

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **DISEÑO DE INTERFAZ DE COMUNICACIÓN PARA LA INTERCONEXIÓN DE DISPOSITIVOS DE SUPERVISIÓN DE CARGA ELÉCTRICA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Márquez B., Humberto H.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2013

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DE INTERFAZ DE COMUNICACIÓN PARA LA INTERCONEXIÓN DE DISPOSITIVOS DE SUPERVISIÓN DE CARGA ELÉCTRICA**

Prof. Guía: Ing. Rafael Malpica  
Tutor Industrial: Ing. Rafael Rodríguez

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Márquez B., Humberto H.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2013

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 05 de noviembre de 2013

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Humberto H. Márquez B., titulado:

**“DISEÑO DE INTERFAZ DE COMUNICACIÓN PARA LA  
INTERCONEXIÓN DE DISPOSITIVOS DE SUPERVISIÓN DE CARGA  
ELÉCTRICA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención Industrial, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Servando Álvarez  
Jurado

Prof. Patricia Sánchez  
Jurado

Prof. Rafael Malpica  
Prof. Guía

## **DEDICATORIA**

A Tibusay, Jesús, José y Franceline, mi familia y los que vendrán después.

## **RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS**

A Dios por otorgarme la vida y las facultades necesarias para desempeñar este trabajo.

A mi familia por todo el apoyo prestado hasta ahora para realizar mis estudios hasta este logro alcanzado.

Al Profesor Jesús Graterol por inducirme a una carrera universitaria.

A las Profesoras Grisel González, Norma Guzmán, Marta Zerpa por todo el apoyo prestado y la asesoría brindada en el inicio de los estudios universitarios.

Al Ingeniero Servando Álvarez por la asesoría brindada a lo largo de los estudios universitarios.

Al Ingeniero Rafael Rodríguez y la empresa IAMBOX Telecomunicaciones por otorgarme la oportunidad para realizar este trabajo.

A mis amigos por toda su ayuda y compañía a lo largo de los estudios realizados.

**Márquez B., Humberto H.**

**DISEÑO DE INTERFAZ DE COMUNICACIÓN PARA LA  
INTERCONEXIÓN DE DISPOSITIVOS DE SUPERVISIÓN DE  
CARGA ELÉCTRICA**

**Profesor Guía: Ing. Rafael Malpica. Tutor Industrial: Ing. Rafael Rodríguez.  
Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.  
Ingeniero Electricista. Opción: Industrial. Institución: IAMBOX  
Telecomunicaciones C.A. trabajo de grado. 2013. 92h. + anexos.**

**Palabras Claves:** Stack TCP/IP; Periféricos electrónicos; Potencia eléctrica, Factor de potencia.

**Resumen.** La empresa IAMBOX Telecomunicaciones plantea la actualización del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE, a una versión 2.0; lo que implica el diseño e implementación de un módulo embebido con el stack TCP/IP para la comunicación de este dispositivo; además de la selección de los sensores necesarios para la supervisión de las variables eléctricas de una carga (corriente, voltaje, potencia y factor de potencia). Se seleccionó el integrado ADE7758 y se implementó en un dispositivo auxiliar M2M IAMBOX LCD v13 (Watch BOX), para realizar las mediciones en el sitio; a partir del hardware diseñado se programaron varias rutinas para el procesamiento de las variables medidas (tensión y corriente eléctrica) para así obtener el valor del factor de potencia y la potencia consumida; además se diseñaron algunos protocolos para la configuración y calibración de los dispositivos. Todo esto se realizó con el fin de ofrecer nuevos productos a sus clientes sobre la base de las necesidades de control en el consumo energético en Venezuela.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1. <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.2. <b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.3. <b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
1.4. <b>OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
1.4.1. <b>Objetivo General .....</b>	<b>4</b>
1.4.2. <b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>4</b>
1.5. <b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>5</b>
1.5.1. <b>Estudio y documentación de los elementos comprendidos dentro del proyecto.....</b>	<b>5</b>
1.5.2. <b>Selección de los componentes y procedimientos a ser incorporados a través de este proyecto .....</b>	<b>6</b>

1.5.3.	Diseño e implementación del periférico seleccionado .....	7
1.5.4.	Programación y configuración .....	7
1.5.5.	Pruebas de comunicación .....	8
1.5.6.	Elaboración del informe final.....	9
1.6.	MATERIALES Y EQUIPOS .....	9
1.7.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	9
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>		<b>11</b>
2.1.	USO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VENEZUELA .....	11
2.1.1.	Requerimientos de supervisión y control de carga eléctrica .....	11
2.1.2.	Requisitos en los niveles de tensión eléctrica para el suministro a los usuarios de energía eléctrica .....	11
2.1.3.	Requerimientos en el control del factor de potencia .....	14
2.2.	MEDICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS .....	14
2.2.1.	Sensores de corriente alterna.....	15
2.2.2.	Medición de tensión alterna .....	21
2.3.	DISPOSITIVO M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.....	21
2.3.1.	Versiones previas .....	21
2.3.2.	Etapas de alimentación del dispositivo.....	22
2.3.3.	Módulos de comunicación del dispositivo .....	23
2.3.4.	Unidad de Procesamiento Central PIC32MX795F512L.....	29
2.3.5.	Unidad de Procesamiento Secundaria PIC18F2580 .....	30
2.3.6.	Etapas de monitoreo local.....	31
2.3.7.	Características físicas .....	31
2.4.	PERIFÉRICOS ELECTRÓNICOS (FRONT-END).....	31

2.5.	PROCESAMIENTO DE SEÑALES.....	32
2.5.1.	Algoritmos para medición de potencia y factor de potencia.....	32
2.6.	SISTEMAS OPERATIVOS DE EJECUCIÓN EN TIEMPO REAL .....	36
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>39</b>
3.1.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL DISPOSITIVO M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 .....	39
3.1.1.	Circunstancias condicionantes del diseño .....	39
3.1.2.	Consideraciones de diseño para la selección de los sensores .....	41
3.2.	SELECCIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PERIFÉRICO .....	42
3.2.1.	Resumen del MCP3911[10].....	42
3.2.2.	Resumen del ADE7758 [11].....	47
3.2.3.	Selección realizada.....	55
3.2.4.	Diseño e implementación del periférico seleccionado .....	56
3.3.	SELECCIÓN DE LOS SENSORES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES .....	58
3.3.1.	Selección del sensor de corriente alterna .....	58
3.3.2.	Selección del sensor de tensión alterna .....	60
3.4.	SELECCIÓN DE ALGORITMOS PARA EL PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES ELÉCTRICAS .....	63
3.4.1.	Cálculo del valor eficaz de la corriente .....	63
3.4.2.	Cálculo del valor eficaz de la tensión .....	64
3.4.3.	Cálculo de la potencia activa.....	66
3.4.4.	Cálculo de la potencia reactiva .....	67
3.4.5.	Cálculo de la potencia aparente.....	68

3.4.6.	Cálculo del factor de potencia.....	69
3.5.	PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTINAS PARA LA CALIBRACIÓN Y CONTROL DEL ADE7758 .....	70
3.5.1.	Configuración de registros del ADE7758 .....	70
3.5.2.	Lectura de registros del ADE7758 .....	73
3.5.3.	Calibración indirecta .....	74
3.5.4.	Cálculo del factor de potencia.....	76
3.6.	PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTINAS PARA EL MANEJO DEL MÓDULO EMBEBIDO CON EL STACK TCP/IP 802.11g. 77	
3.6.1.	Descripción del circuito integrado RN-171[16].....	78
3.6.2.	Configuración del funcionamiento del RN-171 .....	79
3.6.3.	Apertura y cierre de la comunicación por medio del protocolo TCP/IP para el estándar 802.11g.....	82
3.7.	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DEL DISPOSITIVO M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 A TRAVÉS MÓDULO EMBEBIDO CON EL STACK TCP/IP 802.11g.....	82
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>87</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>88</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>92</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. TENSIONES DE LOS SISTEMAS .....	12
TABLA 2. LÍMITES PERMISIBLES DE LA TENSIÓN DE SERVICIO EN EL PUNTO DE MEDICIÓN.....	12
TABLA 3. PORCENTAJE DE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE LA TENSIÓN DE SERVICIO .....	13
TABLA 4. PORCENTAJE DE ERROR EN FUNCIÓN DE LA DIMENSIÓN DEL ENTREHIERRO .....	16
TABLA 5. COMPARACIÓN ENTRE SENSORES PARA MEDICIÓN DE CORRIENTE ALTERNA.....	20
TABLA 6. CONFIGURACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES DEL MCP3911.....	45
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE PRECISIÓN EN LA MEDICIÓN DEL MCP3911 .....	47
TABLA 8. CONFIGURACIONES PARA ENTRADA DE CANALES ANALÓGICOS DEL ADE7758.....	51
TABLA 9. VALORES RECOMENDADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MAX682 .....	54
TABLA 10. COMPARACIÓN ENTRE LOS PERIFÉRICOS MCP3911 Y ADE7758 .....	55
TABLA 11. COMPONENTES ELECTRÓNICOS INVOLUCRADOS EN EL DISEÑO DEL ADE7758[13].....	57
TABLA 12. FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS COMPONENTES INCLUIDOS EN EL DISEÑO DEL ADE7758 ..	57
TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR CTSA010.....	59
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR JRF333 .....	60
TABLA 15. NIVELES DE VOLTAJE TRABAJADOS EN EL DISEÑO .....	61
TABLA 16. VALORES TEÓRICOS Y MODIFICADOS DE $R_5$ E $I_{CARGA}$ .....	62
TABLA 17. DIRECCIONAMIENTO DEL ADE7758 .....	72
TABLA 18. CERTIFICACIONES DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN RN-171 .....	82
TABLA 19. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL RN-171 .....	83
TABLA 20. PARÁMETROS DE CONEXIÓN .....	84
TABLA 21. PORCENTAJE DE ERROR DEPENDIENDO DE LA POSICIÓN DEL CONDUCTOR EN LA BOBINA DE ROGOWSKI.....	93
TABLA 22. DIMENSIONES DEL SENSOR CTSA010.....	106
TABLA 23. DIMENSIONES DEL SENSOR JRF333 .....	107
TABLA 24. DESCRIPCIÓN DE LAS FUNCIONES DE LOS PINES DEL MCP3911.....	108
TABLA 25. DESCRIPCIÓN DE LAS FUNCIONES DE LOS PINES DEL ADE7758.....	110
TABLA 26. REGISTROS USADOS EN EL PROYECTO .....	116
TABLA 27. COMANDOS DE CONFIGURACIÓN DEL RN-171.....	118
TABLA 28. COMANDOS PARA INICIAR ACCIONES DEL RN-171 .....	122
TABLA 29. DIAGRAMACIÓN DE LA CONEXIÓN DE LOS PINES DEL M2M IAMBOX LCD v13.....	123

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. VECTORES EN EL EFECTO HALL.....	17
FIGURA 2. ESQUEMÁTICO DE UNA BOBINA DE ROGOWSKI.....	18
FIGURA 3. ESQUEMÁTICO Y FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE UN INTEGRADOR ACTIVO.....	20
FIGURA 4. DIAGRAMA DE TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO EN CAN.....	23
FIGURA 5. DIAGRAMA DEL DISPOSITIVO M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.....	41
FIGURA 6. DIAGRAMA DEL DISPOSITIVO M2M IAMBOX LCD v13 .....	41
FIGURA 7. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MCP3911 .....	44
FIGURA 8. ENCAPSULADOS DEL MCP3911.....	44
FIGURA 9. DIAGRAMA DE BLOQUES MODULADOR DELTA-SIGMA DEL MCP3911 .....	46
FIGURA 10. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL FILTRO DECIMADOR DEL MCP3911 .....	46
FIGURA 11. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ADE7758 .....	49
FIGURA 12. ENCAPSULADO DEL ADE7758.....	50
FIGURA 13. AMPLIFICADOR A LA ENTRADA DEL CANAL DEL ADE7758 .....	50
FIGURA 14. CONFIGURACIÓN DE LA GANANCIA DEL PGA DEL ADE7758 .....	51
FIGURA 15. DIAGRAMA DE BLOQUES MODULADOR DELTA-SIGMA DEL ADE7758.....	52
FIGURA 16. ENCAPSULADO DEL MAX682 .....	54
FIGURA 17. CONFIGURACIÓN TÍPICA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MAX682.....	54
FIGURA 18. DIVISOR DE TENSIÓN A LA ENTRADA DEL CANAL ANALÓGICO DEL ADE7758 .....	62
FIGURA 19. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CONFIGURACIÓN DE LOS REGISTROS DEL ADE7758 .....	73
FIGURA 20. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LECTURA REALIZADA DESDE LOS REGISTROS DEL ADE7758 ..	74
FIGURA 21. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CALIBRACIÓN INDIRECTA .....	76
FIGURA 22. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE POTENCIA .....	77
FIGURA 23. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL RN-171 .....	79
FIGURA 24. ENCAPSULADO DEL RN-171 .....	79
FIGURA 25. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA PARA LA CONFIGURACIÓN DEL RN-171 .....	81
FIGURA 26. POSIBLES POSICIONES DEL CONDUCTOR EN LA BOBINA DE ROGOWSKI.....	93
FIGURA 27. DIAGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL VALOR DE CORRIENTE EFICAZ (RMS) DEL ADE7758 ..	94
FIGURA 28. DIAGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL VALOR DE TENSIÓN EFICAZ (RMS) DEL ADE7758 .....	96
FIGURA 29. CÁLCULO DE POTENCIA ACTIVA EN EL ADE7758.....	98
FIGURA 30. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CÁLCULO DE LA POTENCIA ACTIVA EN EL ADE7758 .....	100
FIGURA 31. CÁLCULO DE POTENCIA ACTIVA EN EL ADE7758.....	101

FIGURA 32. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CÁLCULO DE LA POTENCIA REACTIVA EN EL ADE7758 .....	103
FIGURA 33. CÁLCULO DE LA POTENCIA APARENTE EN EL ADE7758 .....	103
FIGURA 34. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CÁLCULO DE LA POTENCIA APARENTE EN EL ADE7758 .....	105
FIGURA 35. DIMENSIONES DEL SENSOR CTSA010.....	106
FIGURA 36. DIMENSIONES DEL SENSOR JRF333 .....	107
FIGURA 37. ESQUEMÁTICO DEL ADE7758 EN EL M2M IAMBOX LCD .....	113
FIGURA 38. DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA COMUNICACIÓN USANDO INTERFAZ SPI .....	114
FIGURA 39. DIAGRAMA DE TIEMPO DE ESCRITURA SPI EN EL ADE7758 .....	115
FIGURA 40. DIAGRAMA DE TIEMPO DE LECTURA EN EL ADE7758.....	115
FIGURA 41. CONEXIONES DEL DISPOSITIVO M2M IAMBOX LCD v13 .....	123

## **LISTA DE ACRÓNIMOS**

ACK: Acknowledgement /Acuse de Recibo.

ARP: Address Resolution Protocol.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

Bit: Binary Digit.

Byte: Unidad digital de información que comprende 8 bits.

CAN: Controller Area Network.

CE: Conformité Européenne / Conformidad Europea.

CMOS: Complementary metal-oxide-semiconductor.

COVENIN: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection.

DC: Direct Current / Corriente continua.

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol.

DNS: Domain Name System.

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

ESD: Electrostatic Discharge / Descarga Eléctrica.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute.

FCC: Federal Communications Commission.

FEM: Fuerza Electromotriz.

FONDONORMA: Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad.

FTP: File Transfer Protocol.

GPRS: Global Packet Radio Service.

GSM: Global Standard for Mobile.

HPF: High-Pass Filter.

IC: Integrated Circuit / Circuito Integrado.

ICMP: Internet Control Message Protocol.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

LAN: Local Area Network.

LCD: Liquid Crystal Display / Pantalla de Cristal Líquido.

LPF: Low-Pass Filter.

M2M: Machine to Machine.

MAV: Mean Absolute Value.

MCU: Microcontroller Unit.

PC: Personal Computer.

PCB: Printed Circuit Board / Circuito Impreso.

PCMCIA: Personal Computer Memory Card International Association.

PGA: Programmable-Gain Amplifier / Amplificador de ganancia programable.

PSK: Phase Shift Keying / Modulación por Desplazamiento de Fase.

QFN: Quad Flat, No Lead Package.

RMS: Root Mean Square.

RTOS: Real Time Operating System.

RTR: Remote transmission request.

SMS: Short Message Service.

SOF: Start of Frame.

SOIC: Small-Outline Integrated Circuit Package.

SPI: Serial Peripheral Interface.

SSOP: Shrink Small Outline Package.

STP: Shielded Twisted Pair / Par Trenzado Apantallado.

TC: Transformador de Corriente.

TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol.

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

UTP: Unshielded Twisted Pair / Par Trenzado no Apantallado.

WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance (Wi-Fi Alliance).

Wi-Fi: Wireless Fidelity.

WLAN: Wireless Local Area Network.

WPA2: Wi-Fi Protected Access 2 / Acceso Protegido Wi-Fi 2.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado se realiza para la empresa IAMBOX Telecomunicaciones, una firma consultora de ingeniería e investigación de mercados, centrada en el área de comunicación de datos. Proporciona evaluación de tecnologías y mercados, posicionamiento de productos, evaluación financiera y asociación corporativa.

En vista de la necesidad que tiene la empresa IAMBOX Telecomunicaciones de contribuir con sus clientes para el uso eficiente de la energía eléctrica, sentando como base las normativas implementadas en los últimos años por el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica para lo que es el uso y consumo en sus diferentes actividades de la energía eléctrica, se propone una alternativa que permitirá la supervisión constante de una carga eléctrica, a través de las variables con las que se pueden definir las principales características de ella, entre las que encontramos el voltaje de alimentación, la corriente de alimentación, la potencia consumida y el factor de potencia de la carga; a fin de poder saber con exactitud cuál es el requerimiento real de energía eléctrica que debe ser suplida en un instante dado y así conocer si los medios de generación alternativos a la alimentación principal permitirán subsanar en cualquier instante esta necesidad y a qué régimen de trabajo, y si no es así, cómo poder utilizar los recursos con los cuales se cuenta para lograr el mayor aprovechamiento de todos ellos.

Para proporcionar esta alternativa la empresa se valdrá de la utilización del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 que permite la conexión de los sensores de las variables ya mencionadas con un punto de acceso que admite la conexión a internet por medio de los protocolos de comunicación TCP/IP 802.11 g; para brindar a sus clientes la oportunidad de una supervisión remota de las características de la carga eléctrica suplida, ya que al utilizar este medio de comunicación se podrá suministra

un almacenamiento en servidores externos de los datos adquiridos, garantizando así una mejor calidad para el almacenamiento de la información y acceso más fácil a ella.

Para lograr este propósito planteado se diseñara un stack de comunicación TCP/IP 802.11g que permitirá al M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 el manejo de los protocolos de comunicación mencionados.

# **CAPÍTULO I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa IAMBOX al conocer la necesidad que se tiene de poder manejar datos en manera remota para realizar automatizaciones (y en otras aplicaciones inclusive), además de la gran importancia que tiene el manejo y almacenamiento de datos adquiridos, se ha propuesto diseñar un stack que permita la conectividad a través de protocolos TCP/IP incluyendo hardware previamente utilizado, y su inherente actualización; por medio del dispositivo conocido como M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 para adquirir datos de sensores que supervisan variables que permiten caracterizar una carga eléctrica como lo son el voltaje de alimentación, la corriente de alimentación, la potencia consumida y el factor de potencia de la carga.

## **1.2.JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad el uso de servidores que permiten generación de bases de datos en internet o el acceso a la información desde cualquier punto, nos conduce al uso de los protocolos TCP/IP 802.11g para transmitir datos remotamente que posteriormente puedan ser almacenados y utilizados, por lo que el diseño de un stack que permita la adquisición y transmisión de datos para la supervisión de cargas eléctricas abre la opción para que en el futuro se puedan diseñar otros sistemas que permitan controlar y suministrar de manera eficiente la energía eléctrica para evitar sobredimensionamientos o subdimensionamientos en los mismos.

### **1.3.ANTECEDENTES**

En la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela, no se ha encontrado existencia de desarrollos previos, que manejen un stack de comunicaciones con los protocolos TCP/IP 802.11g para adquisición de datos.

### **1.4.OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar una interfaz de comunicación para la interconexión de dispositivos de supervisión de carga eléctrica, por medio de monitoreo remoto de variables que la definen.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

1.4.2.1.Determinar los sensores de medición a ser utilizados para el monitoreo y medición de las variables que se utilizan para caracterizar una carga eléctrica (voltaje de alimentación, corriente de alimentación, potencia consumida y factor de potencia).

1.4.2.2.Seleccionar los algoritmos de procesamiento de señales para las variables a medir que caracterizan una carga eléctrica (voltaje de alimentación, corriente de alimentación, potencia consumida y factor de potencia).

1.4.2.3.Diseñar e implementar el periférico (Front-end) para la adquisición de datos de las variables a medir que caracterizan una carga eléctrica (voltaje de alimentación, corriente de alimentación, potencia consumida y factor de potencia).

1.4.2.4.Programar el stack TCP/IP 802.11g para el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.

- 1.4.2.5. Diseñar rutinas para el RTOS (Real Time Operating System) del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.
- 1.4.2.6. Diseñar los protocolos de calibración y pruebas para la comunicación de salida en protocolos TCP/IP 802.11g del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.
- 1.4.2.7. Realizar pruebas de comunicación del stack TCP/IP 802.11g para el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.
- 1.4.2.8. Redactar la documentación informativa y manual de instructivo para el manejo del stack TCP/IP 802.11g para el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.

## **1.5.METODOLOGÍA**

### **1.5.1. Estudio y documentación de los elementos comprendidos dentro del proyecto**

Se realizará una recopilación de información y documentación técnica acerca de:

- Estructura de los protocolos TCP/IP 802.11g.
- Dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.
- Sensores de medición y adquisición de datos para las variables que permiten la caracterización de una carga eléctrica (voltaje de alimentación, corriente de alimentación, potencia consumida y factor de potencia).
- Algoritmos para el procesamiento de señales que permiten generar el valor de las variables que caracterizan una carga eléctrica.

Toda esta documentación se realizará con una computadora conectada a Internet, y documentación disponible en la sede de la empresa.

Sobre la base del estudio realizado con los sensores de medición tomando en cuenta los grados de protección intrínseca, la precisión de la medición, tipo de comunicación y costo se seleccionaran los que serán utilizados.

### **1.5.2. Selección de los componentes y procedimientos a ser incorporados a través de este proyecto**

En esta etapa se realizará la selección de todos los elementos necesarios para disponer y adicionar a la estructura existente del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0, considerando las aplicaciones adicionales que se requieren para el funcionamiento del dispositivo las cuales abarca el alcance de este proyecto; entre los elementos se encuentran:

- Los sensores a ser utilizados para la adquisición de datos que permitan la caracterización de una carga eléctrica, tomando en cuenta las necesidades de la empresa (disponibilidad y capacidad) y la información documentada en la etapa anterior de este proyecto.
- El periférico (Front-end) para la transducción de los datos obtenidos a través de los sensores seleccionados previamente, tomando en cuenta la comunicación electrónica interna del periférico, el resto de los circuitos integrados (CI) que componen el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0, además de su consumo de energía, tipo de encapsulado y capacidad de resolución para los datos procesados desde la carga eléctrica, sin olvidar la frecuencia de trabajo y velocidad de procesamiento del mismo.
- Los algoritmos de procesamiento de señales necesarios, considerando los elementos ya seleccionados hasta el momento; para determinar cuáles será necesario aplicar de los estudiados hasta entonces en etapas anteriores de este proyecto, sin pasar por alto la exactitud

obtenida de los sensores y las operaciones realizadas sobre las señales medidas.

### **1.5.3. Diseño e implementación del periférico seleccionado**

Partiendo del periférico (Front-end) y los sensores seleccionados en la etapa previa, se procederá a realizar el diseño requerido por la empresa al:

- Determinar los componentes electrónicos necesarios para el correcto funcionamiento del periférico seleccionado.
- Realizar las conexiones necesarias para obtener la información de la carga eléctrica a través de los sensores seleccionados en etapas previas, a fin de evitar la distorsión de la información obtenida a causa de ruido y lograr una correcta comunicación con el resto de los circuitos integrados (CI) que componen el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.
- Disponer los componentes electrónicos para lograr su correcto funcionamiento en conjunción con el periférico seleccionado, para así lograr la construcción de un esquemático electrónico que se acople a la totalidad de los circuitos integrados y permita la unión entre el esquemático existente, para la totalidad del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0, y los nuevos elementos agregados al realizar este proyecto.

### **1.5.4. Programación y configuración**

Con la totalidad del esquemático electrónico que compone el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 ya terminado se procederá a realizar la programación de:

- Las rutinas necesarias para permitir la correcta inicialización y operación del periférico seleccionado para este dispositivo, sin

perturbar el correcto funcionamiento de los módulos que ya componían al dispositivo antes de la realización de este proyecto.

- Las rutinas que permitan la operación de los algoritmos no contemplados en el periférico seleccionado, para lograr así la obtención de todas las variables que definen una carga eléctrica, ya sea por medición directa o por el cálculo a partir de los valores obtenidos en las mediciones realizadas.

Luego de realizar la programación referente al funcionamiento de la etapa de medición y procesamiento de señales eléctricas, se procederá a programar la etapa que está relacionada con el manejo del stack TCP/IP para controlar la comunicación con base a los protocolos de comunicación 802.11g, para lo que se realizará la programación de:

- Las rutinas necesarias para permitir la correcta inicialización y operación del módulo que tiene embebido el stack de comunicaciones TCP/IP.
- Las instrucciones que permiten el manejo del módulo que tiene embebido el stack de comunicaciones TCP/IP, manteniendo la estructura de versiones anteriores las cuales manejaban una comunicación vía Ethernet.

#### **1.5.5. Pruebas de comunicación**

Con la programación realizada para el manejo del módulo embebido con el stack de comunicación TCP/IP se procederá a realizar las pruebas de comunicación considerando lo siguiente:

- Configuración de dirección IP y puerto remoto utilizado.
- Velocidad de transmisión.
- Rango de recepción del dispositivo.

- Integridad de los paquetes enviados.

### **1.5.6. Elaboración del informe final**

Esta es la última fase del proyecto. En ella se elaborarán la documentación y material de inducción para el manejo de las funciones de comunicación del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0, que permitan su configuración, puesta en marcha y obtención de la información procesada por los nuevos elementos integrados a este dispositivo por el alcance de este proyecto.

## **1.6.MATERIALES Y EQUIPOS**

Este proyecto será realizado en las instalaciones de la empresa IAMBOX Telecomunicaciones. La misma es responsable de suministrar el espacio físico, el material, los equipos y el asesoramiento necesario para el desarrollo de este proyecto. Entre los equipos facilitados se encuentran:

- Un computador personal, con acceso a Internet.
- Dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.
- Punto de acceso TCP/IP 802.11g.
- Sensores de medición variables de una carga eléctrica (voltaje de alimentación, corriente de alimentación, potencia consumida y factor de potencia).

## **1.7.ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El proyecto será desarrollado en las instalaciones de la sede de Caracas de la empresa, la cual cuenta con los equipos, las conexiones y herramientas tecnológicas necesarias para el desarrollo cabal y cumplimiento de los objetivos planteados en el presente proyecto. El desarrollo de este proyecto no implica para la empresa

inversiones mayores en equipos o infraestructura nueva ya que una de las finalidades de esta implementación es aprovechar los equipos y recursos existentes para disminuir sus costos operativos. Y por lo anteriormente justificado su realización es totalmente factible en el tiempo estipulado al contar con el equipo, asesoramiento, apoyo y disponibilidad de todas las sedes de la empresa para el desarrollo de dicho proyecto.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. USO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VENEZUELA**

#### **2.1.1. Requerimientos de supervisión y control de carga eléctrica**

En la actualidad, a nivel nacional e internacional, se han implantado variadas normativas y leyes por parte de los diferentes estados además de los entes expertos en este ámbito (suministro y distribución de energía eléctrica) que le requieren a los suscriptores el control de las características de las cargas que conectan al sistema de distribución, como por ejemplo el factor de potencia; adicionalmente para los usuarios también es necesario supervisar las condiciones en que es recibida la energía en sus sistemas, en concordancia con las normativas y leyes, para evitar daños en los equipos conectados al sistema. Atendiendo a esta necesidad se mencionan las reglamentaciones que deben ser cumplidas en los ámbitos en los cuales tiene alcance este trabajo (tensión de alimentación, corriente consumida, potencia consumida y suministrada, y el factor de potencia de la carga) tanto por los usuarios como por las empresas de suministro eléctrico en Venezuela.

#### **2.1.2. Requisitos en los niveles de tensión eléctrica para el suministro a los usuarios de energía eléctrica**

Por lo que expresa la norma venezolana COVENIN 159:1997, en el numeral 3.1 se establece que la tensión nominal es el valor asignado al circuito o sistema de su clase de tensión. La tensión real a la que funciona el circuito, varía dentro de una banda que permita un funcionamiento satisfactorio para el equipo y según el numeral 3.8 se define una zona A como la gama de tensiones comprendidas entre los límites establecidos para el punto de medición de energía suministrada por las empresas de servicio eléctrico en condiciones normales de funcionamiento, sujetas a estas definiciones sobre la base de la información suministrada por esta norma, con las

definiciones consideradas anteriormente. En la Tabla 1 de esta norma se pueden observar los niveles de tensión suministrados para los diferentes usuarios. [1]

**Tabla 1. Tensiones de los sistemas**

Sistema		Tensión nominal	Campo de aplicación Recomendado
Fases	N° de hilos	(V)	
Monofásico	2	120	Residencial
	3	120/240	Residencial, pequeño comercio y alumbrado público
	3	240/480	Alumbrado público y campos deportivos
Trifásico	4	208Y/120	Residencial, comercial, edificaciones públicas y pequeñas industrias
	3	240Δ	Uso restringido
	4	480Y/277	Comercial, edificios públicos e industrial
	3	480Δ	Industrial
	3	600Δ	Industrial

Notas:

Los usuarios deben establecer contacto con la empresa de servicio correspondiente, a fin de conocer la tensión nominal que puede ser suministrada en la zona de utilización del equipo.

