm90e36a_SetDataG(0x0061,ATM90E36A_GEN.UgainA);
ATM90E36A_GEN.UgainB=0x8B2F;
Atm90e36a_SetDataG(0x0065,ATM90E36A_GEN.UgainB);
ATM90E36A_GEN.UgainC=0x8B2F;
Atm90e36a_SetDataG(0x0069,ATM90E36A_GEN.UgainC);
ATM90E36A_GEN.IgainA=0x1AF5;
Atm90e36a_SetDataG(0x0062,ATM90E36A_GEN.IgainA);
ATM90E36A_GEN.IgainB=0x1AF5;
Atm90e36a_SetDataG(0x0066,ATM90E36A_GEN.IgainB);
ATM90E36A_GEN.IgainC=0x1AF5;
Atm90e36a_SetDataG(0x006A,ATM90E36A_GEN.IgainC);
ATM90E36A_GEN.IgainN=0x1AF5;
Atm90e36a_SetDataG(0x006D,ATM90E36A_GEN.IgainN);
ATM90E36A_GEN.CS3=atm90e36a_checksum(&ATM90E36A_GEN.UgainA,14);
Atm90e36a_SetDataG(0x006F,ATM90E36A_GEN.CS3);
ATM90E36A_GEN.CS3=Atm90e36a_GetDataG(0x006F);
ATM90E36A_GEN.SysStatus0=Atm90e36a_GetDataG(0x0001);
Atm90e36a_SetDataG(0x0060,0x8765);
```

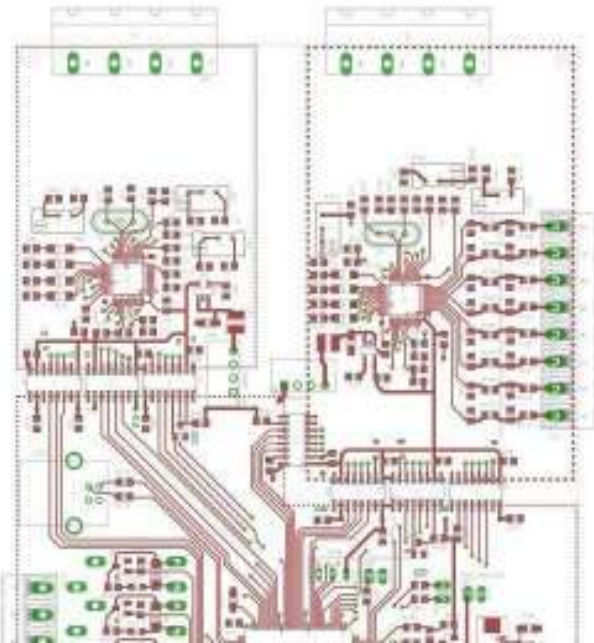


Figura 3. Imagen parcial del circuito impreso.

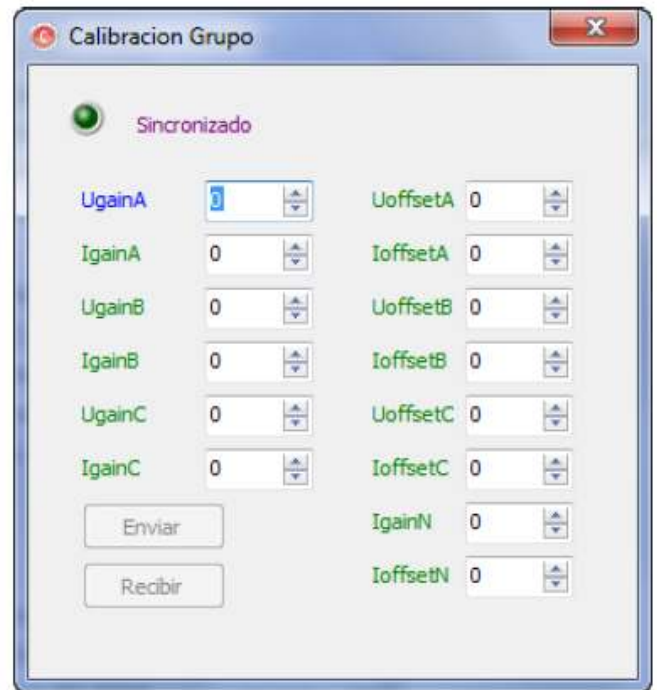


Figura 4. Pantalla de calibración.

