

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA VISUALIZACIÓN DE  
SEÑALES ELÉCTRICAS DE MOTORES AC Y DC**

**IVÁN AURIOL MUÑOZ QUIÑÓNEZ  
JAIME ZÁRATE GARCÍA**  
Estudiantes de Ingeniería Electrónica

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
SEPTIEMBRE 2009**

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA VISUALIZACIÓN DE  
SEÑALES ELÉCTRICAS DE MOTORES AC Y DC**

**IVÁN AURIOL MUÑOZ QUIÑÓNEZ  
JAIME ZÁRATE GARCÍA**  
Estudiantes de Ingeniería Electrónica

Tesis de grado presentada como requisito para optar el título de Ingeniero  
Electrónico

DIRECTOR DEL PROYECTO:

**JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN**  
Ingeniero Electricista  
M.Sc en Potencia Eléctrica

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
SEPTIEMBRE 2009**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga, Septiembre de 2009

Dedico este proyecto a mi familia y amigos, los cuales me ayudaron con su apoyo incondicional a ampliar mis conocimientos y lograr cumplir las metas propuestas. Ante todo a Dios, doy gracias por otorgarme la sabiduría y la salud para lograrlo. Gracias a los intercambios de ideas con mis compañeros y amigos de estudio durante el proceso de pregrado.

Dios los bendiga!!!

IVÁN AURIOL MUÑOZ QUIÑÓNEZ

A Dios, por ser nuestro creador, Quien me ampara y llena de fortaleza. Por brindarme su amor a través de cada persona que deposita en mi su confianza.

A mis padres Jaime Zárate y Sara García, porque han sido los pilares en mi camino y así han formado parte de este logro que abre puertas inimaginables en mi desarrollo profesional y que son producto de la constancia y perseverancia.

A mi querida Abuela, a hermanas y tíos que me han regalado la oportunidad de crecer y compartir junto a ellos experiencias agradables, y hoy por hoy son el motor de mi motivación... los aprecio.

A todos mis amigos y compañeros, que en todo tiempo me han apoyado y ayudado. A todos quienes no alcancé nombrar porque sería una gran lista... dedico este nuevo logro porque han sido también esenciales en mi formación personal.

JAIME ZÁRATE GARCÍA

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A nuestro Director de Tesis: MSc. Juan Carlos Villamizar por su supervisión, predisposición permanente e incondicional, en aclarar nuestras dudas, y por sus substanciales sugerencias durante el desarrollo del proyecto.

A nuestro profesor PhD. Omar Pinzón Ardila por sus aportes materiales. Igualmente por la disposición de sus conocimientos teórico-prácticos en las actividades que conllevaron el buen desarrollo del proyecto.

Al Ing. Alonso Retamoso Llamas por sus críticas constructivas en la elaboración del proyecto y aportes conceptuales adquiridos a lo largo de nuestra carrera de pregrado.

A nuestros compañeros y amigos Tc. Jhosman Cediél Pinzón, Ing. Jhon Alexander Mora y futuro ingeniero Jorge Andrés Bueno por sus colaboraciones durante el desarrollo del proyecto.

Y finalmente a todas las personas que estuvieron de alguna manera vinculadas en la elaboración y desarrollo de este proyecto. Gratitudes a todos ustedes.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
OBJETIVOS .....	2
1 EFECTO HALL .....	3
1.1 GENERALIDADES DEL EFECTO HALL.....	3
1.2 PRINCIPIO TEÓRICO.....	4
1.3 MODELO PARA EL CÁLCULO DE UNA CORRIENTE $I_m$ .....	8
1.4 USOS CIENTÍFICOS E INDUSTRIALES DEL EFECTO HALL .....	10
2 SENSORES DE CORRIENTE .....	11
2.1 SENSOR <i>SHUNT</i> DE CORRIENTE DE BAJA RESISTENCIA .....	12
2.2 SENSOR DE CORRIENTE MAGNETO-RESISTIVO .....	13
2.3 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.....	14
BOBINA ROGOWSKI.....	15
2.4 SENSORES DE CORRIENTE CON EFECTO HALL.....	16
2.4.1 Configuración de “Lazo Abierto” .....	16
2.4.2 Configuración de “Lazo Cerrado” .....	17
3 MICROCONTROLADOR.....	20
3.1 GENERALIDADES DEL MICROCONTROLADOR.....	20
3.2 FAMILIA dsPIC30F .....	21
3.3 MODELO dsPIC30F4013.....	22
3.4 CONVERTIDOR ANÁLOGO A DIGITAL DE 12 BITS (CAD).....	23
3.4.1 Registros de Control del Módulo A/D .....	25
3.4.2 Búfer de Almacenamiento.....	25
3.4.3 Configuración de los Registros de Control y Estado.....	26
3.4.4 Terminología A/D y Proceso de Conversión .....	31
3.4.5 Configuración del Módulo A/D .....	33
3.4.6 Requisitos de Muestreo para el Funcionamiento del Módulo A/D.....	37

3.5	MÓDULO UART .....	38
3.5.1	Generador de Velocidad de Baudios UART (BRG) .....	43
3.5.2	Habilitación del Módulo UART .....	44
3.5.3	Deshabilitar el Módulo UART .....	44
3.5.4	Transmisor del Módulo UART .....	45
3.5.5	Configuración para Transmisión del Módulo UART .....	47
4	PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SERIAL .....	48
4.1	GENERALIDADES DE LA COMUNICACIÓN SERIAL .....	48
4.2	CONFIGURACIÓN DE LA TRAMA: .....	48
4.3	PROTOCOLO RS-232 .....	49
4.3.1	Uso de las Señales RS232 .....	50
4.3.2	Diagrama de Conexión .....	51
4.3.3	Velocidad y Control del Puerto Serial .....	52
4.3.4	Convertidor USB a Serial .....	53
5	ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES .....	54
5.1	GENERALIDADES EN EL ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES .....	54
5.1.1	Sensor y/o Transductor .....	55
5.2	ETAPAS DE ACONDICIONAMIENTO .....	56
5.2.1	Amplificación .....	56
5.2.2	Excitación .....	56
5.2.3	Filtrado .....	57
5.2.4	Respuesta en Frecuencia .....	62
5.2.5	Filtros Activos o Pasivos .....	63
5.2.6	Aislamiento .....	64
5.2.7	Linealización .....	66
5.2.8	Muestreo .....	68
5.2.9	Cuantización .....	70
5.2.10	Codificación .....	70
5.2.11	Teorema del Muestreo .....	71
6	MOTORES .....	75
6.1	MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA .....	75
6.1.1	Composición del Motor de Corriente Continua .....	76
6.1.2	Circuito Equivalente del Motor de Corriente Continua .....	80
6.1.3	Funcionamiento del Motor de Corriente Continua .....	81
6.2	MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA .....	82