Ciertos equipos de control y protección tendrán disponible un límite de tensión máxima de 600 V. El fabricante, el suministro de energía o ambos deben consultarse para asegurar una adecuada aplicación.

De lo presentado en la Tabla 1 se deben considerar las tensiones que deben ser utilizadas por los usuarios a quienes alcanza este proyecto; y en la Tabla 2 de esta misma norma se pueden extraer las tolerancias permitidas en las variaciones de la tensión de alimentación de la empresa de suministro, tal como se muestra a continuación:

**Tabla 2. Límites permisibles de la tensión de servicio en el punto de medición**

Tensión nominal (V)	Zona A		Zona B	
	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)
120	114	126	110	127
240Δ	228Δ	252Δ	220Δ	254Δ

Tensión nominal (V)	Zona A		Zona B	
	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)
120/240	114/228	126/252	110/220	127/254
240/480	228/456	252/504	220/440	245/508
208Y/120	197Y/114	218Y/126	191Y/110	220Y/127
480Y/277	456Y/263	504Y/291	440Y/254	507Y/293
480Δ	456	504	440	508
600Δ	570	630	550	635

Y con los valores de tensión mostrados en la Tabla 2, los cuales indican los valores nominales de suministro en Venezuela; se observa la tolerancia máxima permitida en las zonas A, y con estos valores y las fórmulas presentadas a continuación se genera la Tabla 3:

$$\Delta V \% = \left| 1 - \frac{V_{\text{mínimo}}}{V_{\text{nominal}}} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

$$\Delta V \% = \left| 1 - \frac{V_{\text{máximo}}}{V_{\text{nominal}}} \right| \cdot 100 \quad (2)$$

Esta última tabla muestra en porcentaje las tolerancias permitidas en los niveles de tensión contemplados en la norma COVENIN 159:1997, en la que se podrá ver que la variación de tensión en un estado normal de funcionamiento debe ser de un 5% con respecto al valor de tensión nominal de alimentación que proporciona la empresa de suministro.

**Tabla 3. Porcentaje de los Límites permisibles de la tensión de servicio**

Tensión nominal (V)	Zona A		Tolerancia Permitida	
	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)	ΔV%+	ΔV%-
120	114	126	5,00%	5,00%
240Δ	228Δ	252Δ	5,00%	5,00%
208Y	197Y	218Y	5,29%	4,81%

Tensión nominal (V)	Zona A		Tolerancia Permitida	
	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)	$\Delta V\%+$	$\Delta V\%-$
277	263	291	5,05%	5,05%
480 $\Delta$	456 $\Delta$	504 $\Delta$	5,00%	5,00%
600 $\Delta$	570 $\Delta$	630 $\Delta$	5,00%	5,00%

### 2.1.3. Requerimientos en el control del factor de potencia

Tomando como premisa el Reglamento de la Ley de Servicio Eléctrico en su artículo 57, se establece que “El usuario deberá mantener un factor de potencia no menor de noventa por ciento (90%), en condiciones normales de operación de sus instalaciones. Si este fuere inferior el Usuario deberá instalar el equipo con las características sugeridas por la Distribuidora; de lo contrario el servicio podrá ser suspendido,...”, lo que nos deja entrever que es una necesidad para el usuario mantener el factor de potencia en los límites establecidos para evitar posteriores sanciones o suspensión del servicio de distribución de energía eléctrica. [2]

## 2.2. MEDICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS

El uso de la energía eléctrica para tareas cotidianas en la sociedad moderna hace necesaria la supervisión del estado de su suministro y transmisión. Cabe destacar que desde el siglo pasado se vienen desarrollando métodos y dispositivos de medición basados en los estudios electromagnéticos de los siglos XVII y XVIII, lo que derivó en métodos como el de bobina de D'Arsonval, que permite transformar energía electromagnética en energía mecánica. Sin embargo, en las últimas décadas han sido desarrollados nuevos métodos de medición que permiten el manejo de señales analógicas a partir de dispositivos electrónicos (como las medidas de tensión y corriente eléctrica), lo cual hace posible su posterior transducción a señales digitales para su manipulación a través de algoritmos que conducen a la determinación más

exacta de los valores de tensión y corriente. Ahora bien, para poder llegar a una medida certera es necesario contar con los sensores correctos para realizar las medidas correspondientes. A continuación se presentan los sensores y formas convencionalmente usadas para la medición de variables eléctricas:

### **2.2.1. Sensores de corriente alterna**

#### **Shunt de corriente de baja resistencia**

Es la solución de más bajo costo actualmente disponible y ofrece una lectura sencilla con excelente precisión. Un modelo de este aparato es una resistencia. Cuando se estén practicando mediciones de corriente de alta precisión, se debe tener en cuenta la inductancia parásita del shunt y aunque ésta afecta la magnitud de la impedancia a frecuencias relativamente altas, su efecto sobre la fase a las frecuencias de la línea es suficiente para causar un error notable a bajo factor de potencia. Un desfase de  $0.1^\circ$  llevará a un error de aproximadamente 0.3% a un factor de potencia de 0.5. [3]

En general, se debe buscar que el valor de la resistencia sea muy bajo para evitar que la potencia activa disipada en la misma sea lo bastante grande para causar una disminución apreciable en el resto de la red, pero a su vez debe ser lo suficientemente grande para permitir que la caída de tensión sea de una magnitud apta para generar un espacio muestral suficientemente amplio para tener la precisión necesaria para realizar las mediciones pertinentes al caso de estudio que se presente.[4]

Por lo mencionado anteriormente vemos que a medida que la magnitud de la corriente a medir aumenta también aumentará la potencia consumida por esta resistencia, debido a que la potencia aumenta con el cuadrado de la corriente, por lo que en presencia de corrientes de alta magnitud (mayores a las decenas de amperes) se hace imposible el uso de este tipo de sensor por los altos consumos de potencia.

## Transformador de corriente

El transformador de corriente (TC) usa el principio de un transformador para convertir la alta corriente primaria a una corriente secundaria más pequeña. El TC es común entre los medidores de energía de estado sólido de alta corriente. Es un aparato pasivo que no necesita circuitos adicionales de control. Además, el TC puede medir corrientes muy altas y consumir poca potencia. Sin embargo, el material férreo usado en el núcleo se puede saturar cuando la corriente primaria es muy alta o cuando hay un componente importante de DC en la corriente. Una vez magnetizado, el núcleo contendrá histéresis y su precisión se degradará a menos que éste se desmagnetice de nuevo. [3]

Se puede acoplar el transformador alrededor del cable conductor de corriente y reducir al mínimo las interferencias del dispositivo de medición, ya que no es requerida una conexión eléctrica con el circuito que está siendo supervisado, lo que a su vez proporciona aislamiento galvánico al dispositivo de medición. Una ventaja adicional es que estos dispositivos ofrecen una medición para una amplia gama de frecuencias que pueden llegar a ser del orden de los Gigahertz. [5]

Otra consideración adicional de los TC a tener en cuenta se deriva de la construcción de algunos de ellos que son fabricados con un núcleo dividido, lo cual es requerido en ocasiones para poder acoplarlo al circuito; y por ello el error relativo aumenta debido al entrehierro que se genera. En la Tabla 4 se presenta el error relativo respecto a la longitud del mismo en milímetros.[6]

**Tabla 4. Porcentaje de error en función de la dimensión del entrehierro**

<b>Dimensión del Entrehierro (mm)</b>	<b>Error%</b>
0	1.35%
0.04	6.10%
0.08	12.9%

## Sensor efecto Hall

El funcionamiento de estos sensores se basa en “el efecto Hall”, el cual está presente en todos los materiales conductores y se produce cuando las ondas portadoras de carga que atraviesan el material se desvían por el campo magnético aplicado. Se produce una diferencia de potencial que se puede medir y que es perpendicular tanto a la dirección de la corriente como al campo magnético; se origina un campo eléctrico transversal en el que las cargas se acumulan en los bordes transversales hasta que el campo eléctrico creado es lo suficientemente potente como para permitir que las cargas restantes continúen sin desviarse. Este equilibrio se ocasiona cuando la intensidad del campo eléctrico  $E$  es igual al producto de la intensidad del campo magnético  $B$  por la velocidad de desplazamiento de la onda portadora de carga  $v$ .

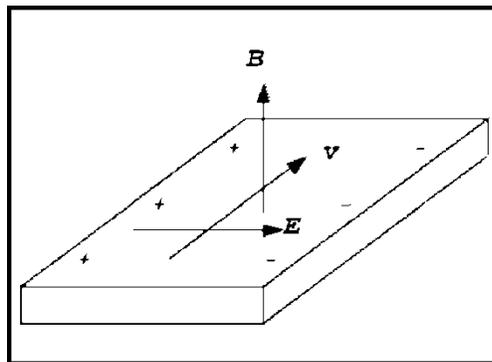


Figura 1. Vectores en el efecto Hall

La magnitud de la tensión Hall varía según los materiales. Para una sonda de efecto Hall, se escoge un material que permita optimizar el voltaje Hall. [5]

Existen dos tipos principales de sensores de Efecto Hall: anillo abierto (open-loop) y anillo cerrado (closed-loop). El segundo ofrece mejor precisión y rangos dinámicos más amplios pero a un costo mayor, y la mayoría de los sensores de Efecto Hall que se encuentran en medidores de energía usan el diseño anillo abierto para lograr costos más bajos. El sensor de Efecto Hall tiene una excelente respuesta a la frecuencia y está capacitado para medir corrientes muy altas. Sin embargo, las

desventajas incluyen un resultado con alta deriva por temperatura y la necesidad de circuitos externos de control. Estos, adicionados al relativo alto costo, hacen de los sensores de Efecto Hall algo raro comparados con los TC. [3]

### Bobina de Rogowski

Este sensor de corriente está constituido por un inductor con núcleo de aire de tipo toroidal, cuya salida de tensión es proporcional a la derivada de la corriente a medir. A continuación se presenta un modelo sencillo de este inductor (Figura 2). [7]

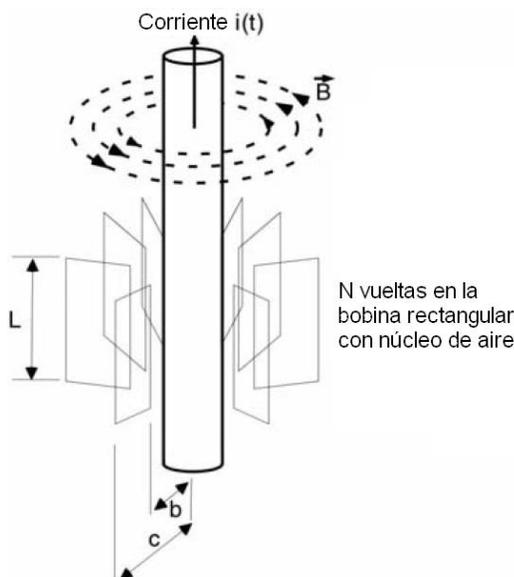


Figura 2. Esquemático de una bobina de Rogowski

Si una corriente  $i(t)$  pasa a través de un largo conductor en el eje  $z$ , el campo magnético en un punto aleatorio  $p$  que tiene las coordenadas  $(\rho, \phi, z)$  en coordenadas cilíndricas es:

$$\vec{B} = \frac{\mu}{2\pi} \times \frac{i(t)}{\rho} \cdot \vec{\Phi} \quad (3)$$

La fuerza electromotriz (Fem) generada por el campo magnético en cualquier área en el espacio puede ser calculada usando la ecuación de Maxwell:

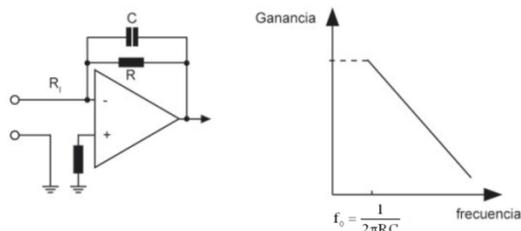
$$Fem = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S} \quad (4)$$

Asumiendo que hay N vueltas en la bobina rectangular con núcleo de aire dispuestas en sentido perpendicular al campo magnético (como en la Figura 2), la FEM de la bobina en esta disposición es:

$$Fem = \frac{\mu_{aire} \cdot N \cdot L}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{c}{b}\right) \cdot \frac{di}{dt} = M \cdot \frac{di}{dt} \quad (5)$$

El término constante M se llama la inductancia mutua de la bobina Rogowski, y tiene una unidad de Henry (H). Esta indica el nivel de señal de la salida de la bobina por unidad di/dt. La salida de voltaje de la bobina depende solamente de los cambios en la corriente primaria. Cuando se conecta a un circuito integrado, con integrador digital incluido en el circuito integrado, hacer un medidor con una bobina Rogowski es tan sencillo como usar sensores de corriente tal como el TC o el shunt. La bobina con núcleo de aire no tiene histéresis, saturación, o problemas de no linealidad. Además, tiene una capacidad extraordinaria para manejar altas corrientes donde el límite superior teórico de la bobina es el voltaje de ruptura (breakdown) del mismo aire.

Dado que la salida de la bobina Rogowski es proporcional a la derivada en el tiempo de la corriente, es necesario usar un integrador para convertirlo al formato i(t). En el dominio de frecuencia, esto es equivalente a una atenuación de -20 dB/dec y un cambio constante de fase de -90° [3]. Para las aplicaciones industriales (con una frecuencia entre 50 y 60Hz) es necesario implementar un integrador activo conformado por un amplificador operacional cuya característica de salida típica se observa en la Figura 3. [6]



**Figura 3. Esquemático y función de transferencia de un integrador activo**

Otra consideración a tener en cuenta con los sensores de bobina Rogowski es que éstos presentan variaciones de sensibilidad respecto de la posición del conductor dentro del área de la bobina. La desventaja en los transductores de núcleo de aire es que, debido a su gran dimensión de ventana, este cambio es más evidente. En la Figura 26 (ANEXO N° 1) se observa una distribución típica de estas variaciones.[7]

### **Comparación de los sensores de medición de corriente alterna**

Luego de la descripción realizada de los principales tipos de sensores de medición de corriente alterna, se presenta en la Tabla 5 una comparación entre las características más resaltantes de todos los dispositivos que fueron descritos anteriormente.

**Tabla 5. Comparación entre sensores para medición de corriente alterna**

<b>Tecnología del Sensor</b>	<b>Shunt de corriente</b>	<b>Transformador de Corriente</b>	<b>Sensor de Efecto Hall</b>	<b>Bobina Rogowski</b>
<b>Costo</b>	Muy bajo	Medio	Alto	Bajo
<b>Linealidad en el rango de la medición</b>	Muy Buena	Buena	Pobre	Muy Buena
<b>Capacidad de medición de alta corriente</b>	Muy pobre	Buena	Buena	Muy Buena
<b>Consumo de Potencia</b>	Alto	Bajo	Medio	Bajo
<b>Problema de Saturación de Corriente DC</b>	No	Si	Si	No
<b>Variación de la Salida con respecto a la Temperatura</b>	Medio	Bajo	Alto	Muy bajo
<b>Problema Offset de DC</b>	Si	No	Si	No
<b>Problema de Saturación e Histéresis</b>	No	Si	Si	No

Al observar la Tabla 5 que realiza una comparación entre los sensores, se puede visualizar que el tipo de sensor que ofrece el mejor desempeño con relación al costo, y considerando las altas magnitudes de corriente (de decenas a centenas de amperes), es la Bobina de Rogowski, la cual presenta como única complicación importante el uso de un circuito integrador para poder realizar una medida correcta.

### **2.2.2. Medición de tensión alterna**

En el caso de la medición de tensión, las tecnologías de más amplio uso son los transformadores de tensión de núcleo de hierro y los divisores de tensión resistivos. Éstos presentan características de linealidad y ancho de banda bastante amplio. En casos de altas frecuencias se pueden presentar limitaciones; de ser así, los transformadores y el tipo de resistencias utilizados, deben ser especialmente considerados.[7]

## **2.3. DISPOSITIVO M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.**

### **2.3.1. Versiones previas**

El dispositivo M2M IAMBOX nace de la necesidad de la empresa (IAMBOX Telecomunicaciones) de ofrecer un producto que permitiese la medición y registro de algunas variables (temperatura, humedad y presión entre otras), además de dar respuesta a las variables medidas por medio de un par de relés que permitiesen activar o desactivar un elemento externo; adicionalmente se tenía como premisa el poder dar instrucciones al dispositivo por medio de comunicación GPRS/GSM y poder acceder a la información por protocolo TCP/IP a través de Ethernet, además de permitir crear una red que acepte interconectarlo entre sí con otros dispositivos de las mismas características. A continuación se presentan algunas de las características

principales de este dispositivo, obtenidas a partir de los requerimientos descritos anteriormente:

- Comunicación vía GPRS/GSM, TCP/IP y CAN.
- Registro de temperatura en forma analógica.
- Registro de humedad en forma analógica.
- Comunicación GSM/GPRS (recepción de instrucciones y envío de información instantánea).
- Comunicación CAN (Interconexión en Red de los dispositivos entre sí).
- Comunicación TCP/IP (enviar información a un medio externo).
- Display LCD de monitoreo local.
- 2 relés para manejo de dispositivos externos

De esta iniciativa surgieron dos dispositivos, el primero que permite la conectividad por vía GSM/GPRS y TCP/IP (M2M IAMBOX GSM/EDGE); y un segundo que tiene como fin la interconexión de los dispositivos por medio del protocolo CAN (M2M IAMBOX LCD), denominado Watch BOX (Caja de Observación), el cual permite la medición de las variables en diversos puntos de una instalación.

### **2.3.2. Etapa de alimentación del dispositivo**

Este módulo transforma la tensión de entrada en corriente alterna, de un valor eficaz con un rango entre 120 V y 240 V a un nivel de tensión en corriente continua de 3,3 V, con una corriente máxima de suministro para la carga de 1,25 A con el propósito de alimentar todo el dispositivo, y se plantea para futuros diseños la incorporación de un dispositivo de almacenamiento de energía (una batería del tipo ion de litio, las más extensamente usadas en el mercado para este tipo de aplicaciones), por lo que se anticipa la opción de la instalación del dispositivo sin la necesidad de una toma eléctrica cercana para realizar la instalación.

### 2.3.3. Módulos de comunicación del dispositivo

#### Comunicación CAN (Controller Area Network)

Con este módulo de comunicaciones se puede interconectar varios dispositivos por medio de “...una interfaz de 2 hilos (cable Low y cable High) en modo diferencial por un par trenzado apantallado (STP) o un Par Trenzado No Apantallado (UTP)”[8] y un hilo de tierra, lo que permite la creación de una red cableada de hasta 10 Km variando la velocidad de transmisión desde 1Mbit/s a 5 Kbits/s y permite una conexión de hasta 250 dispositivos en cascada, además requiere resistencias para iniciar y culminar la línea de comunicación. El cable de High transmite 1 y 0 digitales, donde 5 V es el valor lógico de 1 y 2,75 V que es el valor lógico de uno; por su parte el cable de Low transmite las mismas señales lógicas pero en este caso 2.25 V es el 1 lógico y 0 V es el 0 lógico, como lo muestra la Figura 4.

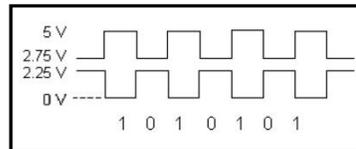


Figura 4. Diagrama de tiempo de funcionamiento en CAN

Una gran ventaja de este sistema de comunicación es que puede continuar trabajando aun si se interrumpiese la continuidad de alguno de los cables principales (cable Low y cable High). A continuación se presenta la distribución de la trama del sistema de comunicación CAN:

*Campo de inicio del mensaje (SOF):*

El mensaje se inicia con un bit dominante, cuyo flanco descendente es utilizado por las unidades de control para sincronizarse entre sí.

*Campo de arbitrio:*

Los 11 bits de este campo se emplean como un identificador que permite reconocer a las unidades de control y la prioridad del mensaje. Cuanto más bajo sea el

valor del identificador, más alta es la prioridad, y por lo tanto determina el orden en que van a ser introducidos los mensajes en la línea. El bit RTR indica si el mensaje contiene datos (RTR=0) o si se trata de una trama remota sin datos (RTR=1). Una trama de datos siempre tiene una prioridad más alta que una trama remota. La trama remota se emplea para solicitar datos a otras unidades de mando o bien porque se necesitan o para realizar un chequeo.

*Campo de control:*

Este campo informa sobre las características del campo de datos. El bit IDE indica cuando es un “0” que se trata de una trama estándar y cuando es un “1” que es una trama extendida. Los cuatro bits que componen el campo DLC indican el número de bytes contenidos en el campo de datos. La diferencia entre una trama estándar y una trama extendida se encuentra en que la primera tiene 11 bits y la segunda 29 bits. Ambas tramas pueden coexistir eventualmente, y la razón de su presencia es la existencia de dos versiones del CAN.

*Campo de datos:*

En este campo aparece la información del mensaje con los datos que la unidad de control correspondiente introduce en la línea del bus CAN. Puede contener entre 0 y 8 bytes (de 0 a 64 bits).

*Campo de aseguramiento (CRC):*

Este campo tiene una longitud de 16 bit y es utilizado para la detección de errores por los 15 primeros, mientras el último siempre es un bit recesivo que delimita el campo CRC.

*Campo de confirmación (ACK):*

El campo ACK está compuesto por dos bits que son siempre transmitidos como recesivos. Todas las unidades de control que reciben el mismo CRC modifican

el primer bit del campo ACK por uno dominante (0), de forma que la unidad de control que está todavía transmitiendo reconoce que al menos alguna unidad de control ha recibido un mensaje escrito correctamente. De no ser así, la unidad de control transmisora interpreta que su mensaje presenta un error.

*Campo de fin de mensaje (EOF):*

Este campo indica el final del mensaje con una cadena de 7 bits recesivos. Puede ocurrir que en determinados mensajes se produzcan largas cadenas de ceros o unos, y que esto provoque una pérdida de sincronización entre unidades de control. El protocolo CAN resuelve esta situación insertando un bit de diferente polaridad cada cinco bits iguales: cada cinco “0” se inserta un “1” y viceversa. La unidad de control que utiliza el mensaje, descarta un bit posterior a cinco bits iguales. Estos bits reciben el nombre de bits “stuffing”. [8]

### **Comunicación TCP/IP**

Es un conjunto de protocolos que definen una serie de reglas que permiten intercambiar información entre sistemas muy heterogéneos, mediante el uso de redes de área local (LAN), redes de área extensa (WAN), redes públicas de telefonía, etc. Por ejemplo, Internet en sí mismo está construido sobre el protocolo TCP/IP. El protocolo TCP/IP proporciona una conexión segura que permite la entrega sin errores de un flujo de bytes desde un sistema máquina a otro. La información a enviarse parte en cadenas de datos formando paquetes discretos y los coloca de nuevo en el destino, manejando también el control de flujo.

*Nivel de aplicación:*

En este nivel se montan las aplicaciones finales que facilitan la vida, entre las que destacan el correo electrónico, el navegador Web, el intercambio de ficheros FTP, etc.

### *Nivel de Transporte:*

Es el nivel que realmente permite que dos sistemas conectados TCP/IP puedan conversar entre sí. Pueden funcionar dos tipos de protocolos:

- TCP (Transmission Control Protocol), proporciona una conexión segura que permite la entrega sin errores de un flujo de bytes desde un sistema a otro. Se parte la cadena de datos a enviar, en paquetes discretos y lo monta de nuevo en el destino. También maneja el control de flujo.
- UDP (User Datagram Protocol): es un protocolo no orientado a la conexión, por lo tanto no garantiza el reparto seguro del paquete de datos enviado. En general, se usa el UDP cuando la aplicación que se monta encima, necesita tiempos de respuesta muy cortos, en lugar de fiabilidad en la entrega.

### *Nivel de Red (IP):*

Los “hosts” pueden introducir paquetes en la red, los cuales llegan al destinatario de forma independiente. No hay garantías de entrega ni de orden (IP no está orientado a la conexión), gestiona las rutas de los paquetes y controla la congestión.

### *Nivel de Enlace:*

Prepara los paquetes de datos para su envío por el medio físico en cuestión, resuelve las colisiones, corrige errores de paquetes o solicita su reenvío.

### *Nivel Físico:*

Define los tipos de medio físico (par de cables, cable coaxial, fibra óptica, etc.) y los niveles de señal que se inyectarán en estos. El protocolo TCP/IP, se ha diseñado para transferir grandes cantidades de datos entre dos sistemas. Cuando se

usa para transferir 2 ó 3 octetos de información el coste en ancho de banda es muy alto; por ejemplo, entrando directamente a nivel IP, el paquete mínimo necesita 20 octetos sólo de campos de control, entrando a nivel de TCP son 40 octetos de control como mínimo, dando lugar a una proporción del 900% y 1800 %, respectivamente. Hasta hace bien poco, el coste de poner la pila TCP/IP (stack TCP/IP) no era muy rentable, debido a que los precios de las memorias eran elevados y el tiempo que necesitaba el procesador para el TCP/IP robaba mucho tiempo a la aplicación principal. Pero hoy día el coste del hardware es cada vez menor, aparecen multitud de microcontroladores con una arquitectura avanzada y una alta velocidad que implementan el stack TCP/IP ocupando muy poca memoria y sin apenas interferir en la velocidad de la aplicación principal. Se puede configurar su memoria para implementar todo o parte del stack TCP/IP, además de los protocolos adicionales como el HTTP, SMTP, DHCP, entre otros. Es decir, que con un pequeño dispositivo, se puede tener un servidor Web de control de la calefacción, el aire acondicionado, el horno, etc. y encima proporcionar una página Web con la que el usuario podrá acceder para controlar y monitorizar todos los parámetros. También se ofrecen equipos para facilitar la conexión de autómatas industriales o terminales remotos al mundo TCP/IP. De momento la mayoría de sus aplicaciones están centradas en la automatización de industrias y fábricas. Pero los fabricantes de electrodomésticos también lo están usando, para aplicaciones remotas que gestionen su funcionamiento y optimicen el consumo.[8]

### **Comunicación Wi-Fi**

Es un sistema de comunicación sin hilos WLAN (Wireless Local Area Network) que se utiliza para redes de PC y periféricos. Lo inició un consorcio de diferentes compañías en 1990. La transmisión de datos trabaja en modo bidireccional con un protocolo CSMA/CD, que evita colisiones monitorizando el nivel de señal en la red, con las siguientes características:

- 802.11 2Mb/s @ 2.4GHz

- 802.11 b 11Mb/s @ 2.4GHz
- 802.11 g 55Mb/s @ 2.4GHz
- 802.11 a 55Mb/s @ 5.7GHz

La versión más conocida actualmente es la 802.11b y se conoce con el nombre comercial de Wi-Fi. La asociación WECA (ahora Wi-Fi Alliance, desde el 2003) es la encargada de vigilar y certificar que los productos Wi-Fi cumplen todas las normas y que, por lo tanto, son compatibles con los dispositivos comercializados hasta la fecha.[8]

### **Comunicación GPRS/GSM**

Las características de la actual tecnología GSM para el envío de datos inalámbricos desde cualquier lugar y en cualquier momento se pueden resumir en velocidad de transferencia de 9,6 Kbps, tiempo de establecimiento de conexión, de 15 a 30 segundos. La baja velocidad de transferencia limita la cantidad de servicios que Internet nos ofrece. Por ejemplo, a 9,6 Kbps no se puede navegar por Internet de una manera satisfactoria. Si, además, tenemos en cuenta que estamos pagando por tiempo de conexión, los costos se disparan. La combinación de estos tres factores negativos hace que GSM sea una tecnología mayoritariamente utilizada para la voz y no para los datos. Por otro lado la comunicación GPRS una evolución de la red actual de GSM, reutiliza parte de las infraestructuras actuales de GSM. Tiene una tecnología que subsana las deficiencias de GSM, con una velocidad de transferencia de hasta 144 Kbps. Conexión permanente. Tiempo de establecimiento de conexión inferior al segundo.

Puede combinar hasta 8 canales para transferir datos y cada canal puede transferir a una velocidad de 10 Kbps, aproximadamente. Los nuevos terminales GPRS contarán con diversas prestaciones en función del número de canales que utilicen. Debido a esto, habrá terminales 2 + 1, que significa dos canales para recibir

información y un canal para el envío), 3 + 1, 4 + 1, etc. También habrá terminales que permitirán transferir datos y mantener al mismo tiempo de una llamada de voz. El uso de GPRS no se limita sólo a los teléfonos móviles; aparecerán tarjetas PCMCIA GPRS para conectar portátiles a Internet, tarjetas para conectar el ordenador de escritorio, etc. El uso de nuevos terminales GPRS como un modem inalámbrico tendrá una aplicación inmediata y evidente. Los podremos conectar a ordenadores portátiles o de escritorio como cualquier módem, pero, evidentemente, con las ventajas de ser inalámbrico. Igualmente, los terminales GPRS nos permitirán visualizar contenidos y utilizar servicios de Internet directamente en su reducida pantalla, en una evolución continua de convergencia entre el teléfono móvil y los PDA (Asistentes Digitales Personales).[8]

#### **2.3.4. Unidad de Procesamiento Central PIC32MX795F512L**

La unidad de procesamiento central de Microchip Technology Inc., tiene como objeto controlar todas las operaciones realizadas por el M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0. Entre sus principales funciones se encuentran:

- Controlar las comunicaciones del dispositivo a través de los diferentes medios mencionados anteriormente (CAN, TCP/IP, GPRS/GSM, Wi-Fi).
- Gestionar la información recibida de los dispositivos sensores (Watch BOX) de manera que se pueda tener acceso a ella vía TCP/IP, GPRS/GSM o Wi-Fi.
- Operar las variables medidas para obtener datos de interés (tensión y corriente eléctrica instantánea para la obtención de la potencia y factor de potencia instantáneo), aunque en nuestro caso este proceso se realiza por medio de una unidad de procesamiento auxiliar el PIC18F2580 de Microchip Technology Inc., ubicada en el Watch BOX donde se realiza la medición directamente.