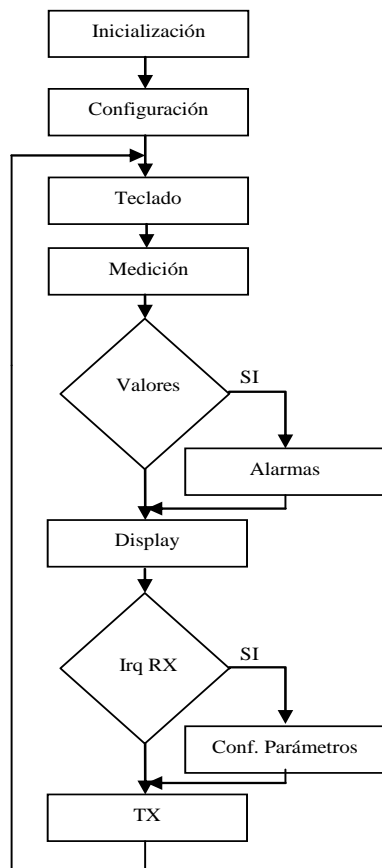


Figura 4. Diagrama de flujo del firmware.

## V. ENSAYOS

Finalizados los chequeos de hardware, firmware y software el sistema debe ser calibrado para la correcta medición de tensiones y corrientes. Esto se puede realizar por medio del software de PC, previamente nombrado, y/o de unos potenciómetros en la placa.

La calibración, tanto para la corriente como para la tensión, se debe realizar de a una línea por vez, es decir que si se quiere calibrar la medición de tensión de la fase A en el grupo se debe cortocircuitar la fase B y C. La misma se debe llevar a cabo inyectando una tensión conocida y comparándola con la medición que entrega el equipo en la pantalla de la PC. Desde la pantalla se puede modificar tanto la ganancia como el offset para lograr que ambas mediciones coincidan en su valor. Si la calibración no se lograra mediante el software de PC, el cual modifica los parámetros de los chips medidores, se puede ajustar la ganancia vía los potenciómetros ubicados en la placa para tal fin.

Se realizaron mediciones de tensión y corriente luego de la calibración de los dispositivos, los valores obtenidos se pueden ver en la tabla N°1.

Para la calibración y las posteriores mediciones se utilizaron la pinza UT208 y el multímetro digital UT71A ambos de la firma UNI-T [11][12].

Se observó que los dispositivos son capaces de medir con muy buena exactitud los valores de entrada y que sobrepasaron las expectativas planteadas en el comienzo del proyecto, ya que no es necesaria tanta exactitud en nuestra



aplicación planteada. La figura 5 muestra una imagen del sistema.

Tabla N°1. Comparación de valores reales y medios.

Tensión Entregada [V]	Tensión Medida [V]
223,67	223,45
219,49	219,32
113,82	113,67
110,49	110,26
Corriente Consumida[A]	Corriente Medida[A]
3,678	3,669
7,902	7,89
10,615	10,601

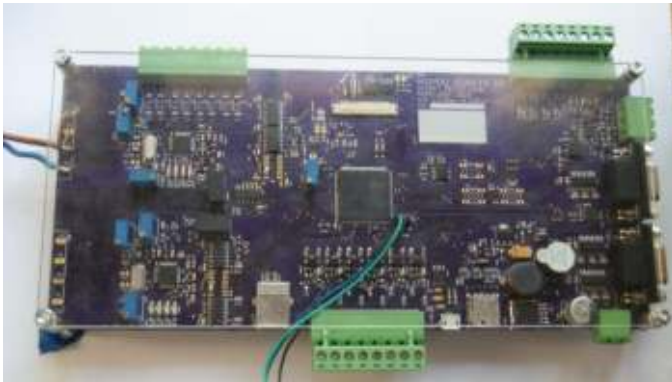


Figura 5. Imagen del sistema.

## VI. CONCLUSIONES

Se ha logrado el desarrollo de un sistema capaz de medir con exactitud los valores eléctricos de la línea y los generados por un grupo electrógeno, y de realizar la conmutación entre ambos sistemas a fin de mantener el suministro de energía sobre la carga.

Para los prototipos desarrollados (dos) se realizó un gasto de aproximadamente U\$S 200 por unidad, costo el cual se estima puede llegar a menos de la mitad en producción. Siendo dicho costo un valor competitivo.

La exactitud de valores medidos se ha logrado gracias a la amigable interfaz de PC, que permite fácilmente configurar los parámetros del dispositivo de medición.

La eficiencia de esta conmutación, es decir la estabilidad de la energía entregada a la carga, el tiempo de respuesta, la suavidad de la transición, no se han llegado a probar, quedando dichos ensayos como uno de los próximos pasos a realizar.