6.2.1	Composición del Motor de Inducción .....	83
6.2.2	Circuito Equivalente del Motor de Inducción .....	86
6.2.3	Funcionamiento del Motor de Corriente Alterna.....	91
6.3	MEDICIONES DE CORRIENTE Y POTENCIA.....	91
6.3.1	Medición de Potencia en Sistemas Eléctricos.....	92
6.3.2	Sistema Monofásico.....	92
6.3.3	Sistema Trifásico.....	93
6.4	IMPORTANCIA DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS MEDIDOS.....	99
7	SOFTWARE DE MATLAB.....	101
7.1	GENERALIDADES DE MATLAB.....	101
7.2	HERRAMIENTA GUIDE.....	102
7.2.1	Identificadores ( <i>Handles</i> ).....	106
8	DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	107
8.1	ENTORNO DEL HARDWARE.....	107
8.1.1	Entradas.....	107
8.1.2	Tarjeta y/o Placa de Adquisición de Datos.....	108
8.1.3	Sensores y Hardware de Acondicionamiento de las Señales .....	111
8.1.4	Filtrado.....	121
8.1.5	Hardware de Muestreo y Conversión de Datos .....	124
8.1.6	Hardware de Transmisión y Salida.....	127
8.1.7	Compatibilidad del PC .....	128
8.1.8	Soporte del Controlador Módulo USB-UART.....	129
8.2	ENTORNO DEL SOFTWARE.....	130
8.2.1	Instalación de la Aplicación: “Matlab Component Runtime” .....	130
8.3	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS.....	131
8.3.1	Determinación de Variables de Entrada y Salida.....	131
8.4	ELEMENTOS DEL SOFTWARE.....	132
8.4.1	Ejecución para Comunicación Puerto Serial Módulo – <i>MATLAB</i> .....	132
8.4.2	Buffer y Transferencia de Datos.....	133
8.4.3	Descripción del Código Fuente de las Funciones Implementadas.....	134
8.5	ELEMENTOS DE LA INTERFAZ GRÁFICA.....	142
8.6	CALIBRACIÓN DEL MÓDULO.....	149
9	DESARROLLO Y RESULTADO DE PRUEBAS.....	151
9.1	PRUEBA 1 ARRANQUE USANDO RESISTENCIA EN SERIE CON LA ARMADURA.....	152

9.2	PRUEBA 2 ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN LA ARMADURA Y CORRIENTE DE CAMPO.....	153
9.3	PRUEBA 3 ARRANQUE CON TENSIÓN DE ARMADURA.....	154
9.4	PRUEBA 4 FRENADO NATURAL.....	155
9.5	PRUEBA 5 FRENADO REGENERATIVO.....	156
9.6	PRUEBA 6 FRENADO A CONTRACORRIENTE .....	157
9.7	PRUEBA 7 INVERSIÓN DE GIRO SIN PARO PREVIO.....	158
9.8	PRUEBA 8 INVERSIÓN DE MARCHA CON PARO PREVIO.....	159
9.9	PRUEBA 9 ARRANQUE A PLENA TENSIÓN .....	160
9.10	PRUEBA 10 ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN SERIE CON EL ESTATOR. ....	161
9.11	PRUEBA 11 ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN SERIE CON EL ROTOR.....	162
9.12	PRUEBA 12 ARRANQUE CON TRANSFORMADOR Y FRENADO CON CC. ....	163
9.13	PRUEBA 13 ARRANQUE CON DEVANADOS PARCIALES E INVERSIÓN DE GIRO. ....	165
9.14	PRUEBA 14 ARRANQUE Y- $\Delta$ CON FRENADO A CONTRACORRIENTE. ....	167
9.15	PRUEBA 15 INVERSIÓN DE GIRO SIN PARO PREVIO.....	169
	CONCLUSIONES .....	173
	AVANCES FUTUROS .....	175
	BIBLIOGRAFÍA .....	176

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Comparativa de Diferentes Sensores de Corriente .....	19
Tabla 2. ADCON1: Registro de Control 1.....	26
Tabla 3. ADCON2: Registro de Control 2.....	27
Tabla 4. Pines de Referencia A/D .....	27
Tabla 5. ADCON3: Registro de Control 3.....	29
Tabla 6. ADCHS: Registro Selector de Canal de Entrada.....	29
Tabla 7. ADPCFG: Registro de Configuración del Puerto Análogo.....	30
Tabla 8. ADCSSL: Registro de Selección de Escaneo de Entradas.....	31
Tabla 9. UxMODE: Registro de Modo .....	39
Tabla 10. UxSTA: Registro de Control del Módulo UARTX.....	40
Tabla 11. UxRXREG: UARTX Registro de Recepción .....	42
Tabla 12. UxTXREG: UARTX Registro de transmisión (Solo Lectura) .....	42
Tabla 13. UXBRG: Configuración de la Rata de Baudios.....	43
Tabla 14. Pines del Conector DB 9 de Uso Serial .....	49
Tabla 15. Configuración en la Conexión del Puerto serial.....	51
Tabla 16. Conexión mínima del puerto serial.....	51
Tabla 17. Explicación Resumida de las Herramientas de Inicio de GUIDE .....	105
Tabla 18. Especificaciones Técnicas de la Sonda PI350 .....	113
Tabla 19. Descripción de Pines Eléctricos de la Sonda PI350.....	114
Tabla 20. Especificaciones Técnicas de la Sonda ACS752-SCA050 .....	119
Tabla 21. Valores de los Componentes de los Filtros Activos Butterworth Pasa-Bajos ...	122
Tabla 22. Valores del los Componentes Reales .....	123
Tabla 23. Configuración del Registro ADCON1 .....	125
Tabla 24. Configuración del Registro ADCON2.....	125
Tabla 25. Configuración del Registro ADCON3.....	125
Tabla 26. Configuración del Registro ADPCFG.....	125
Tabla 27. Configuración del Registro ADCSSL.....	126
Tabla 28. Configuración del Registro ADCHS .....	126
Tabla 29. Configuración del Registro U1MODE.....	127

Tabla 30. Configuración del Registro U1STA .....	127
Tabla 31. Configuración del Registro U1BRG.....	127
Tabla 32. Descripción de las Secciones de la Ventana Captura de Datos .....	143
Tabla 33. Descripción de las Secciones de la Ventana Resultados.....	146
Tabla 34. Descripción de las Secciones de la Ventana Potencias.....	148
Tabla 35. Calibración con respecto al Fluke 123 .....	150
Tabla 36. Calibración con respecto al Fluke 345 .....	150
Tabla 37. Descripción de Partes.....	183
Tabla 38. Panel Frontal.....	184
Tabla 39. Lista de Software Recomendado .....	185
Tabla 40. Localización de Averías.....	196

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. El Efecto Hall .....	3
Figura 2. Esquema del Efecto Hall, (a) Portadores Positivos y (b) Negativos. ....	7
Figura 3. Modelo para el Cálculo de $I_m$ con Efecto Hall .....	8
Figura 4. Sensores de Corriente Magneto-Resistivo .....	14
Figura 5. Sensores TC .....	14
Figura 6. Modelo de la Bobina Rogowski .....	15
Figura 7. Sensor de Corriente Basado en el Efecto Hall de Lazo Abierto .....	16
Figura 8. Sensor de Corriente Basado en el Efecto Hall de Lazo Cerrado .....	18
Figura 9. Diagrama de Pines del dsPIC30F4013 .....	22
Figura 10. Convertidor A/D de 12 Bits .....	24
Figura 11. Proceso de Conversión .....	32
Figura 12. Modelo de Entrada del Convertidor A/D 12 de bits .....	38
Figura 13. Diagrama de Bloques del Módulo UART .....	46
Figura 14. Convertidores USB/RS-232 .....	53
Figura 15. Proceso de Adquisición de Datos de Una Señal. ....	55
Figura 16. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Butterworth $f_c=1\text{kHz}$ .....	58
Figura 17. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Chebyshev $f_c=1\text{kHz}$ .....	59
Figura 18. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Bessel $f_c=1\text{kHz}$ .....	60
Figura 19. Comparación de la Respuesta en Frecuencia de los Filtros con Una $f_c=1\text{kHz}$ ..	61
Figura 20. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Pasa-Bajo .....	62
Figura 21. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Pasa-Alto .....	62
Figura 22. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Pasa-Banda .....	63
Figura 23. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Rechaza Banda .....	63
Figura 24. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Pasa-Todo .....	63
Figura 26. Acoplamiento Magnético de Una Sonda de Efecto Hall .....	65
Figura 27. Acoplamiento Capacitivo .....	65
Figura 28. Acoplamiento Óptico .....	65
Figura 29. Linealización de Una Curva .....	67
Figura 30. Circuito de Linealización Analógica. ....	67