Además de las funciones ya mencionadas, el microcontrolador cuenta con algunas características que facilitan el diseño, tales como:

- 80 MHz de frecuencia de trabajo (frecuencia máx.).
- 512 KBits de memoria Flash.
- Voltaje de operación entre 2,3V y 3,6V.
- 4 módulos de comunicación SPI.
- 5 módulos de comunicación I<sup>2</sup>C.
- 5 Contadores de 16 bits cada uno.

### **2.3.5. Unidad de Procesamiento Secundaria PIC18F2580**

Como fue mencionado en el inciso anterior esta unidad de procesamiento se encuentra en el dispositivo Watch BOX, y pertenece a la misma casa de electrónica y posee funciones semejantes que la unidad de procesamiento dispuesta en el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 (Unidad Central) en cuanto al manejo de comunicación CAN; sin embargo, la capacidad de manejo de interrupciones y memoria Flash es menor. Como fue mencionado en la sección anterior, esta unidad se encarga del manejo y procesamiento de las señales para generar la información de las variables que caracterizan una carga eléctrica (voltaje, corriente, potencia y factor de potencia) con la información proveniente de los sensores de medición eléctrica y el periférico para la adquisición de datos y conversión analógica a digital. Por otra parte, el microcontrolador cuenta con algunas de las siguientes características:

- 40 MHz de frecuencia de trabajo (frecuencia máx.).
- 32 KBits de memoria Flash.
- Voltaje de operación entre 2V y 5.5V.
- 4 módulos de comunicación (compartidos para SPI y I<sup>2</sup>C).
- 1 contador de 8 bits y 3 de 16 bits.

### **2.3.6. Etapa de monitoreo local**

Consta de una pantalla de 2 columnas de 16 caracteres cada una, es de tecnología LCD y permite visualizar en el sitio donde esté dispuesto el Watch BOX algunas de las variables medidas, de tal manera que además del acceso por los diversos medios indicados también es posible acceder a la información por un simple monitoreo visual en el sitio donde se realiza la medida.

### **2.3.7. Características físicas**

El dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 cuenta con una carcasa metálica de color negro, en los planos anexos a este informe se presentan las dimensiones físicas del dispositivo (ANEXO N° 14 y ANEXO N° 15).

## **2.4. PERIFÉRICOS ELECTRÓNICOS (FRONT-END)**

Para lograr abarcar el alcance total de las funcionalidades de las unidades de procesamiento de cualquier aplicación embebida, usualmente se suele recurrir a las múltiples funciones ofrecidas por cada uno de los puertos de estas unidades, pero esto a su vez requiere un incremento en las configuraciones del firmware y reduce la velocidad de trabajo de las aplicaciones, además de aumentar la posibilidad de falla en el firmware, por lo que en muchas ocasiones se recurre, para evitar estos problemas, a otros circuitos integrados (CI) que permiten realizar las funciones propias de la unidad de procesamiento central y no requieren toda la programación adicional para la configuración de los puertos de entrada y salida.

En general una de las grandes aplicaciones de estos circuitos integrados deriva de su utilización para la conversión analógica-digital. Otra de sus importantes aplicaciones es en la conversión de buses de comunicación serial y paralela por igual.

## 2.5. PROCESAMIENTO DE SEÑALES

### 2.5.1. Algoritmos para medición de potencia y factor de potencia

Después de la obtención de las señales eléctricas, por medio de cualquiera de los sensores ya mencionados para la medición de voltaje y corriente eléctrica, a ser medidas, es necesario operarlas de manera que se obtengan los parámetros del circuito que se desean medir de forma indirecta, entre los que se encuentran la potencia medida, tanto activa, reactiva y aparente, además de la medición del factor de potencia del sistema.

Para realizar esto es necesario considerar que se trabajará con una señal que no es continua, es decir; a pesar de que la señal medida es analógica, por las características de los dispositivos de medición, se realiza un muestreo de la señal cada cierto tiempo sobre la base de la frecuencia de funcionamiento de la unidad periférica lo que convierte la señal capturada en una discreta, por lo que no se puede aplicar una metodología de procesamiento continuo (a pesar de que no hay grandes discrepancias entre el álgebra de funciones discreto y continuo). A continuación se presentan los cálculos más importantes para el procesamiento de señales eléctricas:

#### Valor eficaz de una señal (RMS)

El valor eficaz de una señal continua  $f(t)$ , se define como:

$$f_{\text{eficaz}} = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T f^2(t) \cdot dt} \quad (6)$$

Donde T es el periodo de la función; y en aplicación eléctrica este valor de una señal de corriente alterna (ya sea voltaje o corriente) es el equivalente en magnitud a una señal de corriente continua para disipar un valor de potencia activa equivalente en una misma carga. Para nuestro caso debemos considerar que

trabajamos con una señal de tipo discreta  $F[i]$ , con lo que llegamos a la siguiente definición:

$$F_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N F^2 [i]} \quad (7)$$

Donde N es el número de muestras tomadas en un periodo.

### **Valor medio de una señal (Mean)**

En el caso del valor medio de una señal  $f(t)$  tenemos la siguiente definición:

$$f_{medio} = \frac{1}{T} \times \int_0^T f(t) \cdot dt \quad (8)$$

Donde T es el periodo de la función; pero en el caso de una señal eléctrica (ya sea voltaje o corriente) nos encontramos ante el caso que la mayoría de estas señales son sinusoidales por lo que siempre su promedio será igual a cero, por lo tanto se considerará en un próximo tópico el valor medio de una señal en valor absoluto o MAV (Mean Absolute Value) por sus siglas en inglés. Para el caso de una señal discreta  $F[i]$ , se define de la siguiente manera:

$$F_{medio} = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N F [i] \quad (9)$$

Donde N es el número de muestras tomadas en un periodo.

### **Valor medio de una señal en valor absoluto (MAV)**

Para el valor medio de una señal  $f(t)$  en valor absoluto tenemos la siguiente definición:

$$f_{MAV} = \frac{1}{T} \times \int_0^T |f(t)| \cdot dt \quad (10)$$

Donde T es el periodo de la función; para el caso de una señal discreta F[i], se define de la siguiente manera:

$$F_{MAV} = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N |F[i]| \quad (11)$$

Donde N es el número de muestras tomadas en un periodo.

### **Magnitud de la potencia aparente**

Si se tiene una señal de Voltaje eléctrico v(t) y una de corriente i(t), las que tienen un mismo periodo T, la magnitud de la potencia aparente producida por estas dos señales se define como:

$$s = v_{eficaz} \times i_{eficaz} \quad (12)$$

Donde  $v_{eficaz}$  e  $i_{eficaz}$  se definen como:

$$v_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T v^2(t) \cdot dt} \quad (13)$$

$$i_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T i^2(t) \cdot dt} \quad (14)$$

En este caso equivalentemente podemos considerar dos señales discretas V[i] e I[i] (voltaje y corriente eléctrica), las que provienen de un muestreo discreto de las señales continuas propuestas anteriormente, con una cantidad de muestras N igual para las dos, podemos definir la magnitud de la potencia aparente como:

$$S = V_{eficaz} \cdot I_{eficaz} \quad (15)$$

Donde  $V_{eficaz}$  e  $I_{eficaz}$  se definen como:

$$V_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N V^2[i]} \quad (16)$$

$$I_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N I^2[i]} \quad (17)$$

### **Magnitud de la potencia activa**

Si se tiene una señal de Voltaje eléctrico  $v(t)$  y una de corriente  $i(t)$ , las que tienen un mismo periodo  $T$ , la magnitud de la potencia activa producida por estas dos señales se define como:

$$p = \frac{1}{T} \times \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt \quad (18)$$

En este caso equivalentemente podemos considerar dos señales discretas  $V[i]$  e  $I[i]$  (voltaje y corriente eléctrica), las que provienen de un muestreo discreto de las señales continuas propuestas anteriormente, con una cantidad de muestras  $N$  igual para las dos, podemos definir la magnitud de la potencia activa como:

$$P = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N V[i] \cdot I[i] \quad (19)$$

### **Magnitud de la potencia reactiva**

Si se tiene una señal de Voltaje eléctrico  $v(t)$  y una de corriente  $i(t)$ , las que tienen un mismo periodo  $T$ , la magnitud de la potencia aparente producida por estas dos señales se define como:

$$q = \frac{1}{T} \times \int_0^T v(t) \cdot i'(t) \cdot dt \quad (20)$$

Donde  $i'(t)$  se define como una señal que está desplazada en fase  $\pi/2$  radianes con respecto a la señal  $i(t)$ . En este caso equivalentemente podemos considerar dos señales discretas  $V[i]$  e  $I[i]$  (voltaje y corriente eléctrica), las que provienen de un muestreo discreto de las señales continuas propuestas anteriormente, con una cantidad de muestras  $N$  igual para las dos, podemos definir la magnitud de la potencia reactiva como:

$$Q = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N V[i] \cdot I'[i] \quad (21)$$

Donde  $I'[i]$  se define como una señal que está desplazada en fase  $\pi/2$  radianes con respecto a la señal  $I[i]$ .

### **Cálculo del factor de potencia de un sistema**

El factor de potencia de una carga eléctrica es la relación que existe entre la magnitud de la potencia activa y la potencia aparente, considerando tanto funciones continuas como discretas en el tiempo; como se define en la siguiente ecuación:

$$fp = \frac{P}{S} \quad (22)$$

Donde  $P$  representa la potencia activa y  $S$  la potencia aparente.

## **2.6. SISTEMAS OPERATIVOS DE EJECUCIÓN EN TIEMPO REAL**

Los sistemas de tiempo real son sistemas computacionales en los que el computador está fuertemente ligado a un entorno que cambia con el tiempo. Por esta causa, en los sistemas de tiempo real el funcionamiento correcto no sólo depende de los resultados del cálculo, sino también del instante de tiempo en el que estos cálculos son finalizados. A este tipo de sistemas pertenecen muchos de los computadores y del software destinado a aplicaciones como los sistemas de control embebidos (por

ejemplo controladores de robots y máquinas industriales entre otros), la transmisión y el procesamiento de imagen (visión artificial en tiempo real), sistemas de control y navegación de vehículos (como automóviles, aviones, o naves espaciales), entre otros. Gran parte de estas aplicaciones se implementan hoy en día como sistemas multiprocesadores y distribuidos con ciertos requisitos temporales que deben satisfacer.[9]

Por lo mencionado anteriormente nos damos cuenta de que en este tipo de sistemas operativos se conocen previamente las actividades a realizar y cada uno de los periféricos a ser controlados por medio de la unidad de procesamiento central, lo que permite planificar las tareas a ser realizadas por el microprocesador para dar respuesta a las señales de entrada y adicionalmente procesar y entregar las respuestas asociadas a estas señales, de manera que para este tipo de dispositivos (microprocesadores interconectados con periféricos) es tan importante la respuesta obtenida como el tiempo que se toma para obtener dicha respuesta.

Las actividades que controlan estos sistemas operativos las podemos distribuir en dos grandes grupos que se componen de las actividades periódicas y no periódicas, por lo que en cualquiera de los dos casos mencionados es necesario estar en capacidad de poder controlar cualquiera de las dos operaciones y poder cumplir con los resultados esperados y no dejar pasar de lado el tiempo requerido para ello.

Para poder cumplir con los puntos establecidos hasta ahora en el funcionamiento de los sistemas operativos en tiempo real se generan espacios de tiempo de trabajo en los cuáles se realizan ciertas tareas del total de las controladas. Además, se establecen tiempos máximos de respuesta para cada una de las tareas programadas, para poder así controlar el cumplimiento de los mismos de manera que si por algún motivo una de las tareas realizadas se efectúa en un tiempo mayor del estipulado como máximo se genera una respuesta inmediata que finaliza la tarea en proceso (sin importar su resultado) y da continuidad al ciclo del programa de manera que hay una falla específica y no colapsa el total de las tareas que se llevan a cabo por

la unidad de procesamiento. Es fundamental que esto sea cumplido durante todo el periodo de funcionamiento, de manera que siempre es prioritario continuar con la ejecución total del software a pesar del fallo de algunas tareas.

Una de las ventajas de este tipo de sistemas operativos es que facilita la interconexión entre varias unidades de procesamiento y por ello, además de dar respuesta a las señales recibidas a la entrada, también permite el manejo de diversas tareas en unidades de procesamiento individuales, lo que a su vez permite distribuir las tareas realizadas entre varias unidades de procesamiento y así poder evitar la dependencia de un solo ente para el correcto funcionamiento del sistema. Así mismo, que permite transferir las tareas asignadas a una unidad de procesamiento alterna, en caso de que alguna de ellas falle.

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL DISPOSITIVO M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0**

#### **3.1.1. Circunstancias condicionantes del diseño**

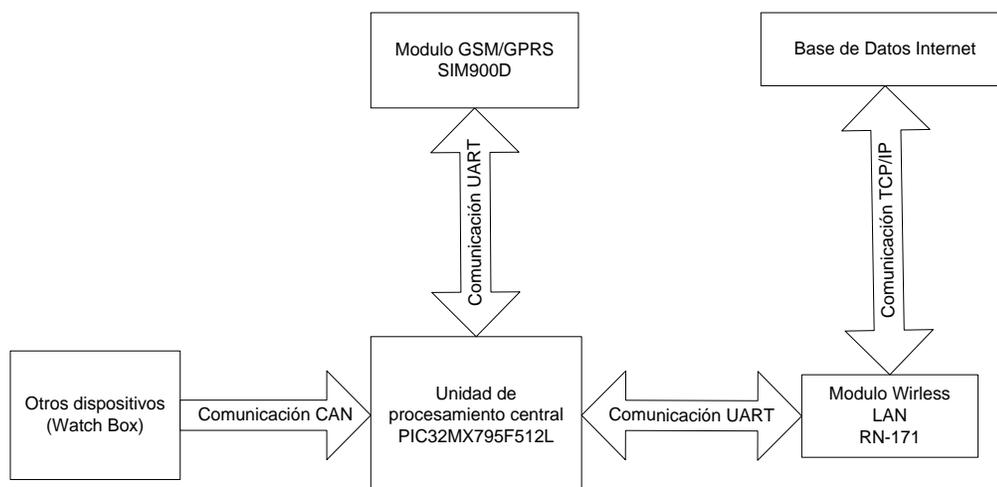
En la información presentada hasta ahora; se ha realizado una investigación y categorización de los sensores típicos de tensión y corriente alterna, sobre la base de la información que se posee hasta el momento se realizará la selección de los sensores utilizados en este trabajo, considerando los que mejor cumplan con las condiciones previstas para el mismo. Es importante mencionar que por condiciones de diseño previstas por la empresa (las que se explicaran más adelante) las diferentes funciones del dispositivo han sido distribuidas entre las dos presentaciones concebidas dentro de la empresa:

- M2M IAMBOX GSM/EDGE, dispositivo modem que permite la conexión por diferentes medios (TCP/IP, GSM/GPRS) en el cual se va a programar el manejo del stack de comunicaciones TCP/IP.
- M2M IAMBOX LCD, dispositivo sensor que permite el monitoreo de las variables deseadas, en este caso tensión y corriente eléctrica; en el cual se colocan los sensores que permiten realizar la medición directamente desde la carga eléctrica, para obtener las variables que permiten la caracterización de la misma.

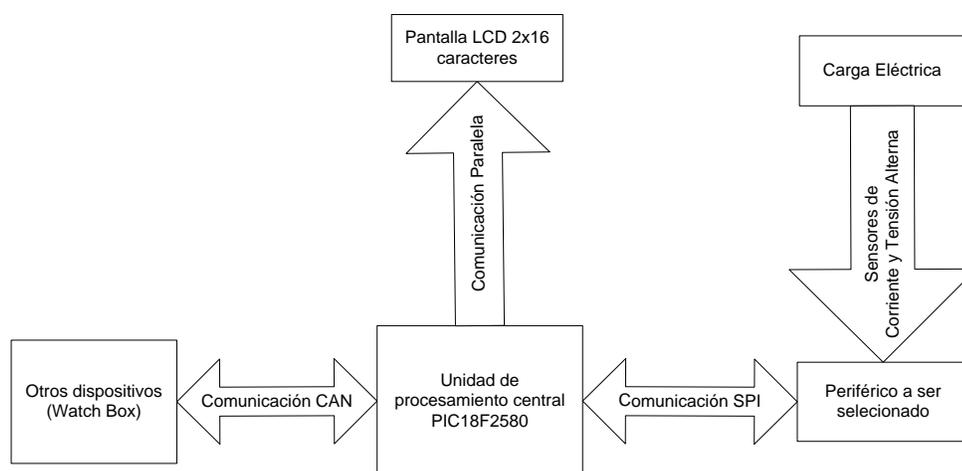
Por estas condiciones se explica el hecho de que los objetivos planteados por este trabajo han sido distribuidos en el diseño de dos dispositivos que trabajan conjuntamente, alternativamente a la opción planteada al inicio que indicaba la conjunción de todos los objetivos planteados en un solo dispositivo. Entre las razones esgrimidas para realizar esta división se contemplan:

- La existencia previa de un hardware que permite realizar diversas funciones que ya están operativas en la empresa, las cuáles ya generan facturaciones e ingresos para la empresa; y el hecho de llevar a cabo un desarrollo que abarcará de forma completa todos los objetivos en un solo dispositivo implicaba que la empresa debía realizar cambios de hardware que podrían ocasionar una alteración considerable en las funciones de dispositivos previos que ya funcionan correctamente, lo que significa costos de diseño y desarrollo que ya fueron tomados en el pasado, lo que a su vez se expresa en la duplicación de costos para la empresa.
- El dividir los objetivos también permite a la empresa mantener las funciones previstas para cada uno de sus productos, los que son básicamente un equipo modem y uno de observación y medición directa, lo que indica que para realizar alguna instalación de los productos tan sólo se requiere de un equipo modem al que se pueden conectar tantos observadores como sea necesario (hasta 16), y si todos los objetivos se llevaban a cabo en un solo equipo, se tiene un riesgo de sobredimensionamiento; debido a que si se colocan varios módems solo para realizar mediciones el resto de las funciones en comunicaciones de estos dispositivos quedarían inutilizadas y serían productos subutilizados para los costos de producción inherentes a ellos.

Para el presente proyecto se manejan la versión 2.0 para el dispositivo modem y la 13 para el dispositivo sensor. De lo expuesto hasta ahora se presenta a continuación un par de diagramas que muestran los elementos más resaltantes que componen cada uno de los dos dispositivos, lo que permite tener una idea del alcance de este proyecto.



**Figura 5. Diagrama del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0**



**Figura 6. Diagrama del dispositivo M2M IAMBOX LCD v13**

### 3.1.2. Consideraciones de diseño para la selección de los sensores

La aplicación principal del dispositivo será a una tensión nominal de 480 V en valor eficaz, lo que según la norma COVENIN 159:1997 se indica como una zona industrial, además de permitir tensiones de valores inferiores para ser medidas; por lo que se tendrán en cuenta las tolerancias permitidas en la norma las cuales se indican en la Tabla 2, considerando el peor caso posible que es la Zona B, de lo que podemos obtener el valor eficaz de tensión alterna de 508 V como máximo posible, todo esto

señalando la tensión monofásica. En el caso de la corriente alterna monofásica se impondrá para este dispositivo un máximo de 5 A, por circuito monofásico; debido a que el dispositivo será usado para medir en circuitos espejo de baja tensión de las cargas de alta potencia.

### **3.2. SELECCIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PERIFÉRICO**

Para la selección del periférico (Front-end) a ser utilizado se procederá a escoger varios posibles circuitos integrados que cumplan principalmente con las siguientes características:

- Comunicación serial SPI.
- Por lo menos 2 canales analógicos (para el manejo de la tensión y la corriente eléctrica en canales independientes sin la necesidad de realizar multiplexación alguna).
- Entradas analógicas de tipo diferencial.
- Alimentación de 3,3V.
- Un encapsulado de tipo superficial para PCB.

Ahora, partiendo de las características presentadas se procederá a mostrar las opciones contempladas, de entre las cuales se realizará la selección del circuito integrado para ser implementado en el diseño que abarca este proyecto.

#### **3.2.1. Resumen del MCP3911[10]**

##### **Descripción general**

Como primera opción se contemplo la selección de un periférico (Front-end) que estuviese en línea con el resto del diseño realizado previamente por la empresa, en el cual destaca el uso de circuitos integrados (CI) de la casa Microchip Inc. y por ello se buscó seleccionar de entre los ofrecidos por esta casa de diseño; y al observar

las opciones disponibles se decantó por el periférico de código MCP3911, el cuya principal característica es que posee 2 canales analógicos; lo que permitiría su uso para la medición directa en la carga eléctrica de las variables (como fue planteado al iniciar la selección); además de ofrecer la opción de una alta velocidad de muestreo gracias a un cristal independiente para realizar el muestreo (4 MHz como frecuencia máxima de muestreo); y una resolución para las mediciones de hasta 24 bits, sin olvidar que este circuito integrado funciona con una tensión de alimentación de 3,3V, compatible con el diseño realizado hasta ahora ya que el resto de los circuitos integrados que componen el diseño trabajan con esa misma tensión de alimentación. Entre otras características importantes relacionadas con el funcionamiento de este circuito integrado también se encuentran las siguientes:

- Interfaz SPI para comunicación con la unidad de procesamiento central la que posee un módulo de comunicación SPI también.
- Frecuencia de trabajo de hasta 4MHz.
- Modulación Delta-Sigma para realizar la conversión analógico-digital, con una demodulación a través filtro pasa bajos.
- Dos canales de entrada diferencial, los que manejan hasta +/- 600 mV.
- Ganancia programable a la entrada de los dos canales analógicos de hasta 32, para amplificar la señal antes de ser modulada.

Luego de presentar brevemente las principales características de este circuito integrado (CI), en la Figura 7 se ilustra el diagrama de bloques funcional del periférico en el que se muestran las principales funciones realizadas, el módulo de comunicaciones con otros circuitos integrados (CI), además de algunos de los registros de memoria que pueden ser programados para configurar el funcionamiento deseado de todo el periférico. El diagrama de bloques también permite conocer a gran

escala cuales son las conexiones externas requeridas por el periférico para su correcto funcionamiento, aunque se realizará una descripción detallada más adelante de cada uno de los pines del mismo.

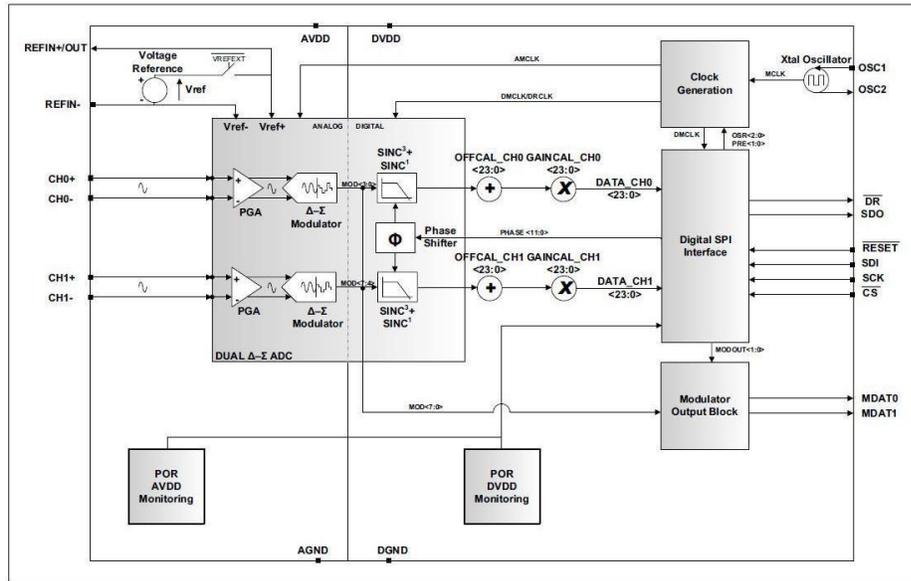


Figura 7. Diagrama de bloques del MCP3911

Luego del diagrama de bloques presentado, ahora en la Figura 8 se muestran los encapsulados disponibles para este circuito integrado.

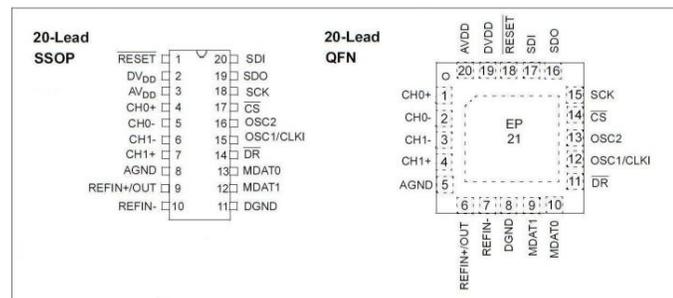


Figura 8. Encapsulados del MCP3911

Los dos encapsulados disponibles son de montaje superficial, aunque en este caso se decide por el QFN (Quad Flat, No Lead Package), ya que ocupa menos espacio superficial y por lo tanto ocupa menos espacio en el diseño total del dispositivo.

## Entradas analógicas

Como se menciona entre las funciones presentadas anteriormente, es posible programar la ganancia del amplificador operacional antes de la modulación, de entre los valores mostrados a continuación:

**Tabla 6. Configuración de los amplificadores del MCP3911**

Ganancia (V/V)	Rango de voltaje de entrada
1	+/- 0,6 V
2	+/- 0,3 V
4	+/- 0,15 V
8	+/- 0,075 V
16	+/- 0,0375 V
32	+/- 0,01875 V

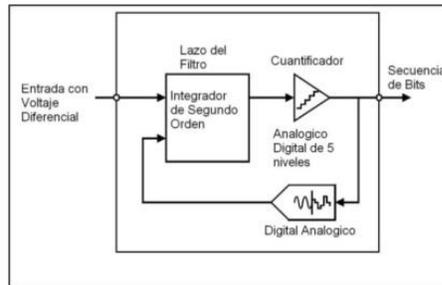
Esto permite amplificar la señal de entrada en caso de que el rango de salida del sensor conectado a la carga eléctrica posea una magnitud muy por debajo de la necesaria para realizar una modulación correcta, y esto se logra a través del registro GAIN<7:0>; compuesto a su vez por :

- PGA\_CH1<2:0> el que comprende GAIN<5:3>; a través del cual se configura la ganancia del canal analógico 2.
- PGA\_CH0<2:0> el que comprende GAIN<2:0>, a través del cual se configura la ganancia del canal analógico 1.
- BOOST<1:0> el que comprende GAIN <1:0>, este registro adicional permite configurar la corriente máxima permitida a través de los canales analógicos producida por la polarización de los componentes internos del circuito integrado.

## Modulación Delta-Sigma

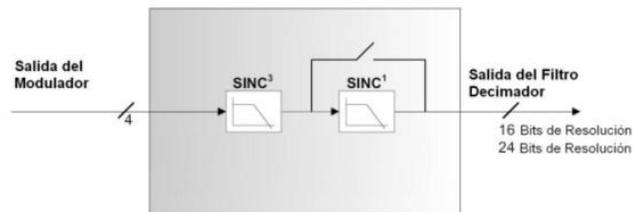
A continuación en la Figura 9 se presenta un diagrama de bloques que muestra de forma concreta el funcionamiento de la modulación Delta-Sigma, la cual

se utiliza entre algunas de las casas de producción de equipos electrónicos para convertidores analógico-digitales de alta precisión; lo que permite obtener una resolución de 24 bits por medida, la que hasta ahora alcanzaba unos 13 bits en la mayoría de los convertidores gama media, por lo menos en los modelos presentados por la casa Microchip entre los que se encuentran el MCP3304 y el MCP3302.



**Figura 9. Diagrama de bloques Modulador Delta-Sigma del MCP3911**

Para realizar la demodulación de la señal se dispone de un (LPF) filtro pasa bajos el cual a su vez está compuesto por 2 filtros de orden 3 y orden 2, lo que al final nos deja una señal digital de 24 o 16 bits dependiendo de la configuración implantada.



**Figura 10. Diagrama de bloques del Filtro decimador del MCP3911**

### **Precisión de la medición**

Ya vistas las características expuestas se debe decir que dependiendo de la configuración programada en el periférico se obtendrá una precisión en la salida diferente para cada configuración disponible, ya sea 16 bits o 24 bits, a continuación se presentan las fórmulas tomadas para cada caso (extraídas de la hoja de datos del integrado):

$$CH_n = \frac{CH_{n+} - CH_{n-}}{V_{ref+} - V_{ref-}} \cdot 8.388.608 \cdot G \cdot 1,5 \quad (23)$$

$$CH_n = \frac{CH_{n+} - CH_{n-}}{V_{ref+} - V_{ref-}} \cdot 32.768 \cdot G \cdot 1,5 \quad (24)$$

Donde  $CH_n$  es la cantidad máxima de posiciones disponibles para representar cualquier valor obtenido a partir de la conversión obtenida,  $CH_{n+}$  y  $CH_{n-}$  representan la máxima entrada positiva y la menor entrada negativa que estará disponible en el rango de entrada del periférico, lo que en el caso de este diseño se había considerado en una tensión que va de 0V a 1,2V (ya que es la tolerancia máxima permitida);  $V_{ref+}$  y  $V_{ref-}$  es la tensión de referencia para realizar la conversión analógica-digital y corresponde con la misma tensión de entrada expresada en el intervalo anterior y  $G$  es la ganancia programada para las entradas analógica antes de realizar cualquier conversión digital (si hay necesidad de amplificar la señal de entrada porque el rango de entrada es inferior a +/-0,6V a la salida de los sensores utilizados) lo que en el caso particular de este diseño no es requerido. Partiendo de las fórmulas (23) y (24) llegamos a que la precisión obtenida para nuestro caso en el que se plantea utilizar una resolución de 24 bits:

**Tabla 7. Características de precisión en la medición del MCP3911**

Nº de bits	Nº de niveles posibles	Rango de entrada	Precisión de salida
24	$1,2582912 \cdot 10^7$	1,2V	$9,536743164 \cdot 10^{-8}$ V/DIV

### 3.2.2. Resumen del ADE7758 [11]

#### Descripción general

Para la próxima opción presentada se escogió la casa Analog Devices, debido a que ella posee una amplia gama de convertidores analógico-digitales; los que también poseen algunos módulos adicionales que permiten realizar otras

funciones además de la conversión analógico-digital las cuales van estrechamente relacionadas con el alcance de este proyecto y serán descritas en lo sucesivo de esta sección.