El sistema desarrollado posee un gran número de prestaciones que no se encuentran implementadas, como ser la comunicación Ethernet, la medición de parámetros asociados a la calidad de la señal eléctrica, el uso de un display inteligente como interfaz local. Se tiene como objetivo la pronta implementación de dichas características, lo que permitirá al sistema poder trabajar en redes eléctricas inteligentes.

## REFERENCIAS

- [1] [http://dger.minem.gob.pe/ArchivosDger/PNER\\_2015-2024/F1-PNER-2015-2024.pdf](http://dger.minem.gob.pe/ArchivosDger/PNER_2015-2024/F1-PNER-2015-2024.pdf), última visita 01/05/2015.
- [2] <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/programa-de-electrificaci%C3%B3n-rural-contrato-de-pr%C3%A9stamo-1475oc-ch>, última visita 01/05/2015.
- [3] <http://www.prosap.gov.ar/docs/SJuan-Electrificacion25DeMayo-PAA.pdf>, última visita 01/05/2015.
- [4] Guillermina P. Jacinto, María Luciana Nogar, “Electrificación rural, desarrollo territorial y pequeñas localidades. El caso de Tandil (provincia de Buenos Aires, Argentina)” [http://www.filo.unt.edu.ar/rev/ieg/ieg\\_21/Breves%20201\\_electrificacion\\_jacinto\\_nogar.pdf](http://www.filo.unt.edu.ar/rev/ieg/ieg_21/Breves%20201_electrificacion_jacinto_nogar.pdf), última visita 01/05/2015.
- [5] B. van Campen, D. Guidi y G. Best, “Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles”, Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales, No.3 FAO, Roma, 2000, <http://www.fao.org/uploads/media/Solar%20photovoltaic%20for%20SARD%20ES.pdf>, última visita 01/05/2015.
- [6] Canziani, Mónica; Gomez, Rodrigo; Lupi, Daniel; Nassipián, Verónica; Slawiski Javier; Turconi, Diego; Zaradnik, Ignacio, “Plataforma de conexión de Redes Eléctricas Inteligentes a Internet de las Cosas”, CASE 2014, Agosto 2014.
- [7] ST, “STM32F405xx STM32F407xx, ARM Cortex-M4 32b MCU+FPU, 210DMIPS, up to 1MB Flash/192+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera”, <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037051.pdf>, última visita 01/05/2015.
- [8] ATMEL, “Atmel M90E36A, Enhanced Poly-Phase High-Performance Wide-Span Energy Metering IC”, <http://www.atmel.com/Images/Atmel-46004-SE-M90E36A-Datasheet.pdf>, última visita 01/05/2015.
- [9] Silabs, “Si8640/41/42/45, LOW-POWER QUAD-CHANNEL DIGITAL ISOLATOR”, <https://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si864x.pdf>, última visita 01/05/2015.
- [10] Talema, “AC1020 - 20 Amp Current Transformer” <http://www.nuvotem.com/en/products/pdf/AC-1020%20Jun-06.pdf>, última visita 01/05/2015.
- [11] <http://uni-trend.com/UT208.html>, última visita 01/05/2015.
- [12] <http://uni-trend.com/UT71A.html>, última visita 01/05/2015.
- [13] <http://latinamerica.cat.com/cda/files/2061850/9/LSXE0007-00.pdf>, última visita 01/05/2015.
- [14] <http://www.schneider-electric.cl/documents/local/catalogos/de/cap4.pdf>, última visita 01/05/2015.
- [15] [http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/255/sistema\\_de\\_transferencia\\_automatice](http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/255/sistema_de_transferencia_automatice), última visita 01/05/2015.
- [16] <http://www.electramolins.es/AUT-MP12.aspx?MenuSup=7>, última visita 01/05/2015.
- [17] [http://www.velasquez.com.co/catalogo/transferencia\\_automatice\\_con\\_contactores.pdf](http://www.velasquez.com.co/catalogo/transferencia_automatice_con_contactores.pdf), última visita 01/05/2015.
- [18] <http://cpi.com.ar/soluciones/sistema-de-transferencia-automatice/>, última visita 01/05/2015.
- [19] Montatixe Almachi, Walter Patricio; Pillaño Guano, Aníbal Geovanny “Construcción de un tablero de transferencia automática de energía eléctrica para la central telefónica de Echandía de Andinatel S.A.” <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2082>, última visita 01/05/2015.
- [20] Carabajal Gutierrez José Gualberto, “Control automático de transferencia de energía eléctrica” <http://es.slideshare.net/PedroChavez1/control-automatice-de-transferencia-de-energa-elctrica>, última visita 01/05/2015.
- [21] Hans Eslava Maldonado, Nicolás Franco Franco, “Automatización de una planta de emergencia para cargas no mayores a 10kw”, <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/10105/1/6.pdf>, última visita 01/05/2015.