Figura 31. Muestreo de Una Señal.....	68
Figura 32. Respuesta del CAD.....	69
Figura 33. Cuantización de Una Señal a 3 bits y a 8 bits .....	71
Figura 34. Efecto del Aliasing .....	72
Figura 35. Configuración de un Muestreo Simultáneo.....	72
Figura 36. Muestreo Simultáneo.....	73
Figura 37. Configuración de un muestreo secuencial.....	74
Figura 38. Muestreo Secuencial.....	74
Figura 39. Motor Eléctrico de Corriente Continua .....	75
Figura 40. Motor de Corriente Continua.....	76
Figura 41. Rotor de Motor DC .....	77
Figura 42. Estator de Motor DC.....	79
Figura 43. Circuito Equivalente del Motor de Corriente Continua .....	81
Figura 44. Motor Eléctrico de Corriente Alterna.....	82
Figura 45. Rotor Jaula de Ardilla de un Motor de Inducción.....	83
Figura 46. Circuito Equivalente del Motor de Inducción. ....	86
Figura 47. Conexión de los Motores de Anillos Rozantes .....	87
Figura 48. Operación de los Motores de Inducción Trifásicos de Tres Terminales de Conexión. ....	87
Figura 49. Operación de Motores Trifásicos de Cuatro Conductores. ....	89
Figura 50. Operación de los Motores Trifásicos de Seis Bornes.....	89
Figura 51. Operación de los Motores de Nueve Bornes Conectadas a 208V.....	90
Figura 52. Operación de los Motores de Doce Bornes Alimentadas a 208V. ....	90
Figura 53. Triángulo de Potencias de un Circuito RL .....	93
Figura 54. Medición de Potencia de un Sistema Trifásico en Equilibrio.....	94
Figura 55. Método de los Dos Vatímetros para Medir Potencia de un Sistema Trifásico..	96
Figura 56. Diagrama Fasorial de una Carga Inductiva y Resistiva Trifásica Balanceada .	97
Figura 57. Conexión del Vatímetro para Medir Potencia Reactiva en un Sistema Trifásico .....	98
Figura 58. Inicio de la Aplicación GUIDE .....	103
Figura 59. Menú de la Herramienta GUIDE .....	104
Figura 60. Módulo Final del Sistema de Adquisición de Señales Eléctricas .....	108
Figura 61. Vista Inferior del PCB del Módulo. ....	109
Figura 62. PCB. Módulo Vista Superior.....	110
Figura 63. Vista inferior PCB Sonda Voltaje .....	111
Figura 64. Vista superior PCB sonda voltaje.....	111
Figura 65. Sonda PI350.....	112
Figura 66. Circuito de Acondicionamiento Sonda PI350 .....	114

Figura 67. Circuito de Acondicionamiento Aplicado en el Módulo para la Sonda PI350 .	115
Figura 68. Circuito Implementado con la Sonda PI350.....	117
Figura 69. Sonda ACS752-SCA050 .....	118
Figura 70. Circuito Interno de Acondicionamiento Sonda ACS752-SCA050 .....	120
Figura 71. Circuito de un Filtro Pasa Bajos .....	122
Figura 72. Filtro Pasa Bajo Butterworth $n=2$ .....	124
Figura 73. (a) PCB Módulo UART-USB y (b) Tarjeta Real.....	128
Figura 74. Diagrama de Flujo, Conversión, Transmisión y Procesamiento. ....	132
Figura 75. Ventana de Inicio de la Interfaz.....	142
Figura 76. Ventana 1 de Visualización de Parámetros .....	145
Figura 77. Ventana 2 de Visualización de Parámetros .....	147
Figura 78. Ventana de Tiempo de Establecimiento .....	149
Figura 79. Prueba 1 - Circuito de Potencia y Control.....	152
Figura 80. Prueba 1 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	152
Figura 81. Prueba 2 - Circuito de Potencia y Control.....	153
Figura 82. Prueba 2 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	153
Figura 83. Prueba 3 - Circuito de Potencia y Control.....	154
Figura 84. Prueba 3 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	154
Figura 85. Prueba 4 - Circuito de Potencia y Control.....	155
Figura 86. Prueba 4 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	155
Figura 87. Prueba 5 - Circuito de Potencia y Control.....	156
Figura 88. Prueba 5 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	156
Figura 89. Prueba 6 - Circuito de Potencia y Control.....	157
Figura 90. Prueba 6 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	157
Figura 91. Prueba 7 - Circuito de Potencia y Control.....	158
Figura 92. Prueba 7 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	158
Figura 93. Prueba 8 - Circuito de Potencia y Control.....	159
Figura 94. Prueba 8 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	159
Figura 95. Prueba 9 - Circuito de Potencia y Control.....	160
Figura 96. Prueba 9 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	160
Figura 97. Prueba 10 - Circuito de Potencia y Control.....	161
Figura 98. Prueba 10 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	161
Figura 99. Prueba 11 - Circuito de Potencia y Control.....	162
Figura 100. Prueba 11 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	162
Figura 101. Prueba 12 - Circuito de Potencia y Control. ....	163
Figura 102. Prueba 12 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados .....	163
Figura 103. Prueba 12 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Cambio de Tension .....	164

Figura 104. Prueba 12 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Frenado .....	164
Figura 105. Prueba 13 - Circuito de Potencia y Control. ....	165
Figura 106. Prueba 13 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados.....	165
Figura 107. Prueba 13 - Corriente Capturada en el Cambio de Devanados .....	166
Figura 108. Prueba 13 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en la Inversión de Giro .	166
Figura 109. Prueba 13 - Voltaje Capturado al Final de la Prueba.....	167
Figura 110. Prueba 14 - Circuito de Potencia y Control. ....	167
Figura 112. Prueba 14 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados.....	168
Figura 113. Prueba 14 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Cambio Y- Delta..	168
Figura 114. Prueba 14 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Cambio Delta – Y	169
Figura 115. Prueba 14 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Frenado .....	169
Figura 116. Prueba 15 - Circuito de Potencia y Control. ....	169
Figura 117. Prueba 15 - Voltaje (a) y Corriente (b) Capturados.....	170
Figura 118. Prueba 15 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en la Inversión de Giro .	171
Figura 119. Panel Superior .....	183
Figura 120. Panel Frontal del Módulo .....	184
Figura 121. Adaptador de voltaje AC/DC 120VAC/36VDC.....	184
Figura 122. Cable USB-mini USB.....	184
Figura 123. Diagrama de Conexión para Motor de Inducción .....	185
Figura 124. Diagrama de Conexión para Motor DC.....	186
Figura 125. Ventana de Inicio de la Interfaz.....	187
Figura 126. Ventana Resultados .....	189
Figura 127. Ventana Potencias .....	191
Figura 128. Ventana de Tiempo de Establecimiento .....	193
Figura 129. Diagrama de Flujo del Funcionamiento del Progama del Microcontrolador .	229



## **ANEXOS**

**Pág.**

### **ANEXO A**

MANUAL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA VISUALIZACIÓN  
DE SEÑALES ELÉCTRICAS DE MOTORES AC Y DC.....177

### **ANEXO B**

1. HOJA DE DATOS SENSOR PI350 F.W. BELL.....194  
2. HOJA DE DATOS SENSOR ACS752-SCA050 ALLEGRO MICROSYSTEMS .....196

### **ANEXO C**

FUNCIONES IMPLEMENTADAS EN MATLAB .....207

### **ANEXO D**

PROGRAMA INSTALADO EN EL dsPIC30F4013.....224

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA VISUALIZACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS DE MOTORES AC Y DC