El componente seleccionado de entre todos los posibles, por las presentaciones ofrecidas, fue el ADE7758 el cual posee seis canales analógicos, los que a su vez son discriminados en canales de tensión o corriente eléctrica para cada una de las fases que alimenta la carga eléctrica, y por esta razón el circuito integrado permite su configuración a través de algunos registros de memoria para controlar el manejo de diferentes sensores de corriente eléctrica, esto permite la incorporación de un integrador digital interno del periférico en caso de ser usada una bobina de Rogowski la que requiere un integrador para su uso; además este circuito integrado ofrece la opción de realizar varios cálculos posteriores a la obtención de las señales generadas a partir de la carga eléctrica por medio de los sensores, como lo son el cálculo del valor eficaz (RMS) de la tensión y corriente medida, la potencia activa, reactiva y aparente; dándonos la facilidad de solo configurar y gestionar su cálculo a través de la unidad de procesamiento central; por lo que más adelante en esta sección se realizará una descripción de tales procedimientos. Por otra parte se presenta como dificultad al utilizar este periférico que la tensión de alimentación requerida es superior a la alimentación suministrada en todo el circuito del dispositivo M2M IAMBOX LCD, la cual es de 3,3V; por lo tanto también se hará necesaria la utilización de otros elementos para solventar esta situación, lo que será explicado en el transcurso de esta sección. Ahora se presentan las características más representativas de este circuito integrado para tener una idea general de su funcionamiento:

- Interfaz SPI para comunicación con la unidad de procesamiento central, lo cual se mantiene de la selección previa.
- Una frecuencia de trabajo de hasta 10MHz.

- Hasta 24 Bits de resolución de lectura de cada canal utilizado, se mantiene de la selección previa.
- Modulación Delta-Sigma para realizar la conversión analógico-digital, se mantiene de la versión previa.
- Dos canales de entrada diferencial, los que manejan hasta +/-0.5V.
- Ganancia programable para los dos canales analógicos de hasta 4 v/v, para amplificar la señal para que sea modulada.

Luego de numerar algunas de las funciones más resaltantes del periférico ADE7758, se procede a ilustrar en la Figura 11 el diagrama de bloques funcional el que nos muestra, entre otras cosas, las principales funciones realizadas por este circuito integrado y como se realizan éstas, además que permite observar varios de los registros que intervienen en la configuración del funcionamiento del periférico; lo que puede dar una idea de los beneficios de su uso y la programación requerida para su posterior implementación. Este diagrama también muestra la interacción de este circuito integrado con el resto del circuito del dispositivo, en especial la etapa de comunicación serial y la alimentación necesaria para su correcto funcionamiento.

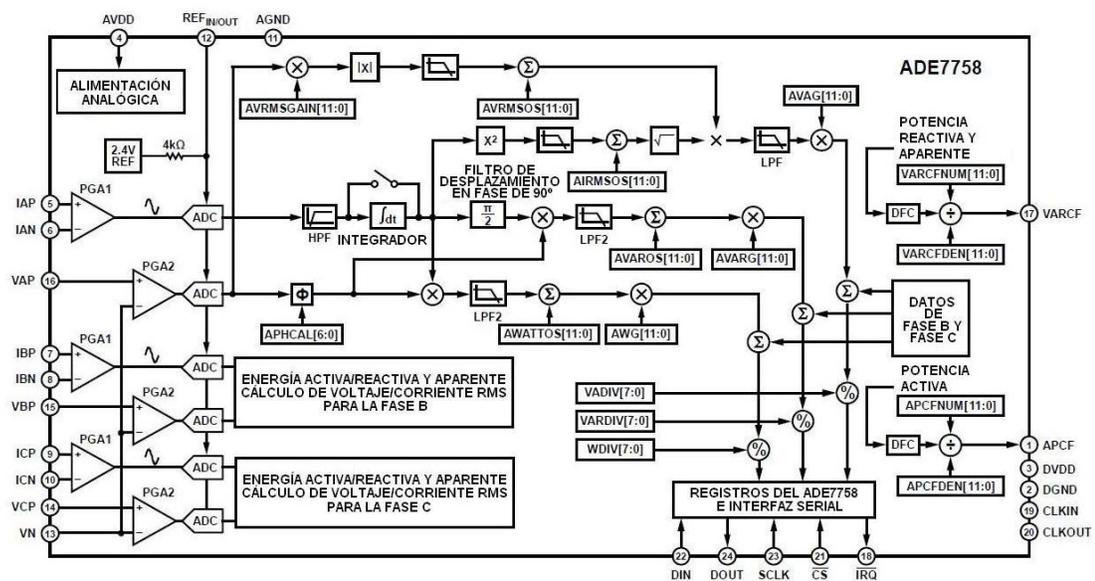


Figura 11. Diagrama de bloques del ADE7758

Se muestra a continuación el encapsulado disponible para este circuito integrado, el cual es del tipo SOIC (Small-Outline Integrated Circuit Package), en la imagen se muestra la disposición de los pines.

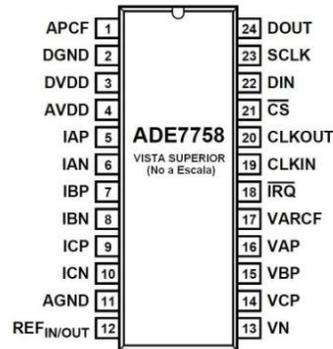


Figura 12. Encapsulado del ADE7758

### Entradas analógicas

Tal como en la opción descrita en el caso anterior, en el ADE7758 también existe la opción de modificar el valor a la entrada de los canales analógicos del periférico a través de la programación de los registros de memoria, por medio de PGA (Amplificadores Operacionales Programables) los que permiten aumentar la magnitud de la señal antes de ser modulada, para lograr una mejor resolución en las variables eléctricas que se obtendrán luego de todo el proceso. En la Figura 13 se muestra el diagrama de bloques del módulo que permite realizar esta operación en el circuito integrado.

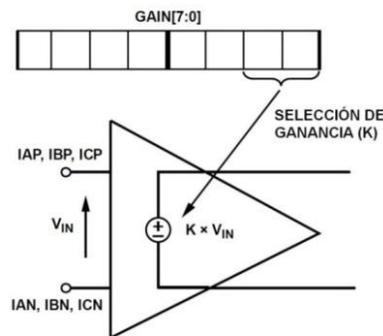


Figura 13. Amplificador a la entrada del canal del ADE7758

En la Figura 13 se puede observar que se requiere codificar la información a través de uno de los registros de este circuito integrado, por lo que en la Figura 14 se muestra el total de la información requerida para configurar el funcionamiento del PGA para cada uno de los canales analógicos de tensión y corriente eléctrica.



**Figura 14. Configuración de la ganancia del PGA del ADE7758**

Partiendo de lo expuesto hasta ahora, es posible establecer las siguientes configuraciones para los canales analógicos, en las que con la ganancia se puede compensar la amplitud total a la entrada del convertidor analógico-digital de la siguiente manera:

**Tabla 8. Configuraciones para entrada de canales analógicos del ADE7758**

Rango de entrada del canal de corriente	Entrada del convertidor $\Delta$ - $\Sigma$		
	+/-0,5V	+/-0,25V	+/-0,125V
+/-0,5V	x1	-	-
+/-0,25V	x2	x1	-
+/-0,125V	x4	x2	x1
+/-0,0625V	-	x4	x2
+/-0,0313V	-	-	x4

Estas configuraciones mostradas dependen de la señal que se tiene a la entrada de los canales analógicos del periférico y de la señal que se desea tener a la entrada del convertidor analógico-digital, por lo que es importante destacar que la mayor tensión permitida en la entrada del convertidor analógico-digital es de  $\pm 0,5V$  la que no puede ser excedida sin generar daños permanentes en el funcionamiento del circuito integrado.

### Modulación Delta-Sigma

A continuación se presenta un diagrama de bloques de la etapa de modulación del circuito integrado, el cual es muy parecido al sistema utilizado en el periférico anterior (MCP3911). La Figura 15 muestra un diagrama de bloques ofrecido por la empresa para representar su funcionamiento.

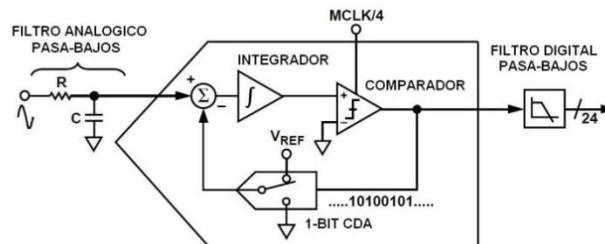


Figura 15. Diagrama de bloques Modulador Delta-Sigma del ADE7758

### Cálculo de variables eléctricas

Como se mencionó al inicio de esta sección, gracias a la selección de este circuito integrado es posible realizar varias operaciones, que al inicio fueron proyectadas para ser realizadas a través del firmware del dispositivo M2M IAMBOX LCD, por lo que esto simplifica el procesamiento de las señales; y nos deja como único cálculo de los definidos para ser realizados a fin de caracterizar la carga eléctrica el cálculo del factor potencia generado por la carga; y el resto será realizado en las operaciones internas del dispositivo, entre los que tenemos:

- El valor eficaz (RMS) tanto de la corriente como de la tensión eléctrica.
- La potencia activa, aparente y reactiva consumida por la carga eléctrica.

Los que son expuestos en más detalle en el ANEXO N° 2.

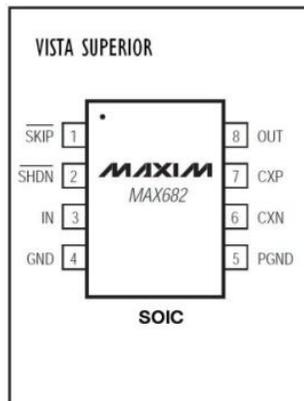
### **Solución de problemas de alimentación del periférico[12]**

#### *Circuito integrado MAX682*

Como se planteó al inicio de la descripción del dispositivo ADE7758, este requiere de una alimentación diferente a la utilizada para alimentar el dispositivo M2M IAMBOX LCD, la cual es de 5V y en el caso del dispositivo es de 3,3V; por lo tanto se requiere de un circuito integrado adicional para realizar una conversión en la tensión de alimentación para hacerlo compatible con las características del dispositivo, y por ello se escogió el circuito integrado de la casa Maxim Integrated Products, el MAX682 el cual actúa como un regulador de tensión, entre sus principales características se encuentran:

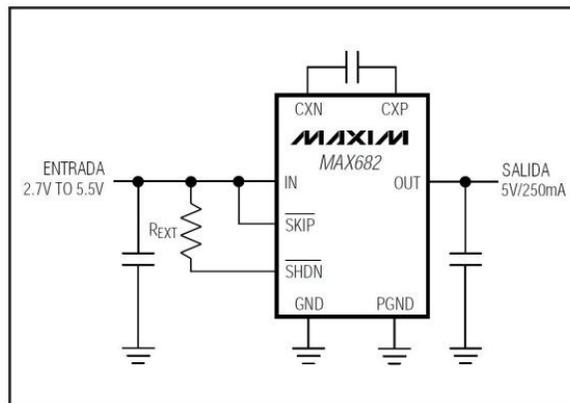
- No requiere inductores para su correcto funcionamiento.
- El rango de voltaje de entrada va desde 2,7V a 5,5V.
- La tensión de salida tiene una regulación de +/-4%.
- Voltaje de salida de 5V.
- Una corriente de salida superior a los 250mA.

A continuación se presenta el encapsulado de este circuito integrado, el cual es de tipo SOIC y es el único tipo de encapsulado disponible.



**Figura 16. Encapsulado del MAX682**

En la Figura 17 se muestra la configuración típica para su correcto funcionamiento, la cual es recomendada por la empresa.



**Figura 17. Configuración típica para el funcionamiento del MAX682**

De este esquemático presentado la empresa también realiza una sugerencia del valor de los componentes electrónicos que deben ser conectados para propiciar un correcto funcionamiento en el circuito integrado, estos valores son presentados en la Tabla 9.

**Tabla 9. Valores recomendados para la implementación del MAX682**

Salida	$C_{IN}$	$C_x$	$C_{OUT}$	$V_{OUT}$ Ripple
250 mA	1 $\mu$ F	0,47 $\mu$ F	2,2 $\mu$ F	80 mV

En la Tabla 9 se observa que al usar los valores propuestos por la empresa se puede lograr una corriente de salida para ser consumida por el periférico de 250 mA y una tensión de rizado máxima de 80 mV, por lo tanto presenta valores suficientes para su implementación.

### 3.2.3. Selección realizada

Después de exponer las principales características de los circuitos integrados expuestos en esta sección, para desempeñar la función como periférico definitivo para su implementación en este proyecto, se presenta en la Tabla 10 una comparación entre los periféricos para justificar la selección realizada.

**Tabla 10. Comparación entre los periféricos MCP3911 y ADE7758**

<b>Características</b>	<b>MCP3911</b>	<b>ADE7758</b>
<b>Casa de producción</b>	Microchip Inc.	Analog Devices
<b>Nº de canales analógicos</b>	2	6
<b>Entrada máx. de canales analógicos</b>	+/-600mV	+/- 500mV
<b>Tensión de alimentación</b>	2,7V a 3,6V	4,75V a 5,25V
<b>Interfaz de comunicación</b>	SPI	SPI
<b>Tipo de conversión analógico-digital</b>	Delta-Sigma	Delta-Sigma
<b>Tipo de encapsulado</b>	QFN, SSOP	SOIC
<b>Frecuencia máxima de trabajo</b>	4MHz	10MHz
<b>Diferencia entre referencia analógica y digital</b>	Si	Si
<b>Resolución de muestreo digital</b>	24 bits y 16 bits	24 bits
<b>Integrador Digital</b>	No	Si
<b>Procesamiento interno de señales</b>	No	Si

Luego de la comparación realizada en la Tabla 10, se observa gran similitud entre los dos periféricos incluidos en el proceso de selección para este proyecto, teniendo como razón principal para la implementación del MCP3911 el hecho de que es desarrollado por la misma casa que produce la gran mayoría de los componentes electrónicos utilizados en los dispositivos M2M IAMBOX (Microchip Inc.); sin embargo, en lo que respecta a este diseño, como requisito impuesto por los clientes, es necesario realizar mediciones trifásicas, por lo tanto si se lleva cabo el proyecto con este primer integrado será necesario utilizar más de un dispositivo para realizar dichas mediciones, no obstante si se realiza la implementación con el ADE7758 se puede realizar la misma medición trifásica con la utilización de un solo dispositivo. Otra de las ventajas que ofrece el uso del ADE7758, es que incluye dentro de las funciones realizadas intrínsecamente; la capacidad para efectuar el cálculo de algunas de las variables que definen una carga eléctrica (valor eficaz de la corriente y de la tensión; potencia activa, reactiva y aparente), lo que facilita la fase de programación y configuración de estos procesos por medio de los registros del periférico. En detrimento del ADE7758 hay que decir que su nivel de alimentación difiere del resto de los circuitos integrados involucrados en el producto realizado por la empresa de 3,3V; por lo se hace necesario el uso de un circuito integrado adicional, el cual fue descrito en la sección previa. A pesar de ello, el ADE7758 se presenta como la mejor opción a ser empleada para este proyecto, por lo cual es la opción seleccionada.

#### **3.2.4. Diseño e implementación del periférico seleccionado**

Ya con el periférico seleccionado, y teniendo en cuenta todo el diseño realizado hasta ahora para el resto del dispositivo M2M IAMBOX LCD, el cual fue llevado a cabo por la empresa, se presenta el diseño realizado considerando las recomendaciones dadas por la casa Analog Devices. [13]

En concordancia con el esquemático mostrado en la Figura 37 (ANEXO N° 7), ahora se procederá a mostrar los componentes electrónicos utilizados para llevar a cabo este diseño y así permitir el correcto funcionamiento del periférico ADE7758,

en la Tabla 11 se muestra el valor de los componentes involucrados en la composición de este esquemático y en la Tabla 12 se presentan las funciones principales de los mismos.

**Tabla 11. Componentes electrónicos involucrados en el diseño del ADE7758[13]**

<b>Nombre</b>	<b>Componente</b>	<b>Valor</b>
<b>C1, C10</b>	Condensador de tantalio	10 $\mu$ F; 6,3V; 20%
<b>C2-C3, C9</b>	Condensador de cerámica	100nF; 50V, 10%
<b>C4</b>	Condensador electrolítico	220 $\mu$ ; 6,3V; 20%
<b>C5-C8</b>	Condensador de cerámica	33nF; 50V; 5%
<b>C11-C12</b>	Condensador de cerámica	22pF; 50V; 5%
<b>R1</b>	Resistencia superficial	10 $\Omega$ ; 1/8W; 1%
<b>R2-R3, R6-R7</b>	Resistencia	1k $\Omega$ ; 1/8W; 1%
<b>R4</b>	Resistencia	Valor por ser determinado
<b>R5</b>	Resistencia	Valor por ser determinado
<b>R8</b>	Resistencia	10k $\Omega$ ; 1/8W; 1%
<b>R9-R10</b>	Resistencia	820 $\Omega$
<b>X1</b>	Cristal	10MHz
<b>D1-D2</b>	Diodo	LED de 3mm

**Tabla 12. Funciones principales de los componentes incluidos en el diseño del ADE7758**

<b>Componente</b>	<b>Función</b>
<b>C1-C2</b>	Desacople de la alimentación y tierra digitales.
<b>C3-C4, C9-C10</b>	Desacople de la alimentación y tierra analógicas.
<b>C5-C8</b>	Alisado de la señal analógica para su lectura por los canales analógicos.
<b>R1</b>	Separación de la alimentación analógica y la digital.
<b>R2-R3</b>	Junto con los condensadores (C5 al C8) contribuye al filtrado de la señal para su lectura a la entrada de los canales analógicos.
<b>R8</b>	Resistencia de pull-up para la comunicación con el MCU.
<b>C11-C12</b>	Pedestal para permitir la oscilación del cristal.
<b>R4-R7</b>	Resistencia de carga y divisores de tensión para conexión con sensores.
<b>D1-D2</b>	Indicador visual para la calibración del periférico.
<b>X1</b>	Oscilador que establece la frecuencia de trabajo del periférico.
<b>R9-R10</b>	Resistencias de carga para los LEDS.

Además de presentar el esquemático y las funciones principales de los componentes electrónicos involucrados en este diseño, para continuar con el diseño se establece que el máximo valor permitido a la entrada de los canales analógicos será de 0,25V, es decir que se tendrá un factor de diseño del 50%.

### **3.3. SELECCIÓN DE LOS SENSORES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES**

#### **3.3.1. Selección del sensor de corriente alterna**

Partiendo de la comparación hecha en la Tabla 5, en la que se presentan las principales características de los sensores de corriente alterna; se puede acotar, como también se mencionó en el capítulo anterior, que el mejor sensor a ser utilizado para esta aplicación particular es el de Bobina de Rogowski. Entre las características que favorecen su selección tenemos:

- Costos más bajos, debido al tipo de material utilizado para este tipo de sensor el cual posee un núcleo de aire.
- Gran rango de mediciones posibles, no está limitado por la saturación de un núcleo férrico como en otros casos.
- Bajo consumo de potencia, no impone carga eléctrica apreciable para el circuito.

Por motivo de los criterios de diseño establecidos para realizar este proyecto, considerando que el rango de corriente alterna en cual se llevarán a cabo las mediciones está entre 0 y 5 A; se realizará la selección de un sensor compatible con esta magnitud de corriente alterna, por lo tanto el sensor seleccionado es del tipo de transformador de corriente con núcleo dividido. Todo esto se lleva a efecto a pesar de que previamente se realizó una comparación entre sensores y esto arrojó como resultado que el sensor de bobina de Rogowski es el indicado para realizar

mediciones de corriente alterna. Esto siempre que, el caso considerado para las mediciones sea de magnitudes superiores a las decenas de Amperes, condición que no aplica para este proyecto.

*Transformador de corriente[14]*

Para la aplicación particular de este proyecto fue seleccionado un sensor CTSA010 de la casa YUANXING Electronics; el cual maneja una corriente de hasta 75A, pero se seleccionó con las características presentadas en la Tabla 13.

**Tabla 13. Características del sensor CTSA010**

<b>Sensor CTSA010</b>	
<b>Corriente nominal</b>	10 A
<b>Exactitud</b>	Clase 1
<b>Relación de transformación</b>	1:1000
<b>Error en medición de fase</b>	$\leq 30^\circ$
<b>Máxima corriente permitida</b>	200 A
<b>Temperatura de operación</b>	-15°C a 50°C
<b>Salida máxima</b>	333mVrms
<b>Frecuencia de trabajo</b>	50-400Hz
<b>Voltaje de aislamiento</b>	$\leq 720\text{Vrms}$

Ya realizada la selección del sensor para realizar la medición solo queda determinar el valor de la resistencia de carga que será utilizada para conectar el transformador con la entrada del canal analógico del periférico. Para realizar el cálculo se debe considerar que la corriente tendrá como valor máximo 5A, y que además la relación de transformación (a) es de 1:1000, por lo que si calculamos el valor de la corriente en el lado de baja del transformador tendremos la ecuación (25).

$$R4 = \frac{0,25V}{\frac{I_{entrada}}{a}} = \frac{0,25V}{\frac{5A}{1000}} = 50\Omega \quad (25)$$

Y como se mostró, en el diseño anterior se utilizarán resistencias de 1% de tolerancia y de 1/8W, además que el valor de  $50\Omega$  está en la gama de las resistencias comerciales.

#### *Bobina de Rogowski [15]*

Como ya se mencionó anteriormente, además del sensor ya impuesto a razón de las características particulares del proyecto, se procederá a realizar la recomendación de un sensor de bobina de Rogowski.

El sensor recomendado será de la casa J&D Electronics, es el JRF333, cuyas principales características se muestran a continuación en la Tabla 14.

**Tabla 14. Características del sensor JRF333**

<b>Sensor JRF333</b>	
<b>Corriente Nominal</b>	6000 A
<b>Exactitud</b>	Entre <1% y <2% hasta 700% de la corriente nominal
<b>Error en medición de fase</b>	<1° a la corriente nominal
<b>Temperatura de operación</b>	-20°C a 60°C
<b>Salida</b>	333mVrms
<b>Frecuencia de trabajo</b>	45Hz a 600Hz
<b>Aislamiento</b>	Categoría III

Además de lo ya expuesto, es importante destacar que este sensor cuenta con un integrador para pasar de la derivada de la corriente a la señal de corriente medida desde la carga (lo que se explicó en el capítulo anterior con relación a las bobinas de Rogowski).

### **3.3.2. Selección del sensor de tensión alterna**

En el caso de la medición de la tensión alterna, se implementará un divisor de tensión para reducir el nivel de la onda de tensión de su valor nominal a los valores tolerados por la entrada analógica del periférico a ser implementado en este proyecto;

a continuación se presenta en la Tabla 15 los valores de tensión nominal a ser medidos y los valores tolerados a la entrada de los canales analógicos del ADE7758.

**Tabla 15. Niveles de voltaje trabajados en el diseño**

Valores	Niveles de voltaje
<b>Voltaje en la carga</b>	
<b>Voltaje máximo eficaz</b>	508 V
<b>Voltaje máximo pico-pico</b>	+/-718,4204 V
<b>Voltaje nominal eficaz</b>	480 V
<b>Voltaje nominal pico-pico</b>	+/-678,8225 V
<b>Voltaje en los canales analógicos</b>	
<b>Voltaje eficaz</b>	0,3535V
<b>Voltaje pico-pico</b>	+/-0,5V

Partiendo de los valores presentados en la Tabla 15, se realizará el cálculo para el divisor de tensión considerando una reserva del 50% del total permitido a la entrada del canal analógico, por lo tanto se tendrá lo siguiente:

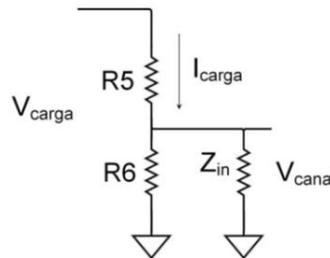
$$V_{CAR} = V_{CA} \times 0,5 = 0,5V \times 0,5 = 0,25V \quad (26)$$

Donde  $V_{CAR}$  es el nivel de voltaje a la entrada del canal analógico del periférico y  $V_{CA}$  es el nivel de tensión a la entrada del canal analógico con la reserva planteada en el diseño, y de la ecuación planteada se presenta el resultado de que la nueva tensión de entrada será de 0,25V, lo que debe ser la salida máxima del divisor de tensión.

Como segunda consideración para el divisor de tensión se tiene que la resistencia de carga al canal analógico de tensión (R6) debe ser mayor de  $1k\Omega$ , y considerando la impedancia característica mínima de entrada del canal analógico ( $Z_{in}$ ) de  $380k\Omega$  (según la hoja de datos del ADE7758) se tendrá que una de las ecuaciones de trabajo para el diseño será:

$$\frac{678,8225V}{\frac{1k\Omega \cdot 380k\Omega}{1k\Omega + 380k\Omega} + R5} = I_{carga} \quad (27)$$

Donde las incógnitas planteadas son la corriente de carga disipada en el divisor de tensión y R5, una de las resistencias del divisor de tensión. La Figura 18 muestra un diagrama del divisor de tensión.



**Figura 18. Divisor de tensión a la entrada del canal analógico del ADE7758**

Y para calcular el sistema formado se utilizará la ecuación clásica para el cálculo del divisor de tensión la que permitirá saber la tensión que recaerá en el paralelo de la impedancia de entrada ( $Z_{in}$ ) y R6, que en nuestro caso se estableció con un valor máximo de 0,25V, como lo muestra la ecuación lo que conduce a con la ecuación (28).

$$678,8225V \times \frac{\frac{1k\Omega \cdot 380k\Omega}{1k\Omega + 380k\Omega}}{\frac{1k\Omega \cdot 380k\Omega}{1k\Omega + 380k\Omega} + R5} = 0,25V \quad (28)$$

De la resolución de este sistema de ecuaciones se obtienen unos valores teóricos, pero al considerar los valores comerciales existentes con tolerancia del 1% se obtendrán valores modificados, presentados en la Tabla 16.

**Tabla 16. Valores teóricos y modificados de R5 e  $I_{carga}$**

	<b>R5</b>	<b><math>I_{carga}</math></b>
<b>V. Teórico</b>	2,70716 M $\Omega$	0,25065 mA
<b>V. Modificado</b>	2,74 M $\Omega$	0,2476 mA

### **3.4. SELECCIÓN DE ALGORITMOS PARA EL PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES ELÉCTRICAS**

Ya con los sensores seleccionados en la sección anterior, y los algoritmos mencionados en el capítulo anterior, tan solo nos queda indicar en esta sección que clase de señales serán trabajadas a lo largo de este proyecto y cuáles son las variables que deben ser definidas por medio de ellas, pero debido a la selección realizada del periférico (Front-end) la mayoría de las variables a ser calculadas ya tienen métodos de cálculo dentro del funcionamiento del periférico; lo que trae como consecuencia que sólo se deba realizar la lectura de los valores calculados a partir de las mediciones y únicamente se deba realizar el escalamiento de los valores obtenidos para su posterior presentación al usuario.

#### **3.4.1. Cálculo del valor eficaz de la corriente**

El cálculo del valor la eficaz de la corriente se realizará utilizando el proceso interno de procesamiento del ADE7758.

##### **Cálculo de exactitud de la variable**

Para considerar el proceso que se lleva a cabo para realizar la medición de la forma de onda de corriente, nos vemos en la obligación de estudiar el sensor utilizado para calcular de la precisión; por lo tanto si se recuerdan los valores presentados en la Tabla 13 donde se establece que el rango de entrada del sensor varía entre 0 y 10A (aunque, la corriente máxima medida es de 5A) y la relación de transformación es de 1:1000, además que la resistencia de carga calculada es de  $50\Omega$ , y si se toma en cuenta que el sensor es clase 1 y la tolerancia de la resistencia es de 1%; entonces podemos establecer para el cálculo del valor eficaz de la corriente, aproximando el cálculo a una onda perfectamente sinusoidal, la ecuación (29), donde se presenta la función de transferencia que pasa la medida de un valor en corriente a un valor en voltaje.

$$V_{EI} = \frac{I_{m\acute{a}x} \cdot R4}{\sqrt{2} \cdot a} \quad (29)$$

Y si se calcula el error del sensor de corriente tenemos:

$$\Delta I = \frac{1}{100} \cdot 10A = 0,1A \quad (30)$$

Tambi3n calculando el error en el valor de la resistencia:

$$\Delta R4 = \frac{1}{100} \cdot 50\Omega = 0,5\Omega \quad (31)$$

Por lo que a continuaci3n se aplicar3 el m3todo de las derivadas parciales para obtener el error en el c3lculo del valor eficaz de la corriente.

$$\Delta V_{EI} = \frac{\partial}{\partial R4} \left( \frac{I_{m\acute{a}x} \cdot R4}{\sqrt{2} \cdot a} \right) + \frac{\partial}{\partial I} \left( \frac{I_{m\acute{a}x} \cdot R4}{\sqrt{2} \cdot a} \right) = \left| \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2} \cdot a} \right| \cdot \Delta R4 + \left| \frac{R4}{\sqrt{2} \cdot a} \right| \cdot \Delta I \quad (32)$$

$$\Delta V_{EI} = 5,303mV$$

Como se puede ver este error es con respecto al equivalente del voltaje a la entrada del canal anal3gico, por lo que si observamos el error relativo con respecto a la entrada m3xima posible tenemos:

$$\% \Delta V_E = \frac{7,07106mV}{0,5V} \cdot 100 = 1,4142\% \quad (33)$$

Calculado el error relativo se puede aplicar esta misma proporci3n a la corriente medida por el sensor de corriente.

### 3.4.2. C3lculo del valor eficaz de la tensi3n

El c3lculo del valor eficaz de la tensi3n se realizar3 utilizando el proceso interno de procesamiento del ADE7758.