**AUTORES:** IVÁN AURIOL MUÑOZ QUIÑÓNEZ  
JAIME ZÁRATE GARCÍA

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN

### RESUMEN

Este proyecto tiene como finalidad establecer una herramienta de medición segura, práctica y precisa; dirigida a la comunidad estudiantil de la Universidad Pontificia Bolivariana y a todos aquellos que en primera instancia deseen estudiar los parámetros eléctricos referentes al manejo de máquinas eléctricas y equipos de potencia. Se basa en el diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos, implementando a su vez el uso particular de sensores de Efecto Hall. Las señales eléctricas de voltaje y corriente, presentes en los motores de inducción AC y/o en motores DC, son adquiridas por las respectivas sondas de corriente PI350 y la sonda ACS752-SCA050 en los procesos que conllevan actividades específicas para el funcionamiento de los mismos, tales como: encendido y/o arranque, frenado e inversión de giro. Adquiridas las señales análogas por parte de los sensores, éstas pasan a través de un sistema de acondicionamiento para luego ser muestreadas y convertidas a formato digital por un Microcontrolador (dsPIC30F4013), que a su vez se encarga de realizar la transmisión UART (RS232) con el ordenador a disposición. Finalmente, los datos son recibidos y procesados a través de una interfaz gráfica (GUIDE) ejecutable, desarrollada a través del software MATLAB, que se encarga de cuantificar y cualificar los parámetros pertinentes para el respectivo análisis visual y la valoración que el estudiante o practicante requiera.

### PALABRAS CLAVES:

Acondicionamiento, Efecto Hall, Motores de inducción, Muestreo, Sensores, UART.

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

**TITLE:** DATA ACQUISITION SYSTEM FOR VIEWING OF ELECTRICAL SIGNALS OF AC AND DC MOTORS

**AUTHORS:** IVÁN AURIOL MUÑOZ QUIÑÓNEZ  
JAIME ZÁRATE GARCÍA

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN

### ABSTRACT

This project was made in order to establish a secure, practical and precise measurement tool; the development was arranged towards the student community from the Universidad Pontificia Bolivariana and whoever desires to study the electric aspects of working with electrical machines and power equipment. It is based on the design and construction of a data acquisition system derived from using a particular type of magnetic sensors, Hall Effect sensors. Electric voltage and current signals in induction AC and DC motors are taken by individual current probes PI350 also by probe ACS752-SCA050, they act on every process involved in the functioning of electrical machines such as: turning on or starting to operate, breaking or stopping the running of the machine and changing direction. Once the analog signals are acquired by sensors, they go through a signal conditioning system, then, the signals are ready to be sampled and become into a digital format by a microcontroller (dsPIC30F4013), the UART (RS232) transmission with the computer is also all set by the microcontroller. Finally, the information is received and processed by an executable graphic user interface (GUIDE). It was developed using the mathematical exploration software named MATLAB, which has the main function of quantify and qualify parameters related to the visual analysis and the scrutiny of student or any person who may need this software.

### KEYWORDS:

Conditioning, Hall Effect, Induction motors, Sampling, Sensors, UART.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente existen innumerables aspectos con aplicaciones de la electrónica en nuestra vida cotidiana, y muchos de ellos no serían posibles sin los sensores. Muchos de los dispositivos electrónicos que abundan en el presente no serían más que simples curiosidades de laboratorio sin conocer la capacidad que éstos entregan al momento de medir magnitudes físicas para su simple conocimiento y/o posible control.

El presente proyecto esboza la comprensión y manejo de componentes que constituyen el diseño y montaje del módulo de adquisición de datos de voltaje y corriente de motores AC y DC; para ello se empleará un sensor de efecto hall, que es un transductor que varía su voltaje de salida en respuesta a cambios del campo magnético generados por una corriente que lo atraviesa. Posterior a este proceso, la señal de voltaje obtenida pasa a través de un amplificador y acondicionador de señal para luego ser convertida a una señal digital, mediante el uso de un CAD (Convertidor Analógico Digital) implementado por un microcontrolador. Estos datos digitales son enviados a una computadora a través de una comunicación serial y finalmente son adquiridos por la interfaz ejecutada desde un software que permite la visualización gráfica y procesamiento de los datos de corriente y voltaje adquiridos en el buffer de entrada.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Diseñar, construir e implementar un módulo de adquisición de datos para la medición y análisis de variables eléctricas (corriente y voltaje) en el funcionamiento de motores de inducción (AC) y en motores DC, implementando el uso de sensores de corriente basados en el efecto Hall.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Realizar un estudio teórico y práctico del funcionamiento de la sonda de efecto Hall.
- ❖ Realizar procedimientos para adquirir los parámetros eléctricos en el motor de inducción y motores DC en diferentes etapas, tales como el arranque, frenado e inversión de giro.
- ❖ Implementar un sistema de comunicación digital para enviar datos de las variables adquiridas a un PC desde un microcontrolador.
- ❖ Desarrollar un manual de implementación de la tarjeta de Adquisición de Datos.

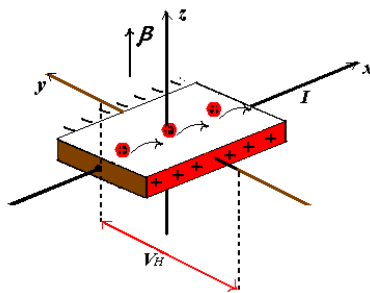
# 1 EFECTO HALL

## 1.1 GENERALIDADES DEL EFECTO HALL

El efecto Hall fue descubierto en 1879 por el físico estadounidense Edwin Herbert Hall, debido a una característica (inherente) electromagnética mientras realizaba casualmente un montaje eléctrico en su tesis doctoral en física. Básicamente el efecto Hall consiste en la aparición de un campo eléctrico en un conductor cuando es atravesado por una corriente estando dentro de un campo magnético. A este campo eléctrico se le llamó campo Hall.

El experimento se basó en sus inicios por una placa emplazada en un campo magnético  $\beta$  perpendicular a su superficie, al ser atravesada por una corriente eléctrica  $I$  en la dirección del eje  $x$ , en la cual se generaba un diferencial de potencial  $V_H$  en la dirección del eje  $y$ . La determinación cuantitativa de éste fenómeno se efectúa a través de la resistencia Hall  $R_H$ , definida como la relación entre el voltaje Hall  $V_H$  y la intensidad de la corriente  $I$ .

**Figura 1. El Efecto Hall**



Fuente: Germán Sierra y Miguel Ángel Martín D. Documento científico de Química

La Figura 1 resume de manera explícita el párrafo anterior de la siguiente manera: la diferencia de potencial  $V$ , genera una corriente  $I$  en la dirección positiva del eje  $x$ . La resistencia óhmica ordinaria es  $V/I$ . Un campo magnético  $\beta$  en la dirección  $z$  desplaza los electrones en la dirección positiva del eje  $y$  y esto genera un *potencial Hall* ( $V_H$ ) y una *resistencia Hall* ( $V_H/I$ ) en la dirección  $y$  y la resistencia Hall  $R_H$  depende del campo magnético  $\beta$  y la densidad superficial  $\rho$  de portadores de carga eléctrica  $e$  a través de la relación de la ecuación 1, donde  $c$  es la velocidad de arrastre de las cargas libres.

$$R_H = \frac{V_H}{I} = \frac{\vec{\beta}}{\rho \cdot e \cdot c} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$R_H$ : *resistencia Hall*

$V_H$ : *voltaje Hall*

$I$ : *corriente*

$\beta$ : *campo magnético*

$e$ : *carga eléctrica*

$c$ : *velocidad de arrastre de las cargas libres*

$\rho$ : *densidad superficial*

## 1.2 PRINCIPIO TEÓRICO

El Efecto Hall se emplea para establecer la densidad de portadores  $\rho$  así como el signo de la carga, que es negativa ( $e < 0$ ) para electrones y positiva ( $e > 0$ ) para agujeros. La sustentación teórica de este efecto se puede obtener gracias a la *Electrodinámica Clásica*, donde la cual una carga eléctrica sometida a la acción simultánea de un campo magnético  $\beta$  y un campo eléctrico  $\epsilon$  experimenta una fuerza, especificada en la ecuación 2.