### Cálculo de exactitud de la variable

Para el caso de la tensión el proceso que se efectúa al realizar la medición de la forma onda se lleva a cabo por medio de un divisor de tensión, compuesto por las resistencias R5 y R6; y al igual que en el caso de la corriente se considera una aproximación al cálculo de una onda perfectamente sinusoidal. Por otra parte, asumiendo que el valor de todas las resistencias involucradas es de 1%; se establece la función de transferencia del valor eficaz de la tensión en la ecuación (34).

$$V_{EV} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{R6 \cdot Z_{in}}{(R6 + Z_{in}) \cdot R5 + R6 \cdot Z_{in}} \quad (34)$$

Y si se calcula el error de cada resistencia tenemos:

$$\Delta R5 = \frac{1}{100} \cdot 2,74M\Omega = 27,4k\Omega \quad (35)$$

$$\Delta R6 = \frac{1}{100} \cdot 1k\Omega = 10\Omega \quad (36)$$

Por lo que a continuación se aplicará el método de las derivadas parciales para obtener el error en el cálculo del valor eficaz de la tensión.

$$\begin{aligned} \Delta V_{EV} &= \frac{\partial}{\partial R5} \left( \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{R6 \cdot Z_{in}}{(R6 + Z_{in}) \cdot R5 + R6 \cdot Z_{in}} \right) + \frac{\partial}{\partial R6} \left( \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{R6 \cdot Z_{in}}{(R6 + Z_{in}) \cdot R5 + R6 \cdot Z_{in}} \right) \\ \Delta V_{EV} &= \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \cdot \left| \frac{R6 \cdot Z_{in} \cdot (R6 + Z_{in})}{((R6 + Z_{in}) \cdot R5 + R6 \cdot Z_{in})^2} \right| \cdot \Delta R5 + \\ &\frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \cdot \left| \frac{Z_{in}}{(R6 + Z_{in}) \cdot R5 + R6 \cdot Z_{in}} - \frac{R6 \cdot Z_{in} \cdot (R5 + Z_{in})}{((R6 + Z_{in}) \cdot R5 + R6 \cdot Z_{in})^2} \right| \cdot \Delta R6 \\ \Delta V_{EV} &= 3,4873mV \end{aligned} \quad (37)$$

Como se puede ver, este error es con respecto al equivalente del voltaje a la entrada del canal analógico, por lo que si observamos el error relativo con respecto a la entrada máxima posible tenemos:

$$\% \Delta V_{EV} = \frac{3,4873 \cdot mV}{0,5V} \cdot 100 = 0,6974\% \quad (38)$$

Ahora calculado el error relativo se puede aplicar esta misma proporción a la corriente medida por el sensor de corriente.

### 3.4.3. Cálculo de la potencia activa

El cálculo del valor la potencia activa se realizará utilizando el proceso interno de procesamiento del ADE7758.

#### Cálculo de exactitud de la variable

Para el cálculo de la exactitud de la potencia activa consumida por la carga, se parte de los errores obtenidos tanto para el cálculo del valor eficaz de la corriente como el de la tensión, considerando un caso en el que no existe desfase entre las señales (potencia máxima) y asumiendo el cálculo de la potencia activa para dos ondas perfectamente sinusoidales; y con un error en fase en la lectura del sensor de corriente de  $30'$ , tenemos que la potencia activa tiene como función de transferencia la ecuación (39).

$$P = I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \cos(\theta) \quad (39)$$

Si se calcula el valor del error en fase del sensor, sabiendo que  $30'$  es igual a  $0,5^\circ$ , realizando la conversión a radianes el valor resultante es de 0,008726 radianes. Donde se tomaran los valores máximos a ser medidos para este proyecto de 5A con un valor eficaz de 3,5355A y una tensión que en valor eficaz es de 480V. Aplicando el método de derivadas parciales para el cálculo del error tenemos:

$$\begin{aligned}
\Delta P &= \frac{\partial}{\partial I_{RMS}} (I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \cos(\theta)) + \frac{\partial}{\partial V_{RMS}} (I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \cos(\theta)) + \\
&\quad \frac{\partial}{\partial \theta} (I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \cos(\theta)) \\
\Delta P &= |V_{RMS} \cdot \cos(\theta)| \cdot \Delta I_{RMS} + |I_{RMS} \cdot \cos(\theta)| \cdot \Delta V_{RMS} + \\
&\quad |-I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \text{sen}(\theta)| \cdot \Delta \theta \\
\Delta P &= 44,6459W
\end{aligned} \tag{40}$$

Si calculamos el error relativo con respecto a la potencia máxima calculada se obtiene:

$$\% \Delta P = \frac{44,6459W}{1697,05627W} \cdot 100 = 2,6307\% \tag{41}$$

#### 3.4.4. Cálculo de la potencia reactiva

El cálculo del valor la potencia reactiva se realizará utilizando el proceso interno de procesamiento del ADE7758.

##### Cálculo de exactitud de la variable

Al igual que en el caso de la potencia activa consumida para el cálculo de la exactitud se parte de los errores obtenidos tanto para el cálculo del valor eficaz de la corriente como el de la tensión, considerando un caso en el que el desfase entre las señales es de 90° (potencia reactiva máxima) y asumiendo el cálculo de la potencia reactiva para dos ondas perfectamente sinusoidales; y teniendo un error en fase en la lectura del sensor de corriente de 30', tenemos que la potencia reactiva tiene como función de transferencia la ecuación (42).

$$Q = I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \text{sen}(\theta) \tag{42}$$

Si se calcula el valor del error en fase del sensor, sabiendo que 30' es igual a 0,5°, realizando la conversión a radianes el valor resultante es de 0,008726 radianes.

Donde se tomarán los valores máximos a ser medidos para este proyecto de 5A con un valor eficaz de 3,5355A y una tensión que en valor eficaz es de 480V. Aplicando el método de derivadas parciales para el cálculo del error tenemos:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \frac{\partial}{\partial I_{RMS}} (I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \text{sen}(\theta)) + \frac{\partial}{\partial V_{RMS}} (I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \text{sen}(\theta)) + \\ &\quad \frac{\partial}{\partial \theta} (I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \text{sen}(\theta)) \\ \Delta Q &= |V_{RMS} \cdot \text{sen}(\theta)| \cdot \Delta I_{RMS} + |I_{RMS} \cdot \text{sen}(\theta)| \cdot \Delta V_{RMS} + \\ &\quad |I_{RMS} \cdot V_{RMS} \cdot \text{cos}(\theta)| \cdot \Delta \theta \\ \Delta Q &= 44,6459VAR \end{aligned} \tag{43}$$

Si calculamos el error relativo con respecto a la potencia máxima calculada se obtiene:

$$\% \Delta Q = \frac{44,6459VAR}{1697,05627VAR} \cdot 100 = 2,6307\% \tag{44}$$

### 3.4.5. Cálculo de la potencia aparente

El cálculo del valor la potencia aparente se realizará utilizando el proceso ya expuesto en la sección de la selección del ADE7758.

#### Cálculo de exactitud de la variable

Para el caso de la potencia aparente el error se calcula considerando los errores obtenidos para el valor de la tensión y corriente eficaz, tenemos como función de transferencia en esta situación la siguiente ecuación.

$$S = I_{RMS} \cdot V_{RMS} \tag{45}$$

Sabiendo que los valores máximos a ser medidos para este proyecto de 5A con un valor eficaz de 3,5355A y una tensión que en valor eficaz es de 480V. Aplicando el método de derivadas parciales para el cálculo del error tenemos:

$$\begin{aligned}\Delta S &= \frac{\partial}{\partial I_{RMS}} (I_{RMS} \cdot V_{RMS}) + \frac{\partial}{\partial V_{RMS}} (I_{RMS} \cdot V_{RMS}) \\ \Delta S &= |V_{RMS}| \cdot \Delta I_{RMS} + |I_{RMS}| \cdot \Delta V_{RMS} \\ \Delta S &= 29,8363VA\end{aligned}\tag{46}$$

Y si calculamos el error relativo con respecto a la potencia máxima calculada se obtiene:

$$\% \Delta S = \frac{29,8363VA}{1697,05627VA} \cdot 100 = 1,7581\%\tag{47}$$

#### 3.4.6. Cálculo del factor de potencia

En el caso del cálculo del factor de potencia en este proyecto se utilizará la ecuación expuesta en el capítulo anterior (Ecuación (22)), para realizar la operación se utilizarán los valores obtenidos del cálculo de la potencia aparente y la potencia activa por medio del circuito integrado ADE7758.

##### Cálculo de exactitud de la variable

Para el cálculo del error en el factor de potencia, se partirá de la ecuación ya planteada para realizar el cálculo, y sabiendo que el valor máximo que puede tomar el factor de potencia será igual 1, además de considerar los errores obtenidos en los cálculos realizados tanto de la potencia activa como aparente:

$$\Delta fp = \frac{\partial}{\partial P} \left( \frac{P}{S} \right) + \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{P}{S} \right)$$

$$\Delta fp = \left| \frac{1}{S} \right| \cdot \Delta P + \left| -\frac{P}{S^2} \right| \cdot \Delta S \quad (48)$$

$$\Delta fp = 0,043889$$

Si calculamos el error relativo con respecto al factor de potencia máximo se obtiene.

$$\% \Delta fp = \frac{0,043889}{1} \cdot 100 = 4,3889\% \quad (49)$$

### **3.5. PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTINAS PARA LA CALIBRACIÓN Y CONTROL DEL ADE7758**

Luego de expuestos los cálculos que deberán ser realizados para hallar los valores de las variables eléctricas necesarias para definir una carga eléctrica, a continuación se presentan los algoritmos que se llevarán a cabo en el RTOS (Real Time Operating System) del dispositivo M2M IAMBOX LCD v13, para contralar y configurar el funcionamiento del periférico seleccionado (ADE7758), adicionalmente se mostrara la información que será enviada a los registros de memoria del periférico para lograr su correcto funcionamiento.

#### **3.5.1. Configuración de registros del ADE7758**

Tal como se mencionó, es necesario realizar la configuración de los registros de memoria del ADE7758, para garantizar que éste funcione dentro de los parámetros establecidos para realizar las mediciones y el cálculo de las variables eléctricas; por lo que ahora se describe de una manera sencilla como la información es escrita y leída de los registros, y el mapa de memoria con una descripción del propósito de cada registro.

## Escritura y lectura de registros

En la exposición del periférico ADE7758 se mencionó que la forma de comunicación entre él y la unidad de procesamiento central es la interfaz SPI (Serial Peripheral Interface por sus siglas en inglés), por lo que ahora se presentará la descripción del funcionamiento de esta interfaz de comunicación, para también comprender como se envía la información al periférico.

### *Estructura simple del hardware del bus SPI, para el ADE7758*

La interfaz de comunicaciones SPI (un tipo de comunicación serial sincrónica) permite la comunicación entre dos o más circuitos integrados, donde uno funciona como maestro (el que inicia, concluye y controla la velocidad de comunicación) y el resto funciona como esclavos (responde a las directrices establecidas por el maestro), este bus consta de cuatro pines que permiten llevar a cabo la comunicación, que se describen a continuación:

- Data Output, permite la salida de la información serial para la comunicación con otros dispositivos.
- Data Input, permite la lectura de la información serial enviada por otros dispositivos.
- Serial Clock, genera la señal de reloj sincrónica desde el maestro para sincronizar la transferencia de información con el esclavo.
- Chip Select, activa el dispositivo para permitir la comunicación con varios esclavos, ya que a pesar de que este tipo de comunicaciones permite comunicar varios dispositivos, solo permite la comunicación entre el maestro y uno de los esclavos a la vez.

Se presenta un diagrama en la Figura 38 (ANEXON N° 8) que ilustra la conexión de un maestro y varios esclavos utilizando la interfaz de comunicación SPI, considerando la descripción realizada.

### *Direccionamiento*

Antes de realizar cualquier lectura o escritura de los registros de memoria del periférico ADE7758 es necesario indicar el direccionamiento, considerando que para la comunicación sincrónica SPI los datos son enviados y recibidos de byte en byte; se tiene que la estructura del byte enviado para realizar la lectura presenta la siguiente estructura:

**Tabla 17. Direccionamiento del ADE7758**

<b>Byte de direccionamiento</b>							
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
E/ $\bar{L}$	Dirección del registro						

De la Tabla 17 se puede observar cómo está estructurada la información donde:

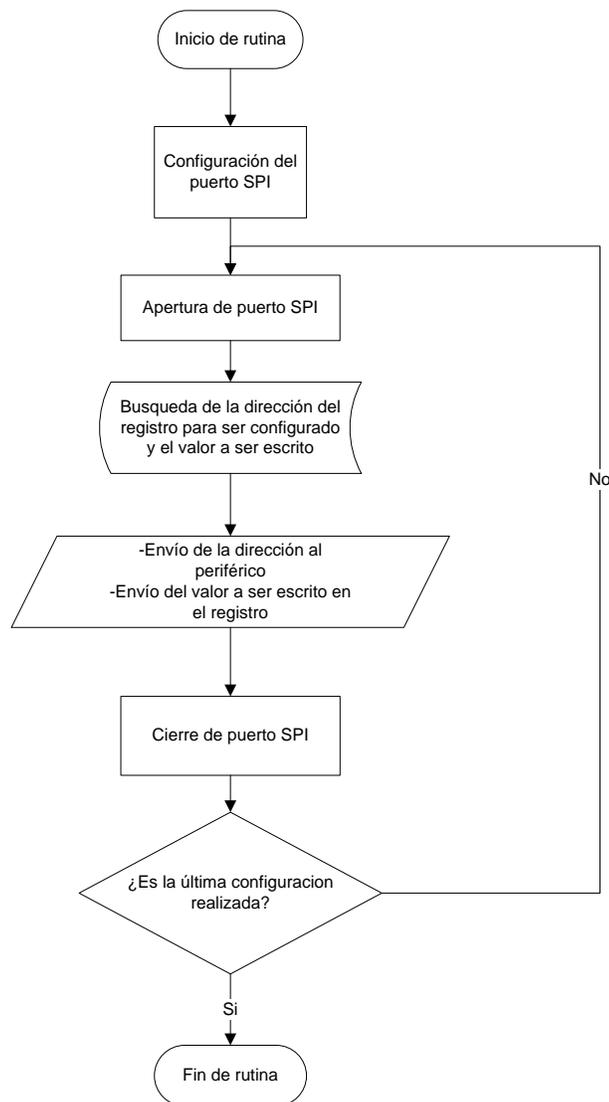
- Bit 7, indica si lo que se realizará es una lectura o escritura del registro (uno lógico para escritura y cero para lectura).
- Bit 6 al 0, contienen la dirección del registro a ser operado.

### **Registros del ADE7758**

Ahora después de vista la manera en que la comunicación se realiza se presenta un listado de los registros que serán utilizados en la Tabla 26 (ANEXO N° 10) tanto para ser leídos como para escribir sobre ellos y así configurar el funcionamiento del periférico.

### **Rutina para la configuración primaria del ADE7758**

Ya mostrados el listado de los registros utilizados los cuales serán configurados para dar inicio al funcionamiento del ADE7758, se procede a presentar en la Figura 19 la rutina que permite llevar esto a efecto en la programación realizada en el proyecto.

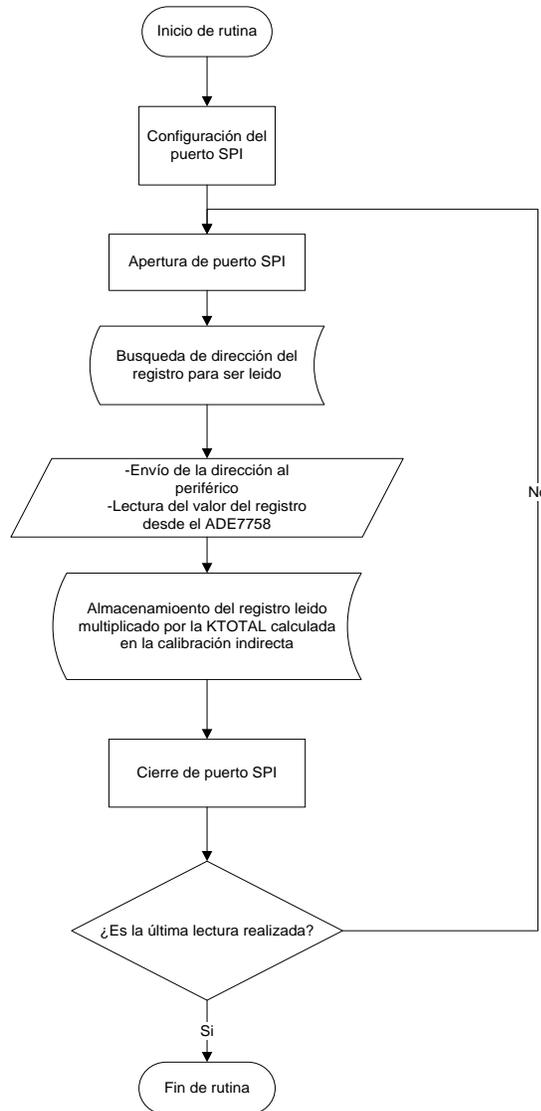


**Figura 19. Diagrama de flujo de la configuración de los registros del ADE7758**

### **3.5.2. Lectura de registros del ADE7758**

Para este caso, donde se realiza la lectura de los registros desde el ADE7758 se presenta un caso semejante a la configuración del periférico, con la única diferencia que ahora los valores obtenidos serán leídos y almacenados en la memoria de la unidad de procesamiento central, adicionalmente se debe considerar que los valores que serán tomados de los registros son los valores de las variables eléctricas

previamente calculados en las funciones propias del periférico. En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo de la rutina:



**Figura 20. Diagrama de flujo de la lectura realizada desde los registros del ADE7758**

### 3.5.3. Calibración indirecta

A pesar de que se puede agregar o retirar ganancia a las señales leídas desde los canales analógicos del ADE7758, y adicionalmente se puede compensar el desplazamiento de las señales con respecto a la referencia establecida; se introdujo

una rutina que permite graduar la lectura obtenida desde el periférico para cada una de las variables.

### **Constante de calibración**

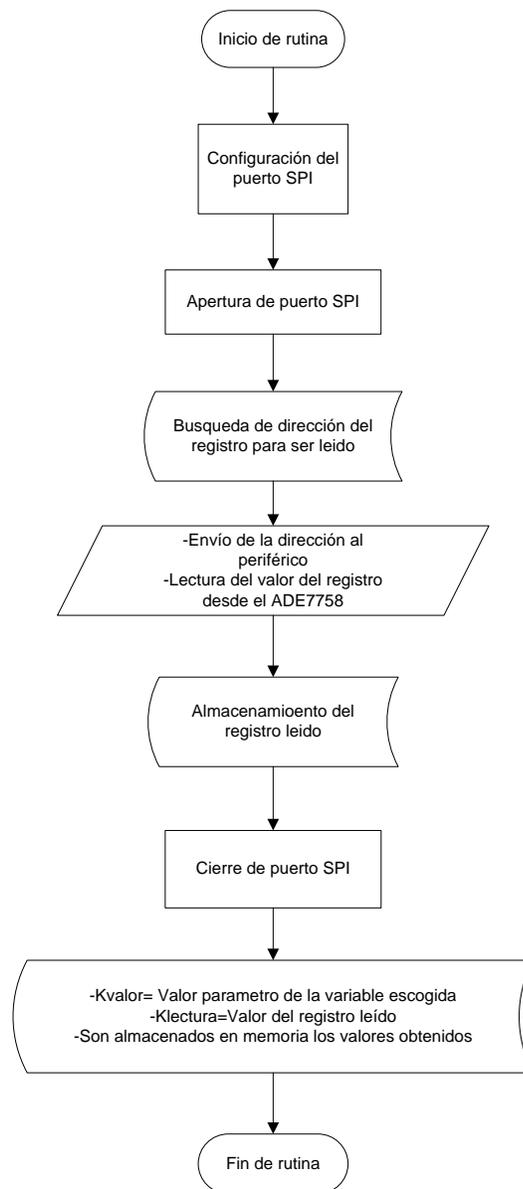
La calibración de los valores obtenidos se realiza fijando un parámetro de lectura, es decir que con un valor en las variables leídas directamente previamente fijado (tensión y corriente eléctrica) se realiza un cálculo para establecer una equivalencia del valor leído con el que es arrojado por el dispositivo, lo que se logra al aplicar la ecuación (50):

$$K_{TOTAL} = \frac{K_{Valor}}{K_{Lectura}} \quad (50)$$

Donde  $K_{TOTAL}$  es el valor de la constante que escalará todos los valores leídos desde el periférico para cualquiera de las variables obtenidas en cada una de las fases (valor eficaz de corriente y tensión, valor de la potencia activa, reactiva y aparente),  $K_{Valor}$  es el valor de la variable eléctrica el cual fue fijado con antelación para realización de la prueba y por último  $K_{Lectura}$  es el valor equivalente leído desde el periférico para el valor de la variable que ya fue fijado.

### **Rutina para el cálculo de la constante de calibración**

En la Figura 21 muestra el diagrama de flujo del proceso realizado para el cálculo de la constante de calibración.

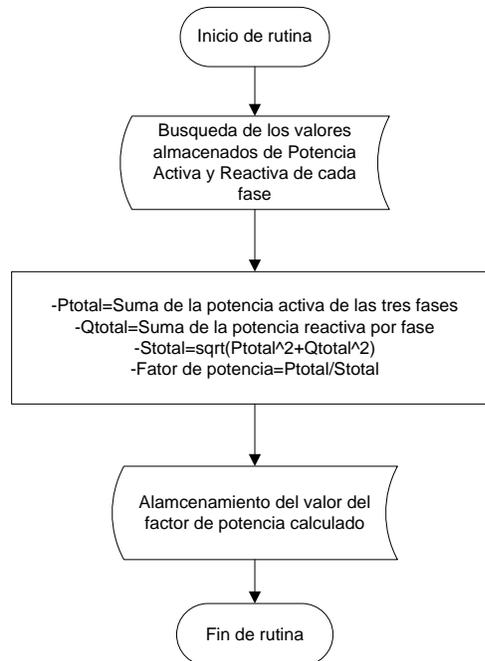


**Figura 21. Diagrama de flujo de la calibración indirecta**

### 3.5.4. Cálculo del factor de potencia

En el caso del cálculo del factor de potencia, como ya fue mencionado previamente, no se cuenta con una función para su obtención dentro de las operaciones internas del periférico por lo que a continuación se presenta la rutina utilizada para su cálculo, aunque esta es bastante rudimentaria debido a que solo se

trata de una operación matemática la cual fue mostrada en la ecuación (22), como se puede observar en la Figura 22.



**Figura 22. Diagrama de flujo de la rutina para el cálculo del factor de potencia**

### **3.6. PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTINAS PARA EL MANEJO DEL MÓDULO EMBEBIDO CON EL STACK TCP/IP 802.11G**

En versiones anteriores el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 poseía la capacidad de interconexión a través de los protocolos TCP/IP vía Ethernet, pero esta conectividad era lograda a través de un circuito integrado que, de manera embebida, manejaba el stack del protocolo y este circuito integrado no permitía la comunicación por medio de los estándares 802.11, por lo que no era posible utilizarlo para la comunicación vía Wi-Fi; en vista de estas circunstancias, sin considerar los costos que esto implicaba para la empresa, se decidió que para esta nueva versión del dispositivo sea utilizado un circuito integrado que permita la conectividad

inalámbrica (Wi-Fi) y que manejase el stack TCP/IP para el estándar 802.11; para lograr este objetivo se recurrió al uso de un circuito integrado de la casa Roving Networks Inc. denominado RN-171, con variadas facilidades para el manejo de los diversos protocolos del stack TCP/IP.

### **3.6.1. Descripción del circuito integrado RN-171[16]**

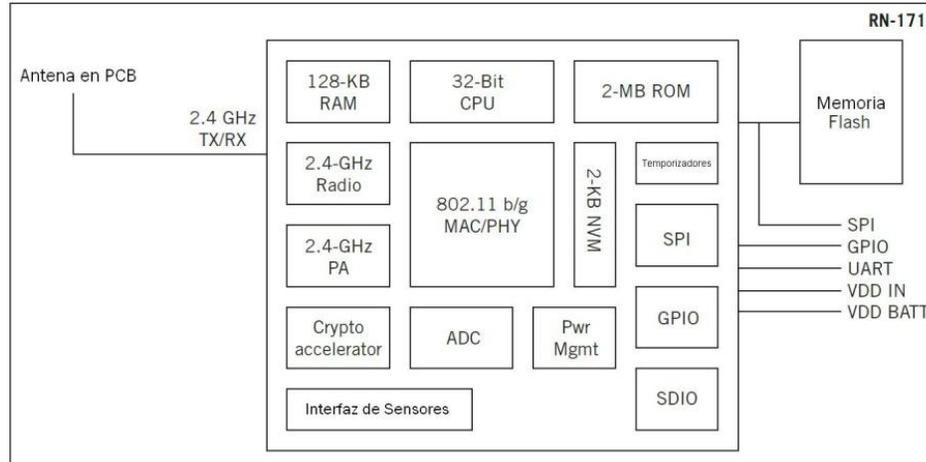
El circuito integrado es descrito como un módulo LAN (Red de Área Local) con conexión inalámbrica el cual maneja el protocolo de comunicaciones TCP/IP y permite la comunicación con la unidad de procesamiento central del dispositivo por medio de una interfaz UART; gracias a ello se pueden realizar las configuraciones del módulo LAN por medio de una serie de instrucciones que son enviadas por dicha interfaz.

Para esta etapa se estableció la estructura de funcionamiento del stack de comunicaciones TCP/IP (802.11g) la que permite la apertura de la comunicación, detección de una red inalámbrica, recepción y envío de información y cierre de la comunicación. Se deben realizar algunas configuraciones preliminares para establecer la identificación del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 en la red que será conectado. El componente electrónico RN-171, el cual permite la conexión a una red de área local de forma inalámbrica, posee las siguientes velocidades de recepción y envío de paquetes sobre la base del tipo de interfaz entre la unidad de procesamiento central y el módulo WLAN:

- 1Mbps para una comunicación por interfaz UART.
- 2Mbps para una comunicación por interfaz SPI.

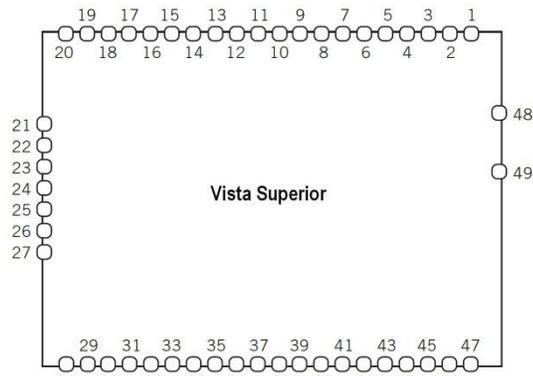
En nuestro caso la conexión establecida para esta comunicación es de tipo UART. Adicionalmente este componente electrónico permite el manejo de los protocolos de las diferentes capas de la comunicación del estándar 802.11 entre los

que tenemos DHCP, DNS, ARP, ICMP, FTP, TELNET, UDP y TCP. A continuación se presenta un diagrama de bloques del circuito integrado:



**Figura 23. Diagrama de bloques del RN-171**

En la Figura 24 se muestra la disposición de los pines del RN-171.



**Figura 24. Encapsulado del RN-171**

### 3.6.2. Configuración del funcionamiento del RN-171

Para lograr establecer el funcionamiento inicial del módulo RN-171 es necesario enviarle una serie de instrucciones que permiten realizar la configuración del mismo para conectarse a una red de área local inalámbrica (WLAN), esta configuración puede ser realizada por medio de comunicación serial a través de una interfaz UART o también puede ser realizada por medio de una comunicación Wi-Fi creando una red Ad-Hoc (red inalámbrica descentralizada). En la Tabla 27 (ANEXO

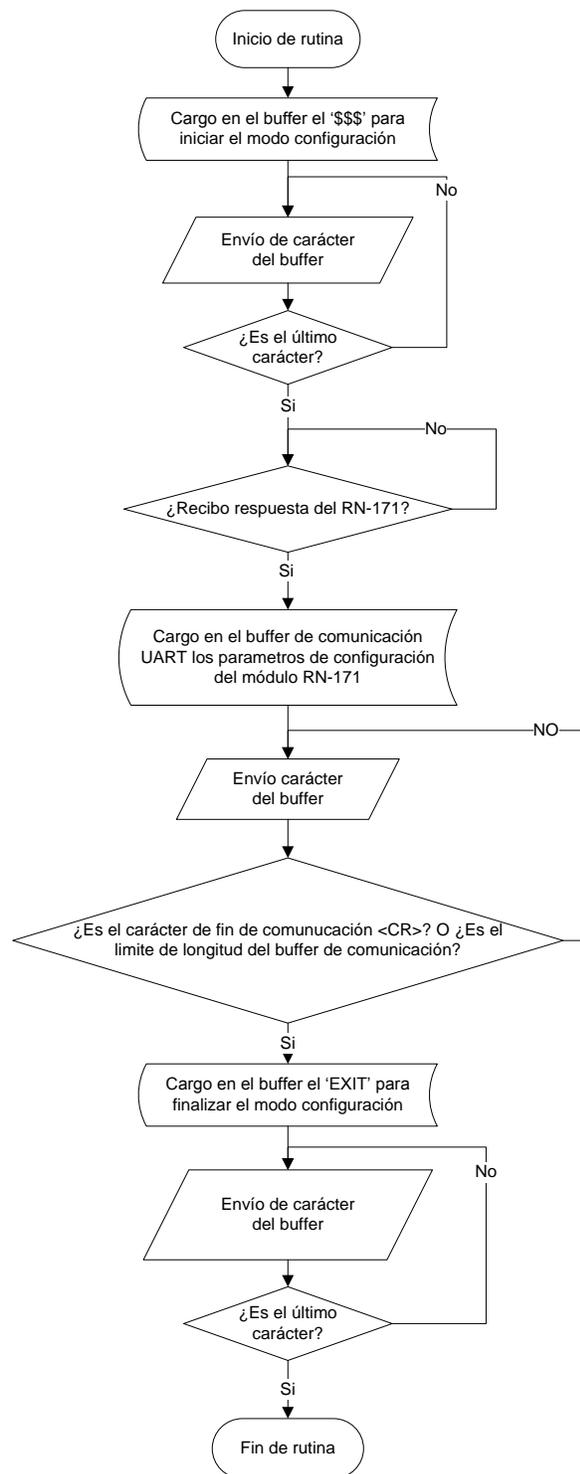
Nº 11) se presenta una descripción simple del juego de instrucciones al que responde este módulo para ser configurado.