$$\vec{F}_L = e \cdot \vec{\varepsilon} + \frac{e}{c} \cdot \vec{v} \times \vec{\beta} \quad (\text{Ecuación 2})$$

**$F_L$** : fuerza de Lorentz

**$e$** : carga eléctrica

**$\varepsilon$** : campo eléctrico

**$\beta$** : campo magnético

**$v$** : velocidad de la partícula

Esta fuerza es colineal con el campo eléctrico, sin embargo es opuesta a la fuerza magnética. La sumatoria de las fuerzas encontradas recibe el nombre de fuerza de *Lorentz*. Si, en dado caso, esta fuerza resultante llega a anularse puede deducirse que los portadores llegan al equilibrio a lo ancho de la placa. La fuerza de *Lorentz* hace que las cargas giren con una frecuencia ciclotrónica expresada en la ecuación 3.

$$\omega_c = \frac{e \cdot \vec{\beta}}{\mu \cdot c} \quad (\text{Ecuación 3})$$

**$\omega_c$** : frecuencia ciclo trónica

**$\beta$** : campo magnético

**$\mu$** : masa

**$\varepsilon$** : campo eléctrico

**$v$** : velocidad de la partícula

El campo eléctrico produce un arrastre neto de las órbitas ciclotrónicas. El movimiento de las cargas a lo largo del eje  $x$  induce un campo eléctrico  **$E_y$**  en la dirección perpendicular dado por la siguiente ecuación:

$$\vec{E}_y = \frac{V_x \cdot \vec{\beta}}{c} \quad (\text{Ecuación 4})$$



La Ecuación (1) se deduce sencillamente de las relaciones anteriormente expresadas y las que se presentan a continuación:

$$V_H = \vec{E}_Y \cdot \vec{L}_Y \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$I = \vec{j}_X \cdot \vec{L}_Y \quad (\text{Ecuación 6})$$

$L_Y$ : anchura de la muestra en la dirección y

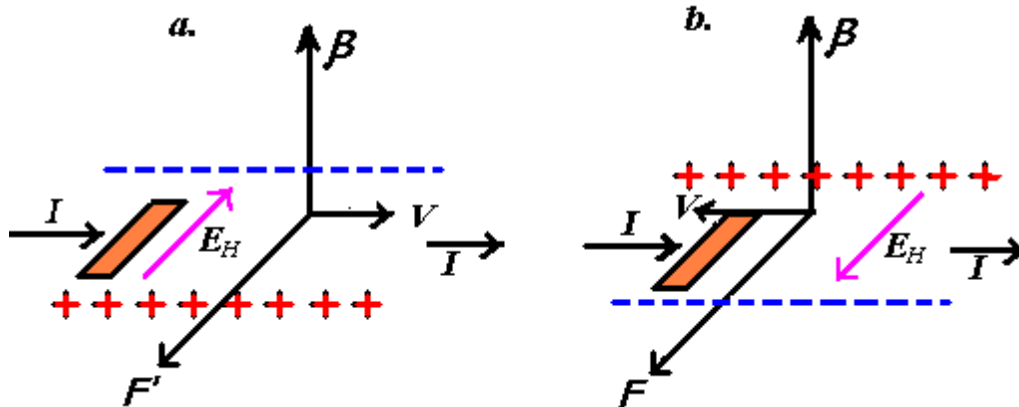
$j_X$ : componente x de la densidad de corriente  $\mathbf{e} \cdot \rho \cdot \mathbf{V}_x$

La diferencia de potencial  $V_H$ , generado por el campo eléctrico, entre los laterales de la lámina depende de manera proporcional del campo aplicado, y de la velocidad. A su vez este último parámetro depende de la corriente que circula por la placa, quedando así determinada la siguiente expresión:

$$V_H = \frac{R_H \cdot \vec{\beta} \cdot \vec{I}}{\rho} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Por otra parte, a partir del signo del voltaje Hall  $V_H$ , de la dirección de la corriente  $I$  y del campo magnético  $\beta$ , se puede revalidar el signo de los portadores de carga. En la Figura 2 se puede observar cómo afecta el campo magnético a la corriente cuando ésta corresponde a portadores carga positiva (a) y negativa (b), mencionado anteriormente. De la misma manera se aprecia cómo, con una corriente asignada y un campo magnético dado, el sentido del campo eléctrico,  $E_y$ , depende de la carga de los portadores y, por tanto, el signo del voltaje  $V_H$ .

Figura 2. Esquema del Efecto Hall, (a) Portadores Positivos y (b) Negativos.



Fuente: Leonardo Pendás Sebastián Montes de Oca. Curso de medidas eléctricas.

En las diversas clases de metales pueden hallarse ambos tipos de portadores, tanto negativos como positivos. A pesar de que en la mayor parte de los metales la carga es negativa, se puede encontrar en algunos metales como el hierro, el zinc, el berilio y el cadmio que es positiva, sin embargo, en los semiconductores también es posible localizar y encontrar que las cargas son positivas y negativas simultáneamente.

Existe por tanto una desigualdad entre los intercambios negativos y los positivos; igualmente, en estos casos particulares, la medida del potencial permite determinar cuál domina, si el positivo o el negativo.

En ésta instancia, el factor decisivo para que se manifieste un voltaje Hall es la diferencia en movilidad de los portadores de carga, cabe mencionar que un voltaje Hall alcanza aparecer sólo si los portadores de carga, tanto positivos como negativos, tienen movilidades diferentes. La base que explica este fenómeno es asumida por la distribución de niveles de energía electrónica en el metal y excede los objetivos de este contexto.

Sintetizando, a partir de parámetros medibles, como los que se encuentran comprendidos en el efecto Hall, es permisible, y de manera relativamente sencilla, determinar diferentes propiedades de los conductores y semiconductores como por ejemplo el signo y la densidad de portadores de carga, así como la movilidad de los mismos.

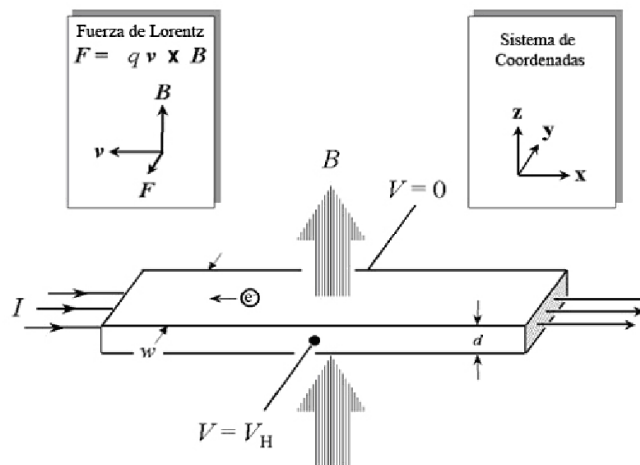
### 1.3 MODELO PARA EL CÁLCULO DE UNA CORRIENTE $I_m$

A continuación se describe como calcular el valor de una corriente  $I_m$  mediante la medición de la diferencia de potencial Hall ( $V_H$ ) en bornes de una placa conductora sumergida en el campo magnético  $\beta_r$  generado por la corriente  $I_m$ .