### **Interfaz de comunicación con el módulo RN-171**

En párrafos precedentes se menciona que el módulo tiene como una de sus opciones para la comunicación con la MCU la interfaz UART, la cual fue establecida como la comunicación utilizada antes del inicio de este proyecto; por lo tanto se realiza una descripción sencilla de esta interfaz, la cual cuenta con un pin para realizar la transmisión (TxD) y otro para la recepción (RxD). Existen un par de pines que pueden ser utilizados adicionalmente para controlar el flujo de la comunicación RTS (Request to Send) y CTS (Clear to Send), pero en nuestro caso particular no serán utilizadas estas configuraciones. Es importante destacar que en el caso de la comunicación UART se permite el envío de caracteres del tipo ASCII en forma de byte, de manera que con el envío de un byte en realidad se está realizando el envío de un carácter de este tipo.

### **Rutina para la configuración del RN-171**

Se presenta a continuación un diagrama de flujo que presenta una descripción sencilla de la operación realizada para iniciar la configuración del dispositivo RN-171:



**Figura 25. Diagrama de flujo de la rutina para la configuración del RN-171**

### **3.6.3. Apertura y cierre de la comunicación por medio del protocolo TCP/IP para el estándar 802.11g**

Luego de fijar los parámetros por medio del software tan solo queda gestionar la comunicación por medio de la interfaz UART con el módulo RN-171. En la Tabla 28 (ANEXO N° 12) se muestran los comandos utilizados para realizar el enlace con la red de área local inalámbrica y para cerrar e iniciar la comunicación a través del protocolo TCP/IP.

### **3.7. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DEL DISPOSITIVO M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0 A TRAVÉS MÓDULO EMBEBIDO CON EL STACK TCP/IP 802.11G**

Luego de programar las rutinas se procedió a realizar las pruebas de comunicación del dispositivo, antes de lo cual debemos considerar que el módulo utilizado para la comunicación está bajo cumplimiento de las certificaciones mostradas en la Tabla 18:

**Tabla 18. Certificaciones del módulo de comunicación RN-171**

<b>País</b>	<b>Certificación</b>	<b>Prueba del estándar</b>
Estados Unidos de América	FCC	FCC Part 15 Subpart B: 2008 Class B FCC CRF Title 47 Part 15 Subpart C
Unión Europea	CE	ETSI EN 301 489-1 V1.8.1 ETSI EN 301 489-17 V2.1.1 ETSI EN 300 328 V1.7.1 EN 55022 Class B radiated EN61000-4-2 ESD immunity EN61000-4-3 radiated field EN61000-4-6 RF immunity EN61000-4-8 power magnetic immunity EN 60950-1:2001+A11:2004

Con base en las certificaciones presentadas en la Tabla 18, se muestran en la Tabla 19 las siguientes características de funcionamiento intrínseco del módulo embebido RN-171:

**Tabla 19. Características de funcionamiento del RN-171**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Frecuencia de trabajo	2,402 a 2.480 Mhz
Velocidad de transmisión	24 Mbps
Sensibilidad de recepción	-83 dBm
Potencia de transmisión	12 dBm

Las pruebas a realizar tienen como propósito:

- Comprobar el funcionamiento del módulo embebido interconectado con el resto del dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0.
- Asegurar el funcionamiento del dispositivo en el momento de conexión y envío de información al servidor de almacenamiento remoto.

Para dar cumplimiento a estos propósitos se consideraron principalmente las siguientes operaciones para avalar el correcto funcionamiento del dispositivo en el campo bajo condiciones normales de uso:

- Conexión a un punto de acceso inalámbrico con seguridad en la conexión.
- Apertura y cierre de comunicación vía protocolo TCP/IP 802.11g.
- Envío de información a un servidor previamente establecido (dirección IP y puerto para la comunicación).

En la Tabla 20 se presentan algunos de los parámetros fijados para realizar las pruebas de comunicación del dispositivo, de manera que se puedan realizar las operaciones ya mencionadas de forma correcta:

**Tabla 20. Parámetros de conexión**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
SSID	IAMBOX Wireless
Clave	000111AAFF
Tipo de Seguridad	WPA2-PSK
Dirección IP del Host	216.237.126.90
Puerto de conexión	8886
Configuración DHCP	Activada
Velocidad de comunicación UART	9600 Baudios

Partiendo de los parámetros mencionados hasta ahora, se llevaron a efecto las pruebas; fijando una distancia de 3,5 metros entre el punto de acceso y el dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0; esto por motivo de que la certificación europea ETSI EN 300328 V1.7.1 (certificación de radiación) establece la distancia para sus pruebas en 3 metros a una frecuencia de trabajo inferior a 1 GHz, aunque para frecuencias superiores no establece un parámetro fijo consideramos el anterior para establecer una referencia.

Se observó como resultado de las pruebas que la conexión entre el servidor de la empresa y el cliente (El dispositivo M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0) fue exitosa, ya que se identificó la dirección IP asignada a través del DHCP al dispositivo y los paquetes enviados fueron visualizados con éxito en el servidor. Es importante destacar que la prueba fue repetida en cuatro (4) oportunidades, conservando siempre las condiciones ya descritas hasta ahora, y en cada una de ellas se observó integridad de la información contenida en los paquetes enviados.

## CONCLUSIONES

Para este trabajo especial de grado se realizó un desarrollo que tiene como base los dispositivos producidos por la empresa IAMBOX Telecomunicaciones, con el fin de incorporar nuevas funciones a estos dispositivos. En primer lugar se buscaba incorporar una interfaz de comunicación inalámbrica, en el estándar 802.11g a través del protocolo TCP/IP; al dispositivo modem M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0, lo que fue logrado cuando:

- Se programaron las rutinas de control del módulo embebido RN-171, para el manejo del stack TCP/IP, en sus diferentes fases de funcionamiento y calibración.
- Se realizaron las pruebas de trabajo del dispositivo, para comprobar el funcionamiento correcto de la comunicación en el estándar 802.11g.

Por otra parte, se requería incorporar la capacidad de realizar el monitoreo y la medición de las variables que se utilizan para caracterizar una carga eléctrica, lo que fue llevado a efecto en el dispositivo M2M IAMBOX LCD v13 cuando:

- Se implementó un divisor de tensión para realizar las mediciones de tensión alterna, y un transformador de corriente para realizar las mediciones de corriente alterna.
- Se seleccionó e implementó el periférico electrónico ADE7758, el cual lleva a cabo el procesamiento de las señales obtenidas de los sensores y calcula el valor de las variables que caracterizan una carga eléctrica, a través de operaciones propias del circuito integrado.
- Se programaron las rutinas de manejo del ADE7758, para el control de los cálculos realizados y llevar a cabo su calibración.

Al completar estas tareas, se realizaron operaciones simultáneas a los objetivos para tomar en cuenta los intereses de la empresa, en las que:

- Se investigó a través de la información técnica de los componentes utilizados sus características de funcionamiento e interconexión.
- Se mantuvieron las funciones de los dispositivos existentes y ofertadas por la empresa hasta el momento de la realización de este proyecto (medición de temperatura y comunicación GSM entre otras).
- Se consideraron los periféricos (Front-end) compatibles con los esquemáticos electrónicos ya operativos.
- Se programaron nuevas rutinas para gestionar las nuevas funciones interconectadas con el firmware existente.
- Se adaptaron los dispositivos producidos a las necesidades de los clientes beneficiados por el funcionamiento de los mismos, sin desmejorar las características previas.

## RECOMENDACIONES

Con la finalidad de mejorar la implementación llevada a cabo en los dispositivos de la empresa IAMBOX Telecomunicaciones y considerando los resultados obtenidos en este trabajo especial de grado se realizan las siguientes recomendaciones:

- Considerar otra gama de sensores para la medición de corriente a fin de extender el uso de los dispositivos a otros usuarios.
- Considerar implementar en los dispositivos modem (M2M IAMBOX GSM/EDGE) y sensor (M2M IAMBOX LCD) para sus futuras versiones canales de alimentación para varios niveles de tensión (considerando redundancia), para así evitar el uso de otros circuitos integrados para el manejo de los niveles de tensión.
- Agregar nuevas rutinas al firmware existente que permitan generar acciones con base en las lecturas procesadas por los dispositivos sensores, para la nueva etapa de medición de variables eléctricas.
- Agregar nuevas rutinas al firmware existente que permitan generar acciones de comunicación vía GSM, para así supervisar el estado de la conexión y posibles problemas de conexión por protocolo TCP/IP 802.11g.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CODELECTRA, Tensiones normalizadas de servicio, Mayo 7, 1997.
- [2] Ministerio del Poder Popular de Energía y Minas, *Reglamento de la Ley de Servicio Eléctrico*. Caracas, Venezuela, 2003.
- [3] William Koon. (2002, Julio) Sitio Oficial Analog Devices. [Online]. [http://www.analog.com/static/imported-files/tech\\_articles/16792408482720MI\\_Issue3\\_2001\\_pg52-53\\_analog\\_Spanish.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/tech_articles/16792408482720MI_Issue3_2001_pg52-53_analog_Spanish.pdf)
- [4] Jordi Mayné. (2004, Mayo) Fundamentos de Robótica Autónoma. [Online]. [http://arantxa.ii.uam.es/~gdrivera/robotica/h\\_datos/Sensores\\_Acond.pdf](http://arantxa.ii.uam.es/~gdrivera/robotica/h_datos/Sensores_Acond.pdf)
- [5] Mike Hertz and Don Whiteman. (2001, Mayo) Escuela de Ingeniería Eléctrica. [Online]. <ftp://neutron.ing.ucv.ve/pub/Rafael%20Rivero/dsmvf/EXPO/9927389.pdf>
- [6] ECAMEC Tecnología. (2009, Junio) ECAMEC Tecnología. [Online]. <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/bajarnotab0609.pdf>
- [7] Julio Bortolin and Javier Figueroa. (2009, Mayo) ECAMEC Tecnología. [Online]. <http://www.ecamec.com/newsletter/bajarnotab0509.pdf>
- [8] Raúl Desimone. (2011) Profesor Raúl Desimone. [Online]. <http://rauldesimone.com.ar/19.html>
- [9] José Javier Gutiérrez García. (1995) Tesis Doctorales en Red. [Online]. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10638/TesisJJGG.pdf?sequence=1>
- [10] Microchip Technology Inc. (2012, Marzo) Sitio Oficial Microchip Technology. [Online]. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22286A.pdf>
- [11] Analog Devices, Inc. (2011, Octubre) Sitio Oficial Analog Devices. [Online]. [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADE7758.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7758.pdf)
- [12] Maxim Integrated Products. (1998, Agosto) Sitio Oficial Maxim Integrated Products. [Online]. <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX682-MAX684.pdf>

- [13] Stephen English and Dave Smith. (2003, Febrero) Sitio Oficial Analog Devices. [Online]. [http://www.analog.com/static/imported-files/application\\_notes/an564.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/an564.pdf)
- [14] YUANXING Electronics CO.,LTD. (2013, Mayo) Sitio Oficial YUANXING Electronics CO.,LTD. [Online]. <http://www.yuanxing.net/pdf/CTSA%20Series%20Split%20Core%20Current%20Transformers.pdf>
- [15] J&D Electronics CO.,LTD. (2012, Noviembre) Sitio Oficial J&D Electronics CO.,LTD. [Online]. [http://www.hqsensing.com/download/3-2-1/1/\[3-2\]%20\\_2\\_1%20\(06\)%20JRF333-1%EF%BC%8F2%EF%BC%8F3.pdf](http://www.hqsensing.com/download/3-2-1/1/[3-2]%20_2_1%20(06)%20JRF333-1%EF%BC%8F2%EF%BC%8F3.pdf)
- [16] Roving Networks. (2013, Mayo) Sitio Oficial Roving Networks. [Online]. <http://www.rovingnetworks.com/products/RN171>
- [17] Jorge Bernal Aguilar. (2008, Junio) trabajos y proyectos fin de estudios de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería. [Online]. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11628>
- [18] Francisco José Casellas, Guillermo Velasco, and Francisco Guinjoan. (2010, Septiembre) UPCommons Portal d'accés obert al coneixement de la UPC. [Online]. <http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/9066/1/5025.pdf>
- [19] Theo Soto Guzmán. (2007, Mayo) Medidor de Potencia. [Online]. <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo326/1s07/projects/TheoSoto/>
- [20] Guillermo Enrique Hernández González. (2008, Septiembre) Repositorio Institucional Universidad Pontificia Bolivariana. [Online]. <http://repository.upb.edu.co/>
- [21] Etienne Moulin. (2003) Sitio Oficial Analog Devices. [Online]. [http://www.analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN578\\_a.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN578_a.pdf)

## BIBLIOGRAFÍA

CODELECTRA, Tensiones normalizadas de servicio, Mayo 7, 1997.

Ministerio del Poder Popular de Energía y Minas, *Reglamento de la Ley de Servicio Eléctrico*. Caracas, Venezuela, 2003.

William Koon. (2002, Julio) Sitio Oficial Analog Devices. [Online].  
[http://www.analog.com/static/imported-files/tech\\_articles/16792408482720MI\\_Issue3\\_2001\\_pg52-53\\_analog\\_Spanish.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/tech_articles/16792408482720MI_Issue3_2001_pg52-53_analog_Spanish.pdf)

Jordi Mayné. (2004, Mayo) Fundamentos de Robótica Autónoma. [Online].  
[http://arantxa.ii.uam.es/~gdrivera/robotica/h\\_datos/Sensores\\_Acond.pdf](http://arantxa.ii.uam.es/~gdrivera/robotica/h_datos/Sensores_Acond.pdf)

Mike Hertz and Don Whiteman. (2001, Mayo) Escuela de Ingeniería Eléctrica. [Online].  
<ftp://neutron.ing.ucv.ve/pub/Rafael%20Rivero/dsmvf/EXPO/9927389.pdf>

ECAMEC Tecnología. (2009, Junio) ECAMEC Tecnologia. [Online].  
<http://www.ecamec.com.ar/newsletter/bajarnotab0609.pdf>

Julio Bortolin and Javier Figueroa. (2009, Mayo) ECAMEC Tecnologia. [Online]. <http://www.ecamec.com/newsletter/bajarnotab0509.pdf>

Raúl Desimone. (2011) Profesor Raúl Desimone. [Online].  
<http://rauldesimone.com.ar/19.html>

José Javier Gutiérrez García. (1995) Tesis Doctorales en Red. [Online].  
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10638/TesisJJGG.pdf?sequence=1>

Microchip Technology Inc. (2012, Marzo) Sitio Oficial Microchip Technology. [Online].  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22286A.pdf>

Analog Devices, Inc. (2011, Octubre) Sitio Oficial Analog Devices. [Online].  
[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADE7758.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7758.pdf)

Maxim Integrated Products. (1998, Agosto) Sitio Oficial Maxim Integrated Products. [Online]. <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX682->

MAX684.pdf

Stephen English and Dave Smith. (2003, Febrero) Sitio Oficial Analog Devices. [Online]. [http://www.analog.com/static/imported-files/application\\_notes/an564.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/an564.pdf)

YUANXING Electronics CO.,LTD. (2013, Mayo) Sitio Oficial YUANXING Electronics CO.,LTD. [Online]. <http://www.yuanxing.net/pdf/CTSA%20Series%20Split%20Core%20Current%20Transformers.pdf>

J&D Electronics CO.,LTD. (2012, Noviembre) Sitio Oficial J&D Electronics CO.,LTD. [Online]. [http://www.hqsensing.com/download/3-2-1/1/\[3-2\]202\\_2\\_1%20\(06\)%20JRF333-1%EF%BC%8F2%EF%BC%8F3.pdf](http://www.hqsensing.com/download/3-2-1/1/[3-2]202_2_1%20(06)%20JRF333-1%EF%BC%8F2%EF%BC%8F3.pdf)

Roving Networks. (2013, Mayo) Sitio Oficial Roving Networks. [Online]. <http://www.rovingnetworks.com/products/RN171>

Jorge Bernal Aguilar. (2008, Junio) trabajos y proyectos fin de estudios de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería. [Online]. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11628>

Francisco José Casellas, Guillermo Velasco, and Francisco Guinjoan. (2010, Septiembre) UPCommons Portal d'accés obert al coneixement de la UPC. [Online]. <http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/9066/1/5025.pdf>

Theo Soto Guzmán. (2007, Mayo) Medidor de Potencia. [Online]. <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo326/1s07/projects/TheoSoto/>

Guillermo Enrique Hernández González. (2008, Septiembre) Repositorio Institucional Universidad Pontificia Bolivariana. [Online]. <http://repository.upb.edu.co/>

Etienne Moulin. (2003) Sitio Oficial Analog Devices. [Online]. [http://www.analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN578\\_a.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN578_a.pdf)

# **ANEXOS**

[ANEXO N° 1]

[Distribución del error en la medida en una ventana de una bobina de Rogowski]

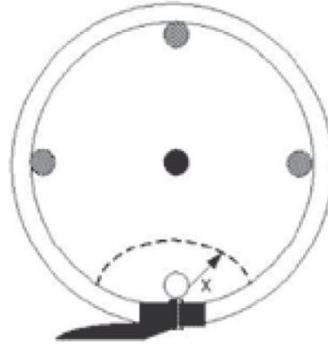


Figura 26. Posibles posiciones del conductor en la bobina de Rogowski

La Tabla 21 muestra el error típico respecto a la posición del conductor mostrada en la Figura 26.

Tabla 21. Porcentaje de error dependiendo de la posición del conductor en la bobina de Rogowski

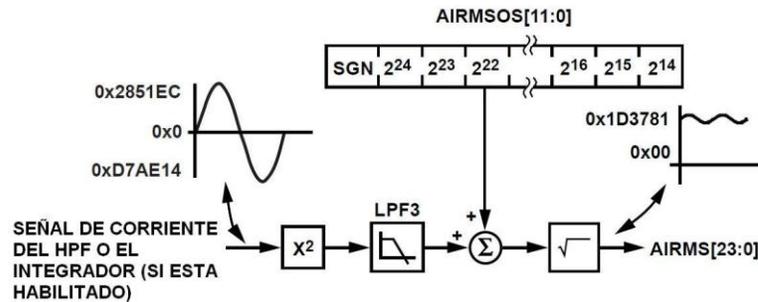
	Posición del conductor	Error Típico
●	Adyacente al interior de la bobina	< 1%
●	Centrado en la bobina	< 0.2%
○	Adyacente al cierre	No se recomienda instalar en esta región

## [ANEXO N° 2]

### [Cálculo de variables eléctricas en el ADE7758]

*Cálculo del valor eficaz (RMS) de la corriente eléctrica:*

Para realizar el cálculo del valor de la corriente (RMS) se utilizan las fórmulas, (6) para el cálculo con una señal de tipo continuo y (7) para el cálculo con una señal de tipo discreto (el cual es nuestro caso después de la conversión analógico-digital); a continuación se presenta un diagrama funcional que muestra el proceso realizado.



**Figura 27. Diagrama para el cálculo del valor de corriente eficaz (RMS) del ADE7758**

En el diagrama mostrado en la Figura 27 se ilustra el procedimiento realizado intrínsecamente por circuito integrado, donde la señal que es obtenida a partir del modulador delta-sigma y el HPF (Filtro pasa altos), operación que permite tanto la modulación como la demodulación de la señal; después de lo cual es elevada al cuadrado, posteriormente es pasada por un LPF (Filtro pasa bajos); y por último se calcula la raíz cuadrada de la señal obtenida del proceso lo que genera a una señal de frecuencia de 60 Hz con un valor de tensión DC (Direct current) equivalente al valor eficaz de la señal original. Teniendo en cuenta que el rango máximo de entrada del convertidor analógico siempre es el que se presenta en la siguiente ecuación:

$$V_{\Delta-\Sigma} = V_{in} \times G_{PGA} \quad (51)$$

Donde  $V_{\Delta-\Sigma}$  es el valor de la tensión a la entrada del convertidor analógico-digital,  $V_{in}$  es la tensión de entrada del canal analógico y  $G_{PGA}$  es la ganancia programada en el canal de corriente (véase Tabla 8); por lo que la señal modulada siempre tendrá un rango máximo de  $\pm 0,5V$ ; además de considerar que cada uno de los registros en los que se guarda el valor eficaz (RMS) de la corriente eléctrica tiene un tamaño de 24 bits (AIRMS, BIRMS y CIRMS) y teniendo en cuenta que la amplitud máxima aproximada de la señal antes de realizar el cálculo del valor eficaz, cuando es digitalizada; es de  $\pm 2.642.412$ , lo que nos deja una resolución aprox. de  $0,1892\mu V/bit$  y el error considerado por la impresión del periférico es de 0,5% de la escala total de la medida.

Después de ver el proceso se debe añadir que además de lo ya mencionado también existe un conjunto de registros de 12 bits los cuales se utilizan para cambiar cualquier desviación que exista en la señal a la hora de realizar todo este proceso (AIRMSOS, BIRMSOS y CIRMSOS) y esto es a partir de la siguiente ecuación:

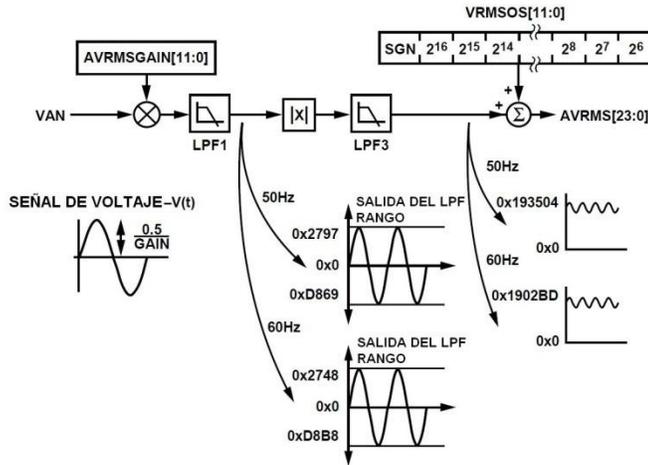
$$IRMS = \sqrt{IRMS_0^2 + 16384 \times IRMSOS} \quad (52)$$

Donde IRMS representa cada uno de los registros para guardar el valor eficaz de la corriente (AIRMS, BIRMS y CIRMS),  $IRMS_0$  es el valor eficaz de la corriente calculado sin la corrección de desplazamiento y IRMSOS representa el registro utilizado para la compensación de desplazamiento (AIRMSOS, BIRMSOS y CIRMSOS).

*Cálculo del valor eficaz (RMS) de la tensión eléctrica:*

En el periférico se realiza una estimación para arrojar el valor eficaz de la tensión, a partir del cálculo del valor medio de una señal en valor absoluto (MAV). La fórmula (10) se utiliza para el cálculo con una señal de tipo continuo y la fórmula

(11) para el cálculo con una señal de tipo discreto (es nuestro caso después de la conversión analógico-digital). Ahora se muestra un diagrama que explica como en el caso anterior el proceso realizado.



**Figura 28. Diagrama para el cálculo del valor de tensión eficaz (RMS) del ADE7758**

En el diagrama de la Figura 28 se puede observar el proceso para el cálculo de la estimación del valor eficaz de la señal de voltaje. Para iniciar el proceso posterior a la conversión analógico-digital, se escala la señal en hasta un +/-50% por medio de un registro VRMSGAIN (AVRMSGAIN, BVRMSGAIN y CVRMSGAIN para cada fase) que tiene 12 bits, esto para calibrar el cálculo posterior de la potencia aparente, ahora se coloca la ecuación que muestra cómo se realiza esto:

$$V_{preRMS} = V_{sinG} \times \left( 1 + \frac{VRMSGAIN}{2^{12}} \right) \quad (53)$$

Donde  $V_{preRMS}$  es el valor del voltaje antes del cálculo del valor eficaz,  $V_{sinG}$  es el valor del voltaje sin ganancia y VRMSGAIN es el registro de 12 bits que puede tomar un valor entre 2047 y -2047, lo que permite realizar el escalamiento. Después se hace pasar la señal por un filtro pasa bajos, a continuación se calcula el valor

absoluto de la señal y por último se hace pasar la señal de nuevo a través de un filtro pasa bajos, también como en el caso de la corriente se utiliza otro registro de 12 bits para compensar cualquier desplazamiento en la señal (AVRMSOS, BVRMSOS y CVRMSOS), a partir de la siguiente ecuación:

$$VRMS = VRMS_0 + VRMSOS \times 64 \quad (54)$$

Donde VRMS representa cada uno de los registros para guardar el valor eficaz de la corriente (AVRMS, BVRMS y CVRMS), VRMS<sub>0</sub> es el valor eficaz de la tensión calculado sin la corrección de desplazamiento y VRMSOS representa el registro utilizado para la compensación de desplazamiento (AVRMSOS, BVRMSOS y CVRMSOS).

Por último, la señal es guardada en un registro de 24 bits, en el que se almacena el valor eficaz estimado de la tensión de la carga (AVRMS, BVRMS y CVRMS). El valor de tensión digital obtenido a partir de la conversión analógico-digital que es utilizado para el cálculo del valor eficaz del voltaje es +/-10.332, con una entrada establecida de +/-5V; se tiene una resolución de 0,4839mV/bit y el error considerado por la impresión del periférico es de 0,5% de la escala total de la medida.

#### *Cálculo del valor de la potencia activa consumida*

La energía eléctrica se define como la tasa de flujo de energía desde la fuente a la carga. Está viene dada por el producto de las formas de onda de la tensión y corriente. La forma de onda resultante se denomina la señal de potencia instantánea y es igual a la tasa de flujo de energía en cada instante de tiempo, en las que si se considera que se está en presencia de señales sinusoidales se tendrán las siguientes ecuaciones:

$$v(t) = \sqrt{2} \times V_{RMS} \times \text{sen}(\omega t) \quad (55)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \times I_{RMS} \times \text{sen}(\omega t) \quad (56)$$

Donde  $V_{RMS}$  y  $I_{RMS}$  son los valores eficaces tanto de tensión como de corriente. Y posteriormente si escribimos la ecuación de la potencia instantánea tenemos:

$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad (57)$$

Sustituyendo los valores de la señales de corriente y tensión instantánea:

$$p(t) = I_{RMS} \times V_{RMS} - I_{RMS} \times V_{RMS} \times \cos(2\omega t) \quad (58)$$

Y teniendo en cuenta esto, valiéndonos de la ecuación (18), tenemos que la potencia promedio es:

$$p = \frac{1}{T} \times \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt = I_{RMS} \times V_{RMS} \quad (59)$$

En la gráfica de la Figura 29 se representa en forma visual el desarrollo efectuado anteriormente.

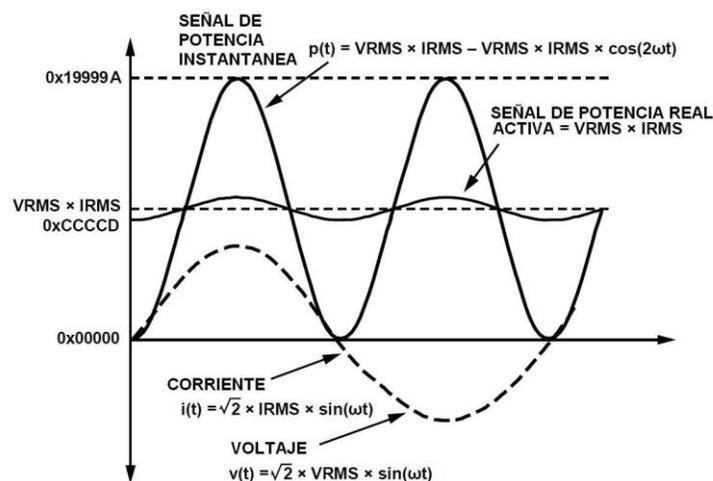


Figura 29. Cálculo de potencia activa en el ADE7758

En el periférico para realizar todas estas operaciones se realiza la multiplicación de las señales de tensión y corriente eléctrica de cada fase (las formas de onda), la señal resultante se hace pasar por un filtro pasa bajos, de tal manera que se conserva una señal en corriente continua que es equivalente al valor de la potencia activa consumida en cada fase, el resultado obtenido es guardado en AWATTHR (BWATTHR y CWATTHR para el resto de las fases) un registro de 16 bits en el que guarda la potencia activa consumida a lo largo de una hora.

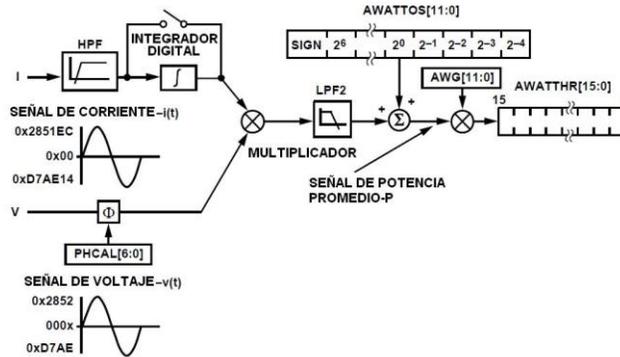
Para compensar cualquier error en el cálculo de la potencia activa existen dos registros para agregar una ganancia a la señal y compensar cualquier desplazamiento del pedestal de tensión en corriente continua, el primero de ellos es AWG (BWG y CWG para el resto de las fases); el que indica la adición de una ganancia (A Watt Gain por sus siglas en inglés), y tiene un tamaño de 12 bits, y permite realizar un escalamiento de +/-50% a través de la siguiente ecuación:

$$P_{GAIN} = P_{LPF} \times \left( 1 + \frac{WattGain}{2^{12}} \right) \quad (60)$$

Donde  $P_{GAIN}$  es el valor de potencia activa después de ser escalada;  $P_{LPF}$  es el valor de la potencia activa a la salida del filtro pasa bajos, y WattGain es el valor del registro el cual puede variar entre +/-2048.

El segundo registro es AWATTOS (BWATTOS y CWATTOS para el resto de las fases); este registro de 12 bits, donde el bit menos significativo equivale a 1/16 del bit menos significativo del registro que almacena la potencia activa, recordando que la señal pasa por un filtro pasa bajos y es atenuada alrededor de 60 dB, lo que implica una división por 1000 para el valor de potencia, la que tiene como valor máximo 838.861 para la potencia, por lo tanto la corrección en el desplazamiento de la señal es de 0,0075%.

Después de la descripción realizada se presenta ahora en la Figura 30 el diagrama de bloques que representa toda la operación que es realizada para el cálculo de la potencia activa.



**Figura 30. Diagrama de bloques del cálculo de la potencia activa en el ADE7758**

### *Cálculo del valor de la potencia reactiva consumida*

El cálculo de la potencia reactiva, es el producto que se realiza entre las señales de voltaje y tensión cuando una de estas señales está desplazada  $\pi/2$  radianes con respecto a la otra, y si se considera que se está en presencia de señales sinusoidales se tendrán las siguientes ecuaciones:

$$v(t) = \sqrt{2} \times V_{RMS} \times \text{sen}(\omega t - \theta) \quad (61)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \times I_{RMS} \times \text{sen}(\omega t) \quad (62)$$

$$i'(t) = \sqrt{2} \times I_{RMS} \times \text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (63)$$

Donde  $i'(t)$  es la forma de onda de la corriente desplazada en fase  $\pi/2$  radianes con respecto a la tensión, y  $\theta$  es el desplazamiento en fase generado entre la tensión y la corriente a raíz de los elementos reactivos en la carga. Y posteriormente si escribimos la ecuación de la potencia reactiva instantánea tenemos:

$$q(t) = v(t) \times i'(t) \quad (64)$$

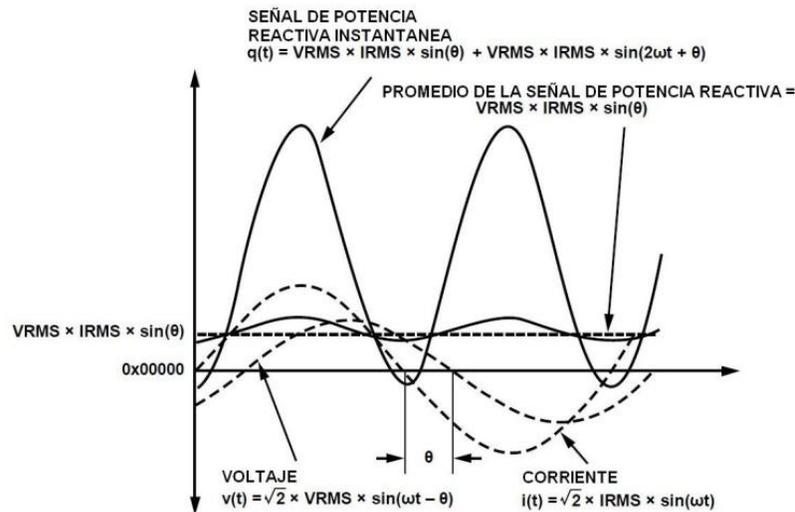
Sustituyendo los valores de las señales de corriente y tensión instantánea:

$$q(t) = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \cdot \text{sen}(\theta) + V_{RMS} \cdot I_{RMS} \cdot \text{sen}(2\omega t - \theta) \quad (65)$$

Y teniendo en cuenta esto, valiéndonos de la ecuación (20), tenemos que la potencia reactiva promedio es:

$$q = \frac{1}{T} \times \int_0^T v(t) \cdot i'(t) \cdot dt = I_{RMS} \times V_{RMS} \times \text{sen}(\theta) \quad (66)$$

En la gráfica de la Figura 31 se representa en forma visual el desarrollo efectuado anteriormente.



**Figura 31. Cálculo de potencia activa en el ADE7758**

Para realizar esta operación, como primer paso se hace pasar la señal de corriente por un filtro que la desplaza en fase  $\pi/2$  radianes, posteriormente se realiza la multiplicación de las señales de tensión y corriente (desfasada  $\pi/2$  radianes) eléctrica de cada fase (las formas de onda), la señal resultante se hace pasar por un

filtro pasa bajos, de tal manera que se conserva una señal en corriente continua la que es equivalente al valor de la potencia reactiva consumida en cada fase, el resultado obtenido es guardado en AVARHR (BVARHR y CVARHR para el resto de las fases) un registro de 16 bits en el que se guarda la potencia activa consumida a lo largo de una hora.

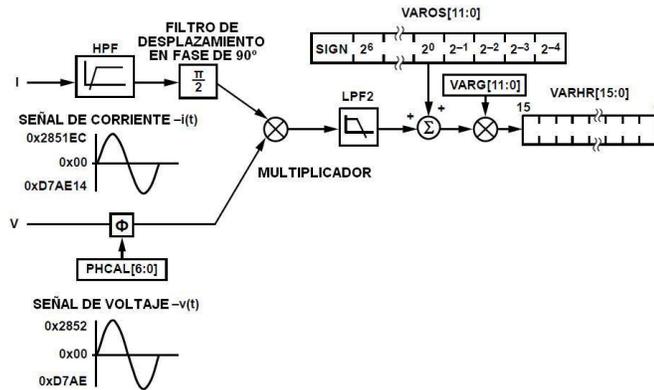
Para compensar cualquier error en el cálculo de la potencia reactiva, como en el caso de la potencia activa; existen dos registros para agregar una ganancia a la señal y compensar cualquier desplazamiento del pedestal de tensión en corriente continua, el primero de ellos es AVARG (BVARG y CVARG para el resto de las fases); el que indica la adición de una ganancia (A VAR Gain por sus siglas en inglés), y tiene un tamaño de 12 bits, y permite realizar un escalamiento de +/-50% a través de la siguiente ecuación:

$$Q_{GAIN} = Q_{LPF} \times \left( 1 + \frac{VARGain}{2^{12}} \right) \quad (67)$$

Donde  $Q_{GAIN}$  es el valor de potencia activa después de ser escalada;  $Q_{LPF}$  es el valor de la potencia activa a la salida del filtro pasa bajos, y  $VARGain$  es el valor del registro el cual puede variar entre +/-2048.

El segundo registro es AVAROS (BVAROS y CVAROS para el resto de las fases); que al igual que el registro AWATTOS tiene un tamaño de 12 bits y permite configurar el valor de la corrección en el desplazamiento de la señal hasta en un 0,0075% del valor de la señal.

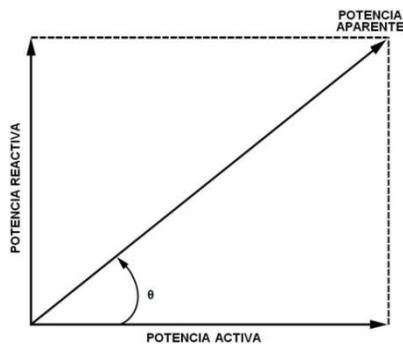
Después de la descripción realizada se presenta en la Figura 32 el diagrama de bloques que representa toda la operación que es realizada para el cálculo de la potencia reactiva.



**Figura 32. Diagrama de bloques del cálculo de la potencia reactiva en el ADE7758**

*Cálculo del valor de la potencia aparente consumida*

La potencia aparente de una carga eléctrica se define como la magnitud del vector que se origina a partir de la suma de la potencia activa y reactiva consumida por la misma carga. En la Figura 33 se presenta el típico triángulo que representa esta suma.



**Figura 33. Cálculo de la potencia aparente en el ADE7758**

Hay dos maneras para calcular el valor de la potencia aparente, la primera es por aproximación aritmética: se usa el producto del valor eficaz (RMS) del voltaje y la corriente para realizar el cálculo, la ecuación (12) describe este método.

El segundo método es a través del cálculo vectorial, el cual se vale de la suma de dos vectores en cuadratura, en este caso la potencia activa y la potencia reactiva. La ecuación (68) ilustra el método analítico.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (68)$$

Donde S es la potencia aparente, P es la potencia activa y Q es la potencia reactiva, todos estos valores de la misma carga eléctrica.

En el caso de señales puramente sinusoidales estas dos maneras de cálculo para la potencia aparente son exactamente iguales, en el caso del presente circuito integrado el método utilizado es el aritmético. La operación se realiza al multiplicar la señal de corriente y la de tensión en valor eficaz ya obtenidas, proceso expuesto ya a lo largo de este capítulo; y posteriormente haciendo pasar la señal resultante por un filtro pasa bajos el que deja como resultado final una señal que tiene como valor promedio el equivalente de la potencia aparente consumida por la carga, y por último se guarda el valor en un registro llamado AVAHR (BVAHR y CVAHR para el resto de las fases), el que es un registro de 16 bits tal como el caso de la potencia activa y la potencia reactiva.

Adicionalmente como en con los casos de la potencia activa y la potencia activa existe un registro para escalar la señal obtenida a fin de compensar el resultado final; en este caso el registro utilizado para ello es AVAG (BVAG y CVAG para el resto de las fases); el que indica la adición de una ganancia (A VA Gain por sus siglas en inglés), y tiene un tamaño de 12 bits, y permite realizar un escalamiento de +/-50% a través de la siguiente ecuación:

$$S_{GAIN} = S_{LPF} \times \left( 1 + \frac{VAGain}{2^{12}} \right) \quad (69)$$

Donde  $S_{GAIN}$  es el valor de potencia activa después de ser escalada;  $S_{LPF}$  es el valor de la potencia activa a la salida del filtro pasa bajos, y  $VAGain$  es el valor del registro el cual puede variar entre +/-2048.

Después de la descripción realizada se presenta en la Figura 34 el diagrama de bloques que representa toda la operación realizada para el cálculo de la potencia aparente.

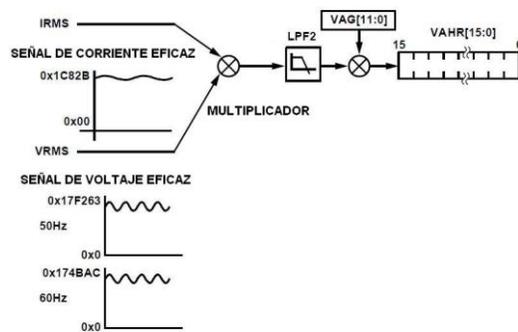


Figura 34. Diagrama de bloques del cálculo de la potencia aparente en el ADE7758

### [ANEXO N° 3]

#### [Dimensiones del transformador de corriente CTSA010]

La Figura 35 presenta la diagramación de la forma del sensor CTSA010, ilustrando una vista frontal y superior.

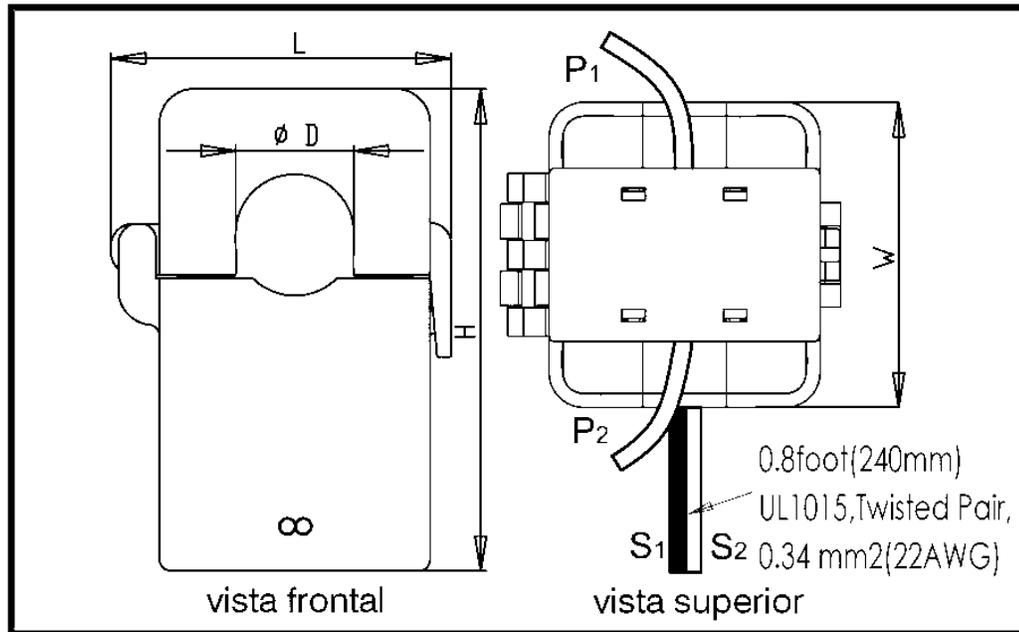


Figura 35. Dimensiones del sensor CTSA010

En la Tabla 22 se muestran las dimensiones del sensor seleccionado, relacionándolas con la diagramación ya presentada.

Tabla 22. Dimensiones del sensor CTSA010

	Dimensiones (mm)
$\phi D$	10
L	26,4
W	0,394
H	1,039

[ANEXO N° 4]

[Dimensiones del sensor de bobina de Rogowski JRF333]

La Figura 36 presenta una imagen que muestra algunas de las dimensiones del sensor recomendado.

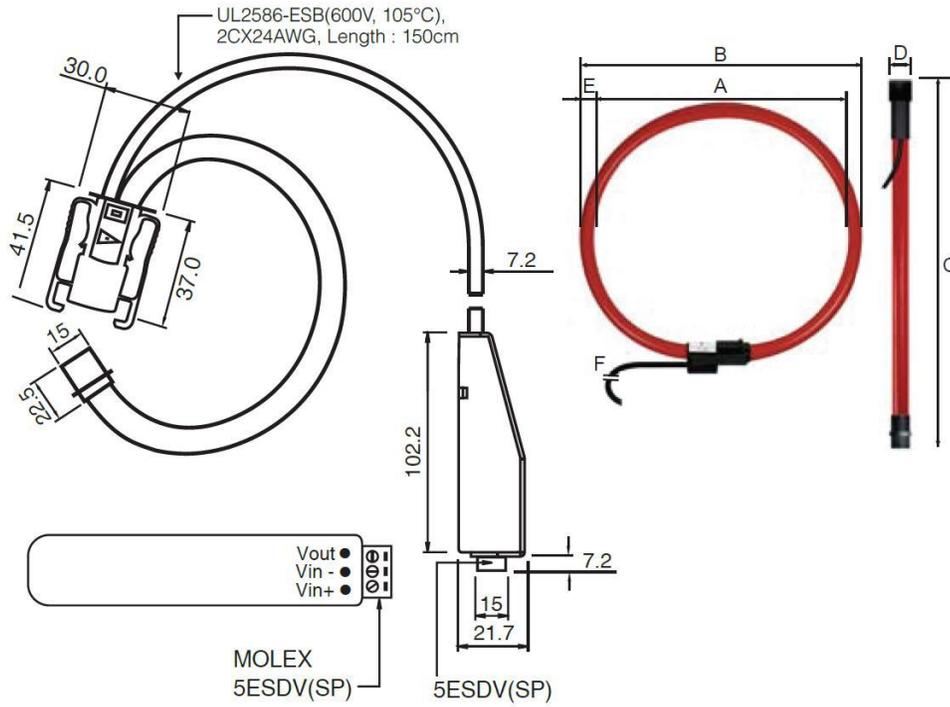


Figura 36. Dimensiones del sensor JRF333

Se presentan en la Tabla 23 el resto de las dimensiones del sensor.

Tabla 23. Dimensiones del sensor JRF333

	Dimensiones (cm)
<b>A-Tamaño de la ventana de medida</b>	30,5
<b>B-Diámetro máximo para la ventana</b>	33,5
<b>C-Longitud del transformador</b>	100
<b>D-Conector para toda la bobina</b>	3
<b>E-Diámetro de la bobina</b>	1,2
<b>F-Longitud total del conductor</b>	150

## [ANEXO N° 5]

**Tabla 24. Descripción de las funciones de los pines del MCP3911**

N° de pin SSOP	N° de pin QFN	Símbolo	Función
1	18	$\overline{\text{RESET}}$	Entrada para el reseteo lógico. Se activa con un nivel lógico bajo.
2	19	DVDD	Voltaje de alimentación digital (De 2,7V a 3,6V).
3	20	AVDD	Voltaje de alimentación analógico (de 2,7V a 3,6V).
4	1	CH0+	Entrada del canal analógico 1 (+/-600mV con un voltaje de referencia de 1,2V). Esta entrada es de tipo diferencial, esta entrada admite un máximo de +/-1V con respecto a la tierra analógica AGND.
5	2	CH0-	
6	3	CH1-	Entrada del canal analógico 2 (+/-600mV con un voltaje de referencia de 1,2V). Esta entrada es de tipo diferencial, esta entrada admite un máximo de +/-1V con respecto a la tierra analógica AGND.
7	4	CH1+	
8	5	AGND	Tierra analógica, el retorno del circuito interno analógico. Si está disponible un plano de tierra analógica se recomienda que este pin esté conectado a él. Es recomendable que esté conectado a la misma referencia que la tierra digital DGND.
9	6	REFIN+/OUT	Entrada del voltaje de referencia positivo/Salida del voltaje de referencia interno (requiere por lo menos un condensador de cerámico 0,1 $\mu\text{F}$ para realizar el desacople de la tierra analógica AGND). Esta es la referencia usada para la conversión analógico-digital.
10	7	REFIN-	Entrada del voltaje de referencia negativo. Esta es la referencia usada para la conversión analógico-digital. Si no se utiliza una referencia externa este pin debe estar conectado a la tierra analógica AGND.

Nº de pin SSOP	Nº de pin QFN	Símbolo	Función
11	8	DGND	Tierra digital, el retorno del circuito interno digital. Si está disponible un plano de tierra digital se recomienda que este pin esté conectado a él. Es recomendable que esté conectado a la misma referencia que la tierra analógica AGND.
12	9	MDAT1	Salida del modulador de señales para el canal 2.
13	10	MDAT0	Salida del modulador de señales para el canal 1.
14	11	$\overline{DR}$	Señal de datos listos para ser enviados. Puede ser configurada esta salida para permanecer en alta impedancia o en nivel bajo lógico. Esta salida es independiente de la interfaz de comunicación SPI.
15	12	OSC1/CLKI	Conexión para un cristal oscilador/Entrada de un reloj externo.
16	13	OSC2	Conexión para un cristal oscilador.
17	14	$\overline{CS}$	Selector de integrado (interfaz SPI).
18	15	SCK	Reloj para comunicación serial (interfaz SPI).
19	16	SDO	Salida de información serial (interfaz SPI).
20	17	SDI	Entrada de información serial (interfaz SPI).
-	21	EP	Pin de disipación térmica, debe estar conectado a AGND.

## [ANEXO N° 6]

**Tabla 25. Descripción de las funciones de los pines del ADE7758**

N° de pin	Símbolo	Función
1	APCF	Salida lógica para la calibración de la frecuencia de la potencia activa. Esta provee la información de la potencia activa, esta salida es usada con propósitos de operación y calibración.
2	DGND	Referencia de tierra digital. Este pin proporciona la referencia de tierra para el trazado del circuito digital. Como las corrientes de vuelta digitales en el ADE7763 son pequeñas, es aceptable conectar este pin con el plano de tierra analógico del sistema. Sin embargo, la alta capacitancia del bus en el pin DOUT podría dar lugar a una corriente digital ruidosa que podría afectar el funcionamiento del circuito integrado.
3	DVDD	Fuente de alimentación digital. Este pin proporciona una fuente de voltaje para el trazado de circuito digital. El voltaje de la fuente que se debe mantener en 5V $\pm$ 5% para la operación especificada.
4	AVDD	Fuente de alimentación analógica. Este pin proporciona una fuente de voltaje para el trazado del circuito analógico. La fuente se debe mantener en 5V $\pm$ 5% para la operación especificada.
5, 6, 7, 8, 9, 10	IAP, IAN, IBP, IBN, ICP, ICN	Entrada analógica para el canal de corriente. Este canal es provisto para su uso con un transductor de corriente, como por ejemplo una bobina de Rogowski u otro sensor actual tal como un transformador de corriente (TC). Estas entradas de datos son del tipo de voltaje diferencial, con diferentes configuraciones posibles para los rangos de $\pm$ 0,5V; $\pm$ 0,25V y $\pm$ 0,125V, dependiendo de la escala seleccionada en el registro de ganancia. El nivel máximo de la señal en estos pines con respecto a la referencia analógica es de $\pm$ 0,5V. Estas entradas de datos tienen un trazado de circuito interno de protección ESD y que pueden sostener una sobre tensión de $\pm$ 6V sin riesgo de daño permanentes.
11	AGND	Referencia de tierra analógica. Este pin proporciona la referencia de tierra para el trazado del circuito analógico, es decir; convertidores analógico-digitales y referencia. Esta referencia de tierra debe utilizarse para todo el trazado del circuito analógico.

N° de pin	Símbolo	Función
12	REF <sub>IN/OUT</sub>	Acceso al circuito de referencia del periférico. La referencia del circuito integrado tiene un valor nominal de 2,4V+/-8% y un coeficiente típico de temperatura de 30 ppm/°C. Una fuente externa de referencia se puede conectar también en este pin. En cualquier caso, este pin se debe desacoplar de AGND con un condensador de 10µF en paralelo con un condensador de cerámica de 100nF.
13, 14, 15, 16	VN, VCP, VBP, VAP	Entrada analógica para el canal de tensión. Este canal se usa con el transductor de voltaje. Estas entradas de datos son del tipo de voltaje diferencial, con diferentes configuraciones posibles para los rangos de +/-0,5V; +/-0,25V y +/-0,125V, dependiendo de la escala seleccionada en el registro de ganancia. El nivel máximo de la señal en estos pines con respecto a la referencia analógica es de +/-0,5V. Estas entradas de datos tienen un trazado de circuito interno de protección ESD y que pueden sostener una sobre tensión de +/-6V sin riesgo de daño permanentes.
17	VARCF	Salida lógica para la calibración de la frecuencia de la potencia reactiva. Esta provee la información de la potencia reactiva o aparente, esta salida es usada con propósitos de operación y calibración.
18	$\overline{\text{IRQ}}$	Salida de interrupciones, esta se activa en un nivel lógico bajo cuando ocurre una interrupción dentro del ADE7763. Una interrupción enmascarada hace reiniciar el registro de energía activa, el medio del registro de energía activa, y la llegada de nuevas muestras de forma de onda.
19	CLKIN	Reloj principal para los convertidores analógico-digitales y el procesamiento de la señal digital. Un reloj externo se puede proporcionar para esta entrada de datos lógica. Alternativamente, se puede colocar en paralelo un cristal resonante que se puede conectar a través de CLKIN y CLKOUT para proporcionar una fuente del reloj para el ADE7763. La frecuencia del reloj para la operación especificada es 3.579545 MHz.
20	CLKOUT	Se puede conectar un cristal a través de este pin y CLKIN, según lo descrito para el pin 15, para proporcionar una fuente de reloj para el ADE7763. El pin CLKOUT puede manejar una carga CMOS cuando ninguna señal de reloj externo se provee en CLKIN o cuando un cristal este siendo utilizado.
21	$\overline{\text{CS}}$	Selección del circuito integrado. Parte de la interfaz para la comunicación serial SPI. Esta entrada de datos se activa con un bajo lógico que permite al ADE7763 comparta el bus serial con varios dispositivos de interfaz serial.

N° de pin	Símbolo	Función
22	DIN	Entrada de datos para la interfaz serie. Los datos son recibidos hacia el integrado a través de este pin en el flanco de bajada de la señal SCLK.
23	SCLK	Entrada de datos del reloj serial para la interfaz serial sincrónica. Todas las transferencias de datos seriales se sincronizan a este reloj en la sección de interfaz en serie. El SCLK tiene un Buffer Schmitt-Trigger en la entrada de datos para uso con la fuente de reloj que tiene un flanco de subida de transición lenta.
24	DOUT	Salida de datos para la interfaz serial. Los datos son enviados fuera a través de este pin en el flanco de subida de la señal SCLK. Esta salida lógica normalmente está en un estado de alta impedancia, a menos que este conduciendo sobre el bus correspondiente.

## [ANEXO N° 7]

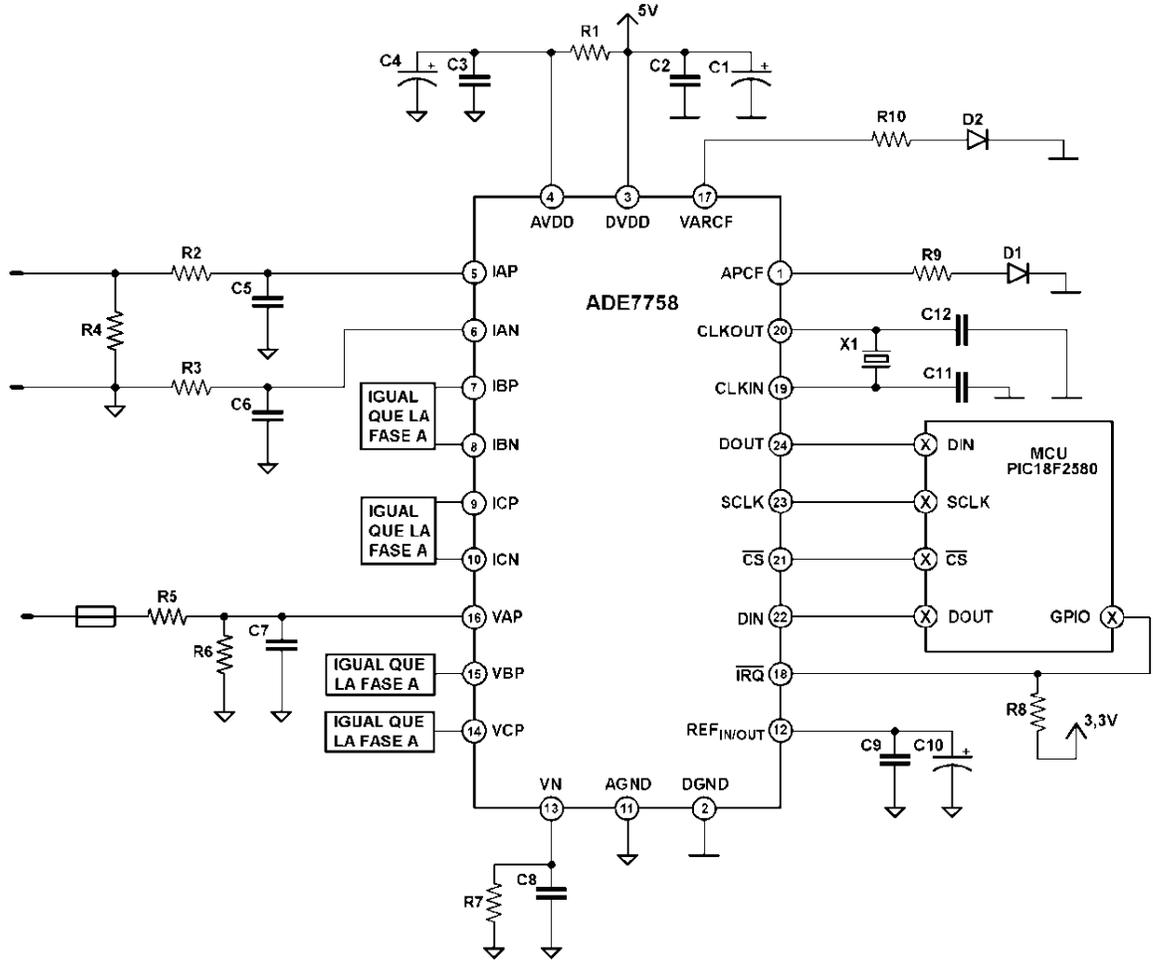


Figura 37. Esquemático del ADE7758 en el M2M IAMBOX LCD

[ANEXO N° 8]

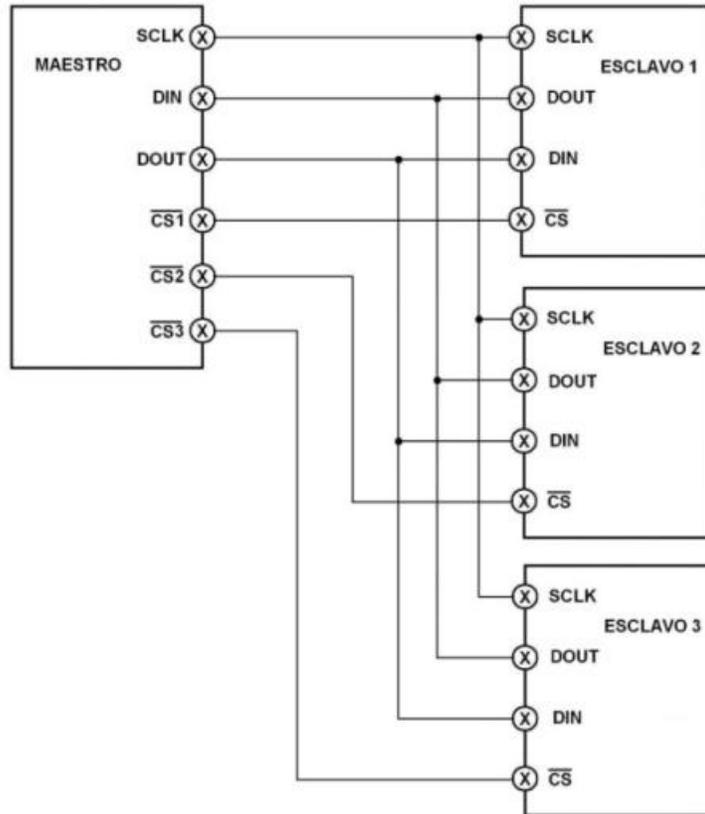
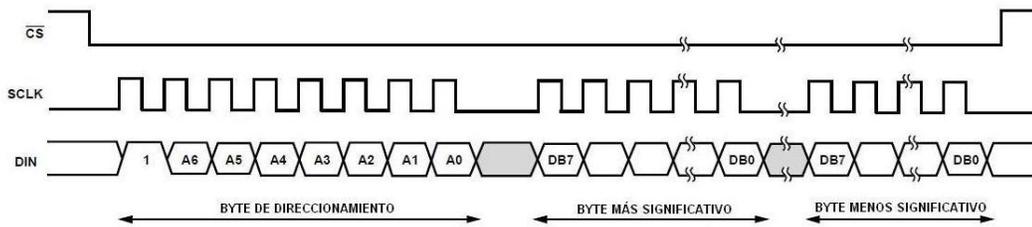


Figura 38. Diagrama de conexiones para la comunicación usando interfaz SPI

## [ANEXO N° 9]

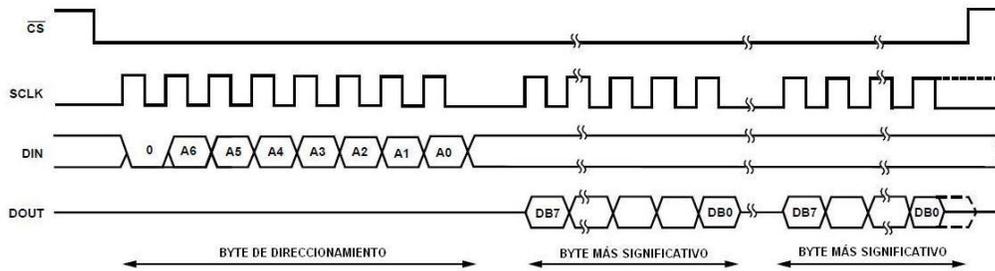
### [Diagrama de Tiempo de lectura y escritura SPI del ADE7758]

En la Figura 39 presenta el diagrama de tiempo en el que se ilustra la manera en la que se realiza la transferencia de datos en bytes, lo que muestra el comportamiento de cada uno de los pines que intervienen en la interfaz SPI, y como se maneja la estructura de los datos enviados.