De la ley de Ampere se sabe que:

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_m \quad (\text{Ecuación 8})$$

**Figura 3. Modelo para el Cálculo de  $I_m$  con Efecto Hall**



Fuente: [http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/medel/archivos/monografias/2005/Efecto\\_Hall.pdf](http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/medel/archivos/monografias/2005/Efecto_Hall.pdf)

Donde la integración se lleva a cabo sobre una curva cerrada “c”, que si es elegida como una circunferencia de radio “r” y con su centro coincidiendo con el del conductor que transporta  $I_m$ , se tiene:

$$H_r = \frac{I_m}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (\text{Ecuación 9})$$

De la anterior relación se conoce que:

$$\mu \cdot H_r = \beta_r \quad (\text{Ecuación 10})$$

$\beta$ : campo magnético a una distancia r del conductor

$\mu$ : masa

Sustituyendo la expresión anterior en la ecuación 1 y despejando la corriente se obtiene:

$$I_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\rho \cdot v_d \cdot \mu} \cdot V_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{w \cdot v_d \cdot \mu} \cdot V_H \quad (\text{Ecuación 11})$$

$\rho = w$  (sección transversal de la placa)

Esta expresión (ecuación 11) permite determinar la corriente  $I_m$  a partir del voltaje Hall, y de parámetros físicos como las dimensiones (w), la permeabilidad magnética ( $\mu$ ) y la velocidad de deriva de los portadores de carga ( $v$ ) de la placa donde se calcula el potencial Hall ( $V_H$ ) y la distancia a la cual se ubica la placa (r).

## **1.4 USOS CIENTÍFICOS E INDUSTRIALES DEL EFECTO HALL**

El Efecto Hall es usado con frecuencia para establecer modelos teóricos de los flujos de plasma (rama propia de la astrofísica) para encontrar sentido acerca de las manchas y los ciclos solares, además de ciertas extrañezas de los campos electromagnéticos de las estrellas. Se encuentra también aplicado en los modelos de la magnetosfera terrestre.

El efecto Hall también es frecuentemente usado en la industria automotriz, una de las diversas aplicaciones es muy práctica y hace parte del sistema de arranque por Efecto Hall en los automotores. El principio del Efecto Hall es actualmente empleado en una gran variedad de sensores con aplicaciones prácticas, tales como lectores de tarjetas magnéticas, detectores de proximidad, sensores de velocidad, medidores de potencia eléctrica, brújulas electrónicas, sistemas de ignición, etc.

Se utilizan también integrados con Efecto Hall como conmutadores activados por el campo magnético de un imán. Un caso específico es en los sensores de los sistemas de alarma (aquellos que se colocan en puertas y ventanas, para detectar su apertura). Estos conmutadores tienen la ventaja de no tener fricción al ser accionados, ya que el único elemento que toma contacto es el campo magnético. Son empleados en teclados de alta sensibilidad, y estos mismos conmutadores se pueden usar como sensores de choque (contacto físico), posicionamiento de un mecanismo, cuentavueltas, límite de carrera y otras detecciones mecánicas dentro y en el exterior de un artefacto.

## 2 SENSORES DE CORRIENTE

A pesar de que en la actualidad hay muchos medidores de parámetros eléctricos, tales como instrumentos medidores de voltaje, contadores, potenciómetros, registradores de banda, osciloscopios, etc., sólo hay un “instrumento” dedicado a la medición de corriente, el amperímetro análogo o digital; y en el cual, el amperímetro digital es en realidad un voltímetro con sensor de corriente.

Naturalmente los sensores de corriente sirven como transductores de este parámetro en un voltaje. Los amperímetros son útiles sólo para corrientes continuas, en su lugar, la mayoría de los sensores guardan estrecha ventaja ya que también se acomodan para la medición de corrientes dinámicas. Y no solamente los sensores de corriente exigen un rango de medición mucho mayor, sino que también necesitan manipular frecuencias de rango mucho más amplio dado el provechoso contenido de armónicos en la onda de corriente.

La alta capacidad de manejo de corrientes obliga a la presente generación de artefactos de medición eléctrica a mejorar su tecnología, ya que en la actualidad la toma de lecturas de corriente no se adapta fácilmente a los medidores. Los fabricantes de medidores precisan encontrar un nuevo prototipo de sensor que permita satisfacer los diferentes requerimientos sin incurrir en costos adicionales.

Para la medición de corrientes de onda general (incluyendo corriente directa) existen sensores basados en el efecto Hall y/o efecto de magneto-resistencia. Un generador Hall es un semiconductor magneto-sensible que proporciona un voltaje

de salida correspondiente al producto de su corriente (la cual es mantenida constante) por la componente del campo magnético que es perpendicular a su superficie. Como este campo es proporcional a la corriente que se está midiendo, el voltaje de salida del dispositivo es proporcional a la corriente sensada. Un aparato común tiene un rango de 0 a 350 A y una respuesta en frecuencia que va de 0 a 1000 Hz, sin embargo existen otros modelos que ofrecen rangos de corriente más bajos y respuesta más rápida.

## **2.1 SENSOR *SHUNT* DE CORRIENTE DE BAJA RESISTENCIA**

Es el sensor de corriente más sencillo, ya que transforma la corriente a través de él en un voltaje, es decir, simplemente se inserta el resistor sensor de corriente, de manera que la corriente tenga que pasar a través de él. Esta inserción perturba el circuito en observación, de manera que el valor en ohmios del resistor debe ser pequeño en relación con la resistencia equivalente del circuito en el punto de inserción. Para mediciones dinámicas hay que recordar también que los resistores reales siempre tienen alguna inductancia o capacitancia parásita, de manera que la conversión de corriente en voltaje no siempre sigue con exactitud la sencilla relación  $v=i*R$ . Aunque algunas veces se pueden usar resistores “ordinarios”, existen resistores sensores de corriente especiales de bajo valor en ohmios y de pequeña inductancia y capacitancia como lo son los dispositivos especiales de circuito integrado para leer el voltaje del resistor. Para medir corrientes pequeñas, el convertidor amplificador operacional de corriente a voltaje puede ser útil.

El bajo costo y la confiabilidad en su lectura hacen del modelo *Shunt* de corriente de baja resistencia una solución popular para la medición de corriente. Sin embargo, dado que el *Shunt* es fundamentalmente un elemento resistivo, la pérdida de potencia es proporcional al cuadrado de la corriente que pasa por la

resistencia y consecuentemente es inusual entre los medidores de energía de alta corriente.

## **2.2 SENSOR DE CORRIENTE MAGNETO-RESISTIVO**

Los sensores de corriente magneto-resistivos usan elementos que alterna la resistencia por respuesta a un campo magnético. Para tener un voltaje de salida proporcional a la corriente sensada, los elementos generalmente están conectados en arreglo de puente *Wheatstone*, y una técnica de retroalimentación que proporciona buena linealidad e insensibilidad a la temperatura. Esta variación del campo magnético se convierte en un puente de tensión eléctrico, que entonces está filtrado y preparado. La señal de salida es un voltaje que corresponde al cambio del campo magnético.<sup>1</sup>

Estos sensores son aptos para la detección de la velocidad de ruedas dentadas y para control de parada. Las áreas de utilización son máquinas de construcción, vehículos sobre carriles, grandes motores diesel, turbinas y semejantes.

Una respuesta de frecuencia de aproximadamente 50kHz es posible de lograr con este tipo de sensores.

---

<sup>1</sup> SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL, Ramón Pallás Areny, 4ª Edición. Editorial Marcombo. 2003



**Figura 4. Sensores de Corriente Magneto-Resistivo**



Fuente: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)

### **2.3 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 conductor que lo atraviesa actúa como el primario y el arrollamiento multi-vuelta alrededor del núcleo es el secundario.

El TC es común entre los medidores de energía de estado sólido de alta corriente. Es un dispositivo pasivo que no necesita circuitos adicionales de control. Adicionalmente, el TC puede medir corrientes muy altas y consumir poca potencia. Sin embargo, el material ferrítico usado en el núcleo se puede saturar cuando la corriente primaria es muy alta o cuando hay un componente importante de continua (DC) en la corriente. Una vez magnetizado, el núcleo contendrá histéresis y su precisión se degradará a menos que esté se desmagnetice de nuevo.

**Figura 5. Sensores TC**

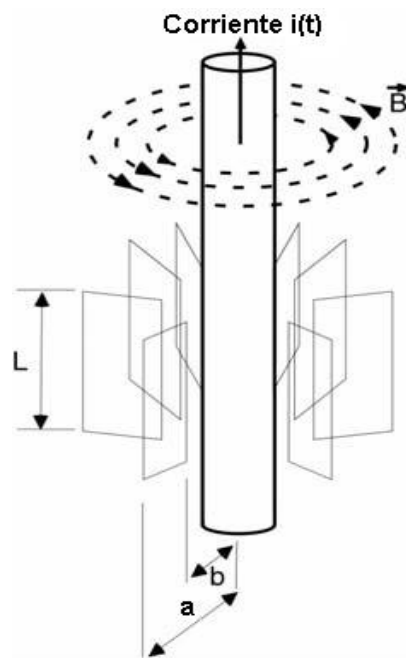


Fuente: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)

## BOBINA ROGOWSKI

Se basa en medir los cambios del campo magnético que se produce alrededor de un hilo portador de corriente para producir una señal de voltaje, la cual es proporcional a la derivada de la corriente ( $di/dt$ ) para lo cual un integrador es necesario para convertir esta señal a la señal apropiada. La tarea de crear un integrador que fuera estable y exacto durante la larga vida de un medidor había sido desalentadora, sin embargo la reciente implementación digital del integrador tiene la promesa de convertir esta tecnología en una realidad para los medidores eléctricos.

**Figura 6. Modelo de la Bobina Rogowski**



Fuente: [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)

En la Figura 6 se describe un conductor de corriente que pasa por el centro de una bobina con central de aire. La sección transversal del núcleo es de forma rectangular (las bobinas no se muestran).  $L$  es la longitud de la sección,  $a$  es el

radio exterior y  $b$  es el radio interior de la bobina de aire concéntrica formando una sección transversal rectangular. La inductancia mutua entre el conductor y la bobina generan un radio de flujo magnético recogido en la bobina por la corriente que atraviesa el cable.

## **2.4 SENSORES DE CORRIENTE CON EFECTO HALL**

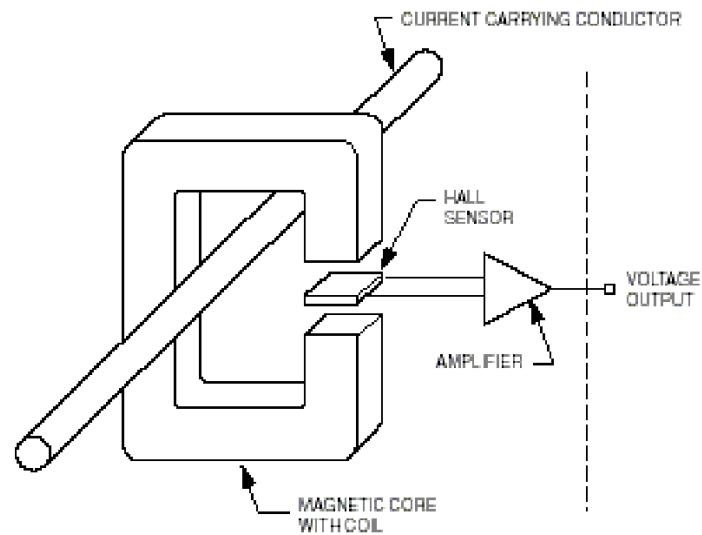
Generalmente los sensores de corriente, basados en el efecto Hall, se encuentran diseñados en forma de pinza, construida a partir de materiales ferro-magnéticos, que al envolver el conductor por donde circula la corriente a medir “confinan” el flujo haciéndolo transitar (en el entrehierro) por una placa semiconductor en donde se lleva a cabo el efecto Hall.

Básicamente se puede encontrar dos configuraciones primordiales de este tipo de dispositivos: la configuración de *lazo abierto* (ver figura 7) y la de *lazo cerrado* (ver figura 8).

### **2.4.1 Configuración de “Lazo Abierto”**

Corresponde a su nombre debido a la ausencia de realimentación. En esta configuración del sensor común, de lazo abierto, el conductor portador de corriente se hace pasar a través del espacio vacío de un núcleo de ferrita ahuecado usado para concentrar el campo magnético (el dispositivo Hall se encuentra ubicado en el intersticio).

**Figura 7. Sensor de Corriente Basado en el Efecto Hall de Lazo Abierto**



Fuente: [http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/medel/archivos/monografias/2005/Efecto\\_Hall.pdf](http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/medel/archivos/monografias/2005/Efecto_Hall.pdf)

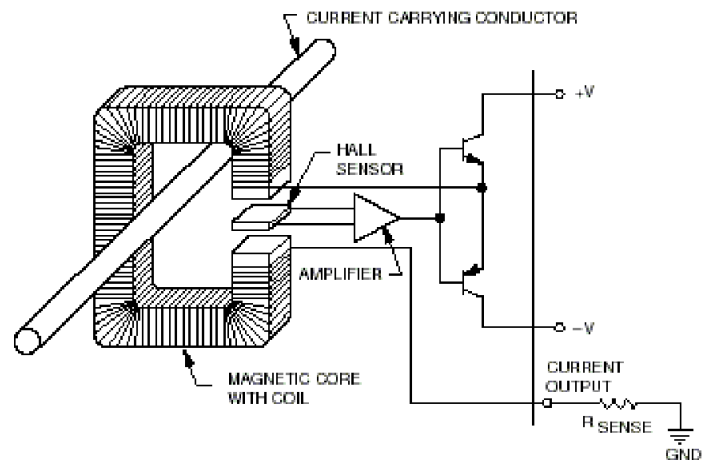
Este dispositivo, amplifica la tensión Hall del semiconductor en el entrehierro, la cual es proporcional a la corriente a medir (ver ecuación 8). Uno de los defectos que presenta ésta configuración, radica en la saturación del material magnético que concentra el flujo, lo que restringe a un límite la magnitud de corriente a medir en función de la permeabilidad magnética del material empleado y de la distancia concéntrica del núcleo magnético.

Cabe resaltar y no dejar pasar en vano, la curva característica de *tensión Hall vs. flujo magnético*, ya que ésta no es lineal, y la aproximación es mejor cuanto más lejos se este de la saturación, esto significa al borde del cero.

#### 2.4.2 Configuración de “Lazo Cerrado”

Emplean un esquema de anulación de la retroalimentación para mejorar la linealidad y reducir la dependencia de la temperatura.

**Figura 8. Sensor de Corriente Basado en el Efecto Hall de Lazo Cerrado**



Fuente: [http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/medel/archivos/monografias/2005/Efecto\\_Hall.pdf](http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/medel/archivos/monografias/2005/Efecto_Hall.pdf)

La tensión Hall en lazo cerrado no se mide directamente (como lo hace su contraparte de lazo abierto), en esta configuración se emplea la tensión Hall para generar una corriente que se realimentará al núcleo magnético mediante un bobinado en el mismo. El propósito de esta realimentación es producir un flujo opuesto al que genera la corriente a medir. Esta realimentación se estabiliza cuando el flujo magnético por la pinza es cero. En estas condiciones, la situación es comprensible si se tiene en cuenta y aplica la ley de Ampere, donde se obtiene que:

$$I_m = N \cdot I_L \quad (\text{Ecuación 12})$$

La anterior expresión indica que cuando el flujo magnético en el núcleo es cero, la corriente a medir ( $I_m$ ) es igual a la corriente inyectada a través del lazo por la realimentación ( $I_L$ ), multiplicada por la cantidad de vueltas del bobinado ( $N$ ). De esta forma, se puede medir la corriente  $I_L$  en una tensión, colocando una resistencia a tierra para obtener una salida de voltaje proporcional a la corriente

*Im.* Si la resistencia instalada equivale a  $N^{-1}\Omega$ , entonces el valor correspondiente de la tensión coordinará con el valor de la corriente a medir.

**Tabla 1. Comparativa de Diferentes Sensores de Corriente**

Tipo de Sensor	Shunt de Corriente	Transformador de Corriente	Sensor de Efecto Hall	Bobina de Rogowski
Costo	Muy Bajo	Medio	Alto	Bajo
Linealidad en Rango de Medición	Muy Buena	Buena	Pobre	Muy Buena
Capacidad de Medición de Alta Corriente	Muy Pobre	Buena	Buena	Muy Buena
Consumo de Potencia	Alto	Bajo	Medio	Bajo
Problema de Saturación de Corriente DC	No	Si	Si	No
Variación respecto a la Temperatura	Medio	Bajo	Alto	Muy Bajo
Problema Offset DC	Si	No	Si	No
Problema de Saturación e Histéresis	No	Si	Si	No

Fuente: [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)

## 3 MICROCONTROLADOR

### 3.1 GENERALIDADES DEL MICROCONTROLADOR<sup>1</sup>

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico apto para llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en diferentes tipos de lenguaje entre los cuales están el lenguaje ensamblador y el lenguaje en C, estos programas son realizados por el usuario, y son introducidos al microcontrolador a través de un circuito de programación, el cual es específico para cada dispositivo.

Más específicamente los dsPIC (*Peripheral Interface Controller, Controlador de Interfaz Periférico*) nacen después de que los DSP (*Digital Signal Processing, Procesador Digital de Señales*) hayan sido desarrollados durante años por otras empresas. En su diseño han participado expertos y especialistas de muchas áreas. Los dsPIC se han aprovechado de la experiencia acumulada por otros fabricantes.

Microchip, fabricante de los dsPIC, los ha bautizado con el nombre de DSC (*Digital Signal Controller*), que puede ser traducido como Controlador Digital de Señal.

Un DSC es un potente microcontrolador de 16 bits al que se le han añadido las principales capacidades de los DSP. Es decir, los DSC poseen todos los recursos de los mejores microcontroladores embebidos de 16 bits conjuntamente con las

---

<sup>1</sup> La información de este capítulo está basada en la hoja de datos de la familia dsPIC30F

principales características de los DSP, permitiendo su aplicación en el extraordinario campo del procesamiento de las señales analógicas y digitalizadas. Uniendo adecuadamente las capacidades de un DSP con un potente microcontrolador de 16 bits, los DSC reúnen las mejores características de los dos campos. De esta forma y por las funciones que tienen los DSC, estos ocupan el nivel intermedio entre los MCU (*Multipoint Control Unit, Unidad de Control Multipunto*) y los DSP.

### **3.2 FAMILIA dsPIC30F**

Más explícitamente el módulo de CPU de la familia dsPIC30F maneja datos de 16 bits además de un apoyo significativo para el módulo DSP. La CPU trabaja con palabras de instrucción de 24 bits, con un campo de código de operación de longitud variable. Cuenta con una memoria de 4 M x 24 bits de espacio para el programa de usuario. Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo único, con excepción de las instrucciones que cambian el flujo del programa. Además anexa un registro de interrupciones, cada una de ellas con su propia prioridad. Los dispositivos de la familia dsPIC30F tienen dieciséis registros de trabajo de 16 bits [W0-W15]. Cada uno de estos registros de trabajo se puede usar para guardar datos o una dirección. El registro de trabajo W15 funciona como un puntero de pila de software para las interrupciones y llamadas.

El conjunto de instrucciones dsPIC30F tiene dos clases de instrucciones: la clase de instrucciones MCU y la clase de instrucciones DSP. Estas dos clases de instrucciones están integradas en la arquitectura del dispositivo permitiendo que se ejecuten tareas desde una unidad de ejecución única. El conjunto de instrucciones incluye muchos modos de direccionamiento.



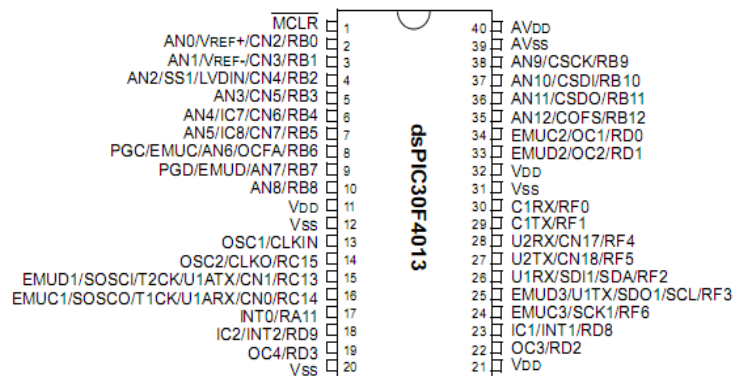
El módulo DSP es de alta velocidad, usa un multiplicador de 17 bit por 17 bit, además de una ALU (*Arithmetic Logic Unit; Unidad Aritmético Lógica*) de 40 bits, dos acumuladores de saturación de 40 bits y un registro bidireccional de 40 bits para cambios.

El dsPIC30F tiene 54 de fuentes de interrupción y a cada fuente de interrupción se le puede dividir entre siete niveles de prioridad.

### 3.3 MODELO dsPIC30F4013

Algunas de las características del microcontrolador, son: cuenta con una arquitectura *Harvard* modificada, 84 instrucciones básicas, ancho de instrucciones de 24 bits, y un ancho de datos de 16 bits. Puede almacenar 48 kbytes en su memoria de programa, tiene una RAM de 2 kbytes y una *EEPROM*<sup>1</sup> de 1 kbyte, una velocidad de operación de 30 MIPS<sup>2</sup>, 33 fuentes de interrupción, 16 registros de trabajo de 16 bits y 2 acumuladores de 40 bits.

**Figura 9. Diagrama de Pines del dsPIC30F4013**



Fuente: Hoja de datos dsPIC30F4013

<sup>1</sup> EEPROM: *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*, ROM programable y borrrable eléctricamente

<sup>2</sup> MIPS: *Millones de Instrucciones Por Segundo*

### 3.4 CONVERTIDOR ANÁLOGO A DIGITAL DE 12 BITS (CAD)

Algunos de los modelos de la familia dsPIC30F cuentan con un convertidor. El convertidor A/D de 12-bits permite la conversión de señales analógicas de entrada a números digitales de 12 bits. Provee una velocidad de muestreo hasta de 200.000 muestras por segundo (200-ksps). Tiene hasta 13 canales análogos multiplexados en un amplificador de muestreo y retención (*sample & hold*). La salida al amplificador es la entrada al convertidor, que genera la conversión.

El convertidor A/D de 12 bits del dsPIC30F, posee las siguientes características:

- Registro de conversión por aproximación sucesiva (SAR)
- Hasta una velocidad de conversión de 200 ksps<sup>1</sup>
- 16 entradas analógicas
- Pines de entrada para voltaje externo de referencia
- Amplificador muestreo y retención (sample/hold, (S/H)) con entrada diferencial
- Modo de auto-detección de canal
- Selección de fuente de disparo para la conversión
- Búfer de conversión de 16 palabras
- Selección del modo de llenado del búfer de conversión
- Cuatro opciones de alineación del resultado
- Operación de la CPU durante los modos IDLE y SLEEP