**Figura 39. Diagrama de tiempo de escritura SPI en el ADE7758**

Como en el caso de la escritura en la Figura 40 se presenta un diagrama semejante.



**Figura 40. Diagrama de tiempo de lectura en el ADE7758**

## [ANEXO N° 10]

**Tabla 26. Registros usados en el proyecto**

Dirección [D6:D0]	Nombre del registro	L/E	Bits del Registro	Valor por defecto	Breve detalle
0x01	AWATTHR	L	16	0	Para el almacenamiento de energía y potencia activa.
0x02	BWATTHR	L	16	0	
0x03	CWATTHR	L	16	0	
0x04	AVARHR	L	16	0	Para el almacenamiento de energía y potencia reactiva.
0x05	BVARHR	L	16	0	
0x06	CVARHR	L	16	0	
0x07	AVAHR	L	16	0	Para el almacenamiento de energía y potencia aparente.
0x08	BVAHR	L	16	0	
0x09	CVAHR	L	16	0	
0x0A	AIRMS	L	24	0	Para el almacenamiento de la corriente en valor eficaz.
0x0B	BIRMS	L	24	0	
0x0C	CIRMS	L	24	0	
0x0D	AVRMS	L	24	0	Para el almacenamiento de la tensión en valor eficaz.
0x0E	BVRMS	L	24	0	
0x0F	CVRMS	L	24	0	
0x10	FREQ	L	12	0	Para el almacenamiento de la frecuencia.
0x13	OPMODE	L/E	8	4	Para la configuración general del ADE7758
0x14	MMODE	L/E	8	0xFC	Para definir donde se realizara la medición de la frecuencia y el periodo
0x16	COMPmode	L/E	8	0x1C	Para definir la fórmula aplicada a los cálculos de potencia y energía
0x17	LCYCMODE	L/E	8	0x78	Para configurar la forma de acumulación de energía
0x18	Mask	L/E	24	0	Para determinar que eventos generan una interrupción.
0x19	Status	L	24	0	Almacena información importante de las interrupciones internas
0x1A	RSTATUS	L	24	0	Igual que Status, pero luego de una lectura se vacía el registro
0x1B	ZXTOUT	L/E	16	0xFFFF	Para detectar si un cruce por cero no se ha realizado

<b>Dirección [D6:D0]</b>	<b>Nombre del registro</b>	<b>L/E</b>	<b>Bits del Registro</b>	<b>Valor por defecto</b>	<b>Breve detalle</b>
0x23	Gain	L/E	8	0	Para configurar la ganancia a la entrada de los canales analógicos
0x24	AVRMSGAIN	L/E	12	0	Para escalar el valor del voltaje eficaz en hasta un 50%
0x25	BVRMSGAIN	L/E	12	0	
0x26	CVRMSGAIN	L/E	12	0	
0x27	AIGAIN	L/E	12	0	Para escalar el valor de la corriente eficaz en hasta un 50%
0x28	BIGAIN	L/E	12	0	
0x29	CIGAIN	L/E	12	0	
0x2A	AWG	L/E	12	0	Para escalar el valor de la potencia activa hasta un 50%
0x2B	BWG	L/E	12	0	
0x2C	CWG	L/E	12	0	
0x2D	AVARG	L/E	12	0	Para escalar el valor de la potencia reactiva hasta un 50%
0x2E	BVARG	L/E	12	0	
0x2F	CVARG	L/E	12	0	
0x30	AVAG	L/E	12	0	Para escalar el valor de la potencia activa hasta un 50%
0x31	BVAG	L/E	12	0	
0x32	CVAG	L/E	12	0	
0x33	AVRMSOS	L/E	12	0	Para corregir el desplazamiento en el voltaje eficaz
0x34	BVRMSOS	L/E	12	0	
0x35	CVRMSOS	L/E	12	0	
0x36	AIRMSOS	L/E	12	0	Para corregir el desplazamiento en la corriente eficaz
0x37	BIRMSOS	L/E	12	0	
0x38	CIRMSOS	L/E	12	0	
0x39	AWATTOS	L/E	12	0	Para corregir el desplazamiento en la potencia activa
0x3A	BWATTOS	L/E	12	0	
0x3B	CWATTOS	L/E	12	0	
0x3C	AVAROS	L/E	12	0	Para corregir el desplazamiento en la potencia reactiva
0x3D	BVAROS	L/E	12	0	
0x3E	CVAROS	L/E	12	0	
0x3F	APHCAL	L/E	7	0	Para corregir el desplazamiento en fase de la corriente y la tensión
0x40	BPHCAL	L/E	7	0	
0x41	CPHCAL	L/E	7	0	

## [ANEXO N° 11]

**Tabla 27. Comandos de configuración del RN-171**

Comando	Por defecto	Descripción
set adhoc beacon <valor>	100	Define el intervalo de la baliza para la red ad hoc en milisegundos.
set adhoc probe <valor>	5	Define el tiempo límite para la sonda de la red ad hoc en segundos.
set broadcast address <dirección>	255.255.255.255	Establece la dirección a la cual el mensaje pulso de saludo UDP es enviado,
set broadcast interval < mascara>	7	Establece el intervalo (en segundos) en el cual el mensaje pulso de saludo UDP es enviado.
set broadcast port <valor>	55555	Establece el puerto por el cual el mensaje pulso de saludo UDP es enviado.
set comm \$ <char>	\$	Establece el carácter usado para entrar en el modo de comando <char>.
set comm close <string>	*CLOS*	Establece la cadena de caracteres ASCII que es enviada al UART local cuando el puerto TCP está cerrado.
set comm open <string>	*OPEN*	Establece la cadena de caracteres ASCII que es enviada al UART local cuando el puerto TCP está cerrado.
set comm remote <string>	*HELLO*	Establece la cadena de caracteres ASCII que es enviada al cliente remoto TCP, cuando la puerto TCP está abierto.
set comm idle <valor>	0	Establece el valor del temporizador de inactividad en segundos.
set comm match <valor>   <hex>	0	Establece el carácter coincidente en hexadecimal o decimal.
set comm size <valor>	64	Establece el tamaño en bytes del cache de refrescamiento.
set comm time <valor>	10	Establece el tiempo para el refrescamiento del cache.
set dns address <dirección>	0.0.0.0	Establece la dirección IP del servidor DNS.
set dns name <string>	server1	Establece el nombre del host para las conexiones TCP/IP al <string>.
set dns backup <string>	rn.microchip.com	Establece el nombre del host de copia de seguridad para conexiones TCP / IP a <string>.
set ftp addr <dirección>	0.0.0.0	Establece la dirección IP del servidor FTP.
set ftp dir <string>	Público	Establece el directorio inicial del servidor FTP.

<b>Comando</b>	<b>Por defecto</b>	<b>Descripción</b>
set ftp filename <nombre del archivo>		Establece el nombre del archivo que es transferido cuando se envía el comando ftp u, donde <nombre del archivo> es la imagen del firmware. Por defecto es Wifly_GSX-<versión>.img (RN-131) Wifly_EZX-<versión>.img (RN-171)
set ftp mode < mascara >	0x0	Establece el modo FTP, donde < mascara > indica si está en modo pasivo o activo. Por defecto es pasivo.
set ftp remote <valor>	21	Establece el número de puerto remoto del servidor FTP.
set ftp time <valor>	200	Establece el valor de tiempo de espera FTP, donde <valor> es un número decimal que es cinco veces el número de segundos necesarios.
set ftp user <string>	roving	Establece el nombre de usuario para ingresar al servidor FTP.
set ftp pass <string>	Pass123	Establece la contraseña para ingresar en el servidor FTP.
set ip address <dirección>	0.0.0.0	Establece la dirección IP del módulo Wifly.
set ip backup <dirección>	0.0.0.0	Establece la dirección IP de un host secundario.
set ip dhcp <valor>	1	Habilita/deshabilita el modo DHCP.
set ip flags < mascara >	0x7	Establece las funciones TCP/IP.
set ip gateway <dirección>	0.0.0.0	Establece la dirección IP de la puerta de enlace.
set ip host <dirección>	0.0.0.0	Establece la dirección IP del host remoto.
set ip localport <valor>	2000	Establece el número del puerto local.
set ip netmask <dirección>	255.255.255.0	Establece la máscara de red.
set ip protocol <bandera>	2	Establece el protocolo IP.
set ip remote <valor>	2000	Establece el número de puerto del host remoto.
set ip tcp-mode < mascara >	0x0	Controla los temporizadores de conexión TCP, las preferencias DNS y las opciones de configuración remota.
set opt join tmr <valor>	1000	Establece el temporizador para la unión, el cual es la cantidad de tiempo (en ms) que la función join espera para que el punto de acceso complete el proceso de asociación.
set opt format <bandera>	0x00	Establece el cliente/servidor web HTTP.
set opt replace <char>	\$ (0x24)	Establece el carácter de remplazo que se usa para indicar espacios en el SSID y las frases de acceso, donde <char> es un carácter individual.

<b>Comando</b>	<b>Por defecto</b>	<b>Descripción</b>
set opt deviceid <string>	WiFly-GSX	Establece identificación del dispositivo.
set opt contraseña <string>	"" (no requiere contraseña)	Establece la contraseña para la conexión TCP.
set q sensor < mascara >	0	Especifica cual pin de los sensores para muestrear datos usando la difusión de paquetes UDP o la función de auto-muestreo HTTP.
set q power <valor>	0	Automáticamente enciende la alimentación del sensor.
set sys autoconn <valor>	0	Establece el temporizador de auto-conexión en el modo TCP.
set sys autosleep <valor>	0	Establece el temporizador de auto-sleep en el modo UDP.
set sys iofunc < mascara >	0x0	Establece las funciones alternativas puertos de entrada/salida.
set sys mask < mascara >	0x20F0 (RN-131) 0x21F0 (RN-171)	Establece la dirección de los puertos de entrada/salida.
set sys printlvl <valor>	0x1	Controla los mensajes de depuración mostrados por el módulo Wifly a través del UART.
set sys output < mascara > < mascara >	Ninguno	Establece la salida de los pines GPIO en alto o bajo. La < mascara > opcional establece un subconjunto de los pines.
set sys sleep <valor>	0	Establece el temporizador de sleep.
set sys trigger < bandera > or < mascara >	0x1	Con este ajuste de los parámetros, el módulo sale del estado de sleep usando la entrada del sensor 0, 1, 2, y 3.
set sys valor < mascara >	0x0	Establece el valor de salida por defecto de los pines GPIO al encender.
set sys wake <valor>	0	Establece el temporizador de encendido automático en segundos.
set time address < dirección >	129.6.15.28	Establece la hora de la dirección del servidor.
set time port <valor>	123	Establece la hora del número de puerto.
set time enable <valor>	0	Indica al módulo con qué frecuencia debe buscar a la hora del servidor de tiempo SNTP especificado en minutos.
set time raw <valor>	Ninguno	Permite establecer el valor neto RTC de la consola en cuestión de segundos.
set uart baud <valor>	9600	Establece la velocidad de transmisión UART en baudios, donde <valor> es 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, o 921600.
set uart flow <valor>	0	Establece el control de flujo, el modo y la paridad de la transmisión UART.

<b>Comando</b>	<b>Por defecto</b>	<b>Descripción</b>
set uart instant <valor>	No aplica	Inmediatamente cambia la velocidad de transmisión UART en baudios, donde <valor> es 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, o 921600.
set uart mode < mascara>	0	Establece el modo de registro UART.
set uart raw <valor>	No aplica	Establece el valor neto del UART
set uart tx <valor>	No aplica	Deshabilita o habilita el pin de transmisión UART, donde <valor> es 1 o 0.
set wlan auth <valor>	0	Establece el modo de autenticación.
set wlan channel <valor> <bandera>	0	Establece el canal WLAN, donde <valor> es un número decimal entre 1 y 13 lo que representa un canal fijo y <bandera> es la i carácter opcional (es decir, inmediata).
set wlan ext_antenna <valor>	0	Determina cual antena está activa, donde <valor> es 0 (usa antena chip) o 1 (usa conector UFL).
set wlan join <valor>	1 0	Establece la política para asociación automática con puntos de acceso de la red.
set wlan hide <valor>	0	Esconde la clave de 128-bits WEP y la frase de acceso WAP, donde <valor> es 0 o 1.
set wlan key <valor>	No aplica	Establece la clave de 128-bits WEP, donde <valor> es exactamente 26 ASCII caracteres (13 bytes) en hexadecimal sin el prefijo 0x.
set wlan linkmon <valor>	0 (deshabilitado)	Establece el umbral de tiempo de espera del monitor de enlace, donde <valor> es un número decimal que representa el número de ciclos fallidos antes de que el módulo declara AP se pierde y desautentifica.
set wlan mask < mascara>	0x1FFF (todos los canales)	Establece la máscara del canal WLAN, que se utiliza para escanear canales con política de auto-unirse 1 o 2).
set wlan phrase <string>	rubygirl	Establece la frase de acceso para los modos de seguridad WPA y WPA2.
set wlan rate <valor>	12	Ajusta la velocidad de datos inalámbrica.
set wlan ssid <string>	roving1	Establece el SSID con el cual el módulo se asocia.
set wlan tx <valor>	0	Establece el poder de transmisión Wi-Fi, donde <valor> es un número decimal entre 1 y 12 que corresponde a un valor entre 1 y 12 dBm.

## [ANEXO N° 12]

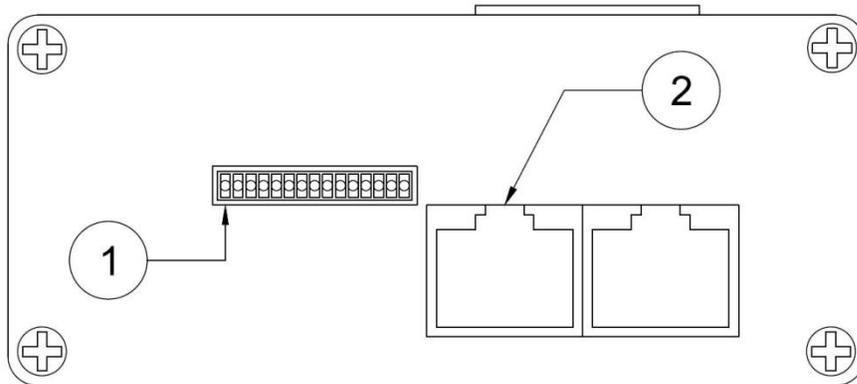
**Tabla 28. Comandos para iniciar acciones del RN-171**

<b>Comando</b>	<b>Descripción</b>
\$\$\$	Se usa este comando para entrar en el modo de comando.
close	Desconecta una conexión TCP.
apmode <bssid> <channel>	Crea por software un punto de acceso a la red.
exit	Sale del modo de comando.
factory RESET	Carga los valores por defecto dentro de la memoria RAM y escribe los ajustes en un archivo estándar de configuración. RESET debe ser escrito en letras mayúsculas.
join <string>	Ordena al módulo Wifly unirse a la red indicada por el <string>.
join # <valor>	Usa este comando para unirse a una red que es mostrada en la lista de escaneo, donde <valor> es el número listado para la red en la lista de escaneo.
leave	Desconecta el módulo del punto de acceso al cual está actualmente asociado.
lites	Produce que los leds en el RN-134 en el circuito de evaluación y el RN-370 Wifly adaptador serial parpadeen. Usando este comando una segunda vez detiene el parpadeo.
lookup <string>	Produce que el módulo actúe como un query DNS para el host llamado <string>.
open <dirección> <valor>	Abre una conexión TCP a la <dirección>, donde <valor> es el número de puerto.
ping <string> <valor>	Envía un ping a un host remoto, donde <string> es un parámetro de ajuste y <valor> es el número de pings que por defecto es 1 paquete.
reboot	Fuerza al módulo a reiniciar (similar a un ciclo de encendido).
scan <valor> <char>	Realiza una exploración de la sonda activa de los puntos de acceso a los 13 canales. Por Defecto es 200 ms / canal.
sleep	Pone el módulo en modo sleep.
time	Ajusta el reloj en tiempo real mediante la sincronización con el servidor de tiempo especificado con el servidor de tiempo (ajustar la hora) parámetros.

[ANEXO N° 13]

[Información Técnica del dispositivo M2M IAMBOX LCD v13]

*Diagrama de conexiones*



**Figura 41. Conexiones del dispositivo M2M IAMBOX LCD v13**

1. Conexión para los sensores del dispositivo.

**Tabla 29. Diagramación de la conexión de los pines del M2M IAMBOX LCD v13**

Pin*	Función
1	Tierra/Vcc, depende de la función implementada.
2	Tierra.
3	Sensor de temperatura 1.
4	Sensor de temperatura 2.
5	Sensor de corriente de la fase A, activo.
6	Sensor de corriente de la fase A, retorno.
7	Sensor de corriente de la fase B, activo.
8	Sensor de corriente de la fase B, retorno.
9	Sensor de corriente de la fase C, activo.
10	Sensor de corriente de la fase C, retorno.
11	Sensor de tensión de la fase A.
12	Sensor de tensión de la fase B.
13	Sensor de tensión de la fase C.
14	Salida del relé 1.
15	Salida del relé 2.

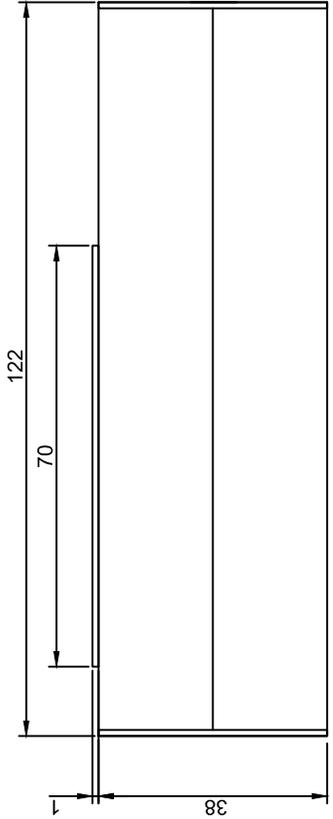
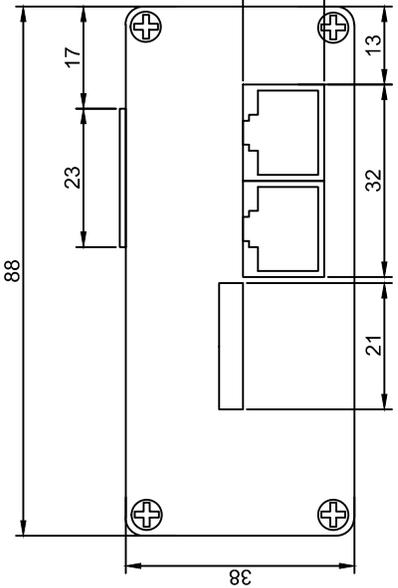
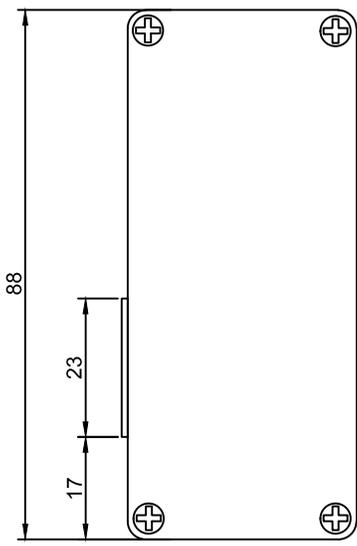
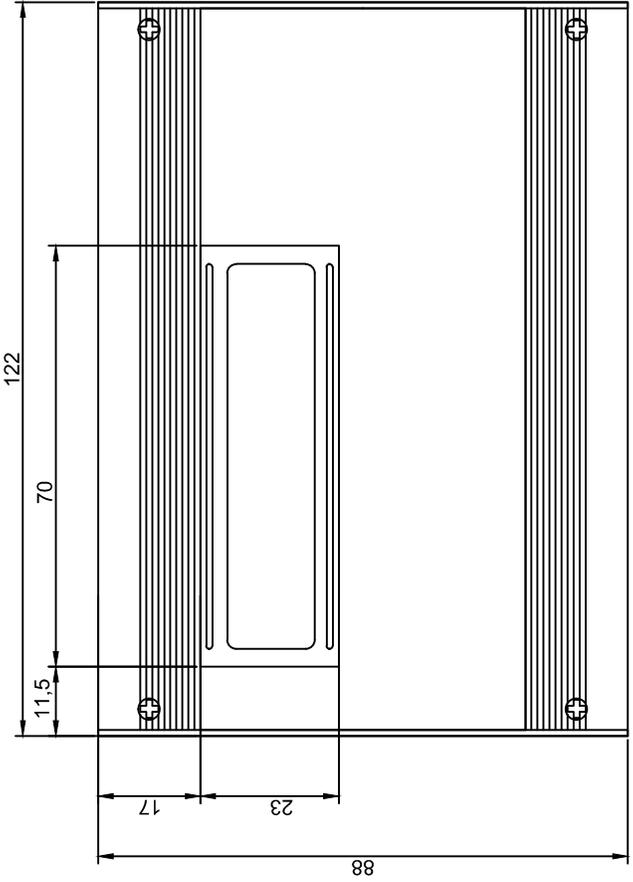
\*Es el orden de los pines de la conexión vista de izquierda a derecha.

2. Dos conexiones para comunicación vía CAN, se permiten hasta 16 dispositivos conectados en cascada desde el dispositivo modem (M2M IAMBOX GSM/EDGE 2.0); adicionalmente son bidireccionales por lo que permiten la conexión de un dispositivo en cualquiera de los dos puertos indiferentemente.

*Consumo de potencia del dispositivo*

El consumo del dispositivo es aprox. de 1,32W, a una temperatura de 25°C.

RevNo	Revision note	6	7	8
				Signature
				Checked
				Date

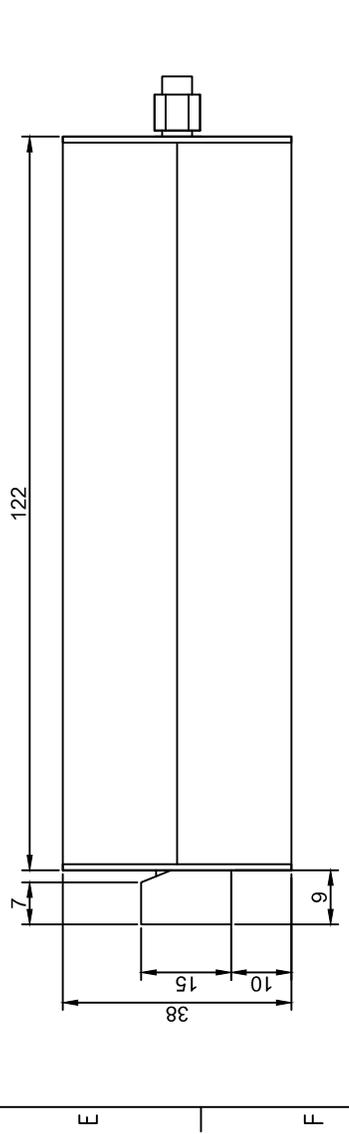
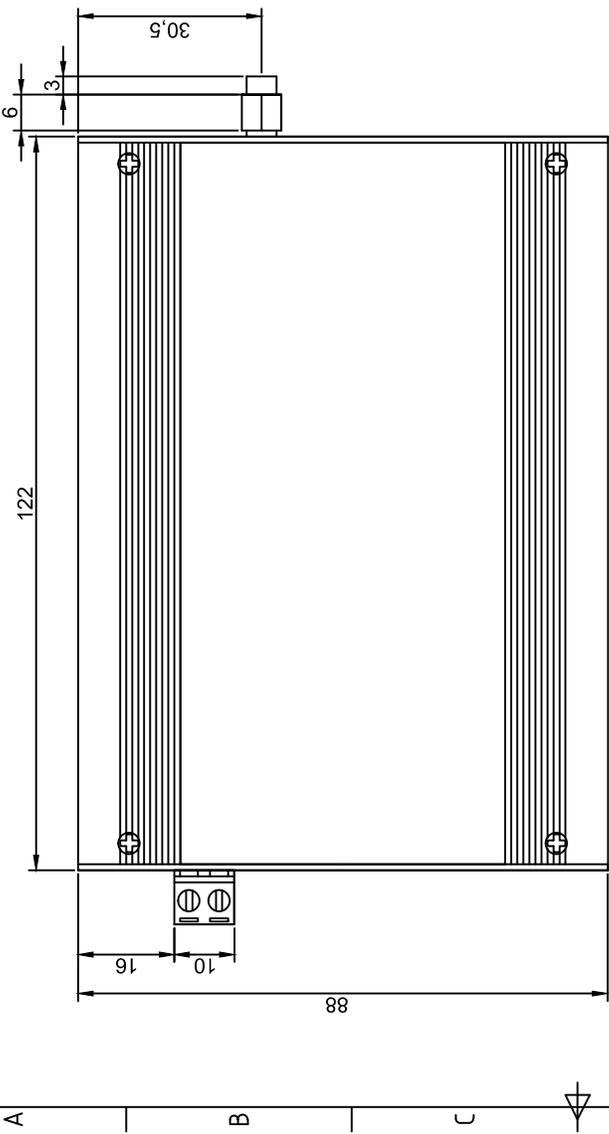
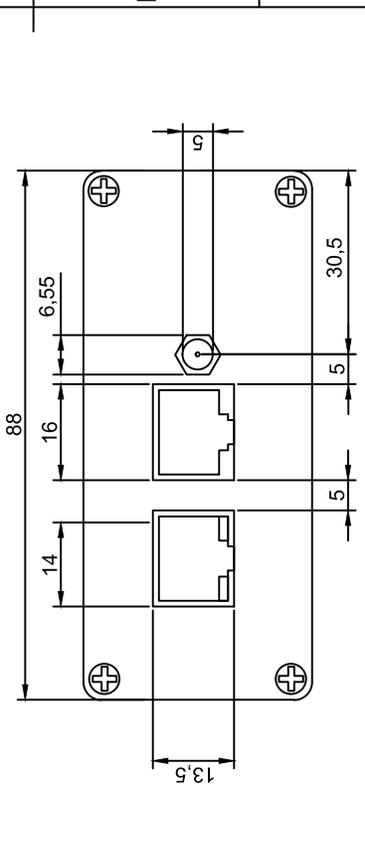
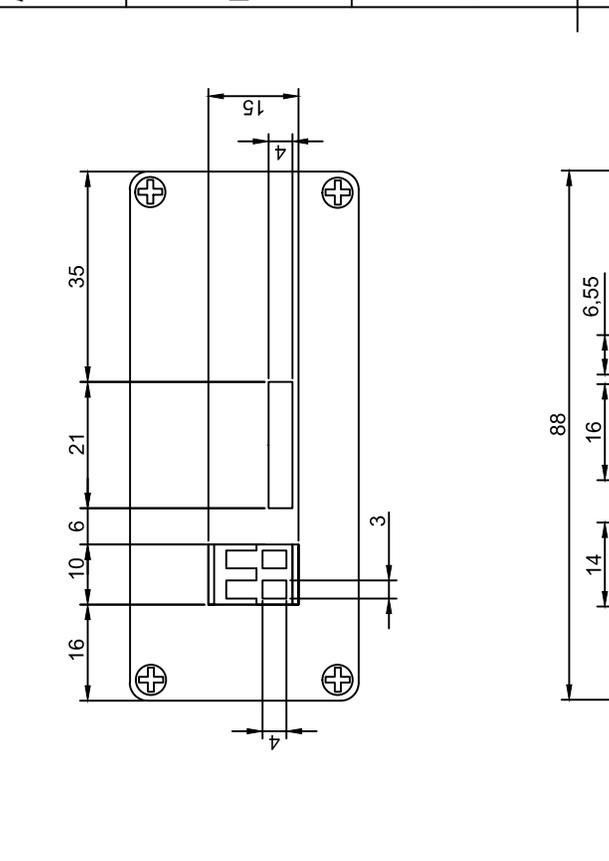


FILE NAME	M2M IAMBOX.dwg	FSCM NO	SHEET	2	SCALE	1:1.25
SIZE	Letter 216x279mm					
DRAWN	9/9/2013					
CHECK						
APPR.						
ISSUED	9/9/2013	Humberto Márquez				
REV						
CONTRACT NO						

milliliters units  
**M2M IAMBOX**  
 LCD TRIFÁSICO

DWG NO  
**2**

RevNo	Revision note	6	7	8
	Date			Signature
	Checked			



FILE NAME	M2M IAMBOX.dwg	FSCM NO	SHEET	3	SCALE	1:1.25
SIZE	Letter 216x279mm				millimeters units	
DRAWN	9/9/2013				M2M IAMBOX	
CHECK					GSM-EDGE	
APPR.	Humberto Márquez				DWG NO	
ISSUED	9/9/2013				3	
REV					CONTRACT NO	
					8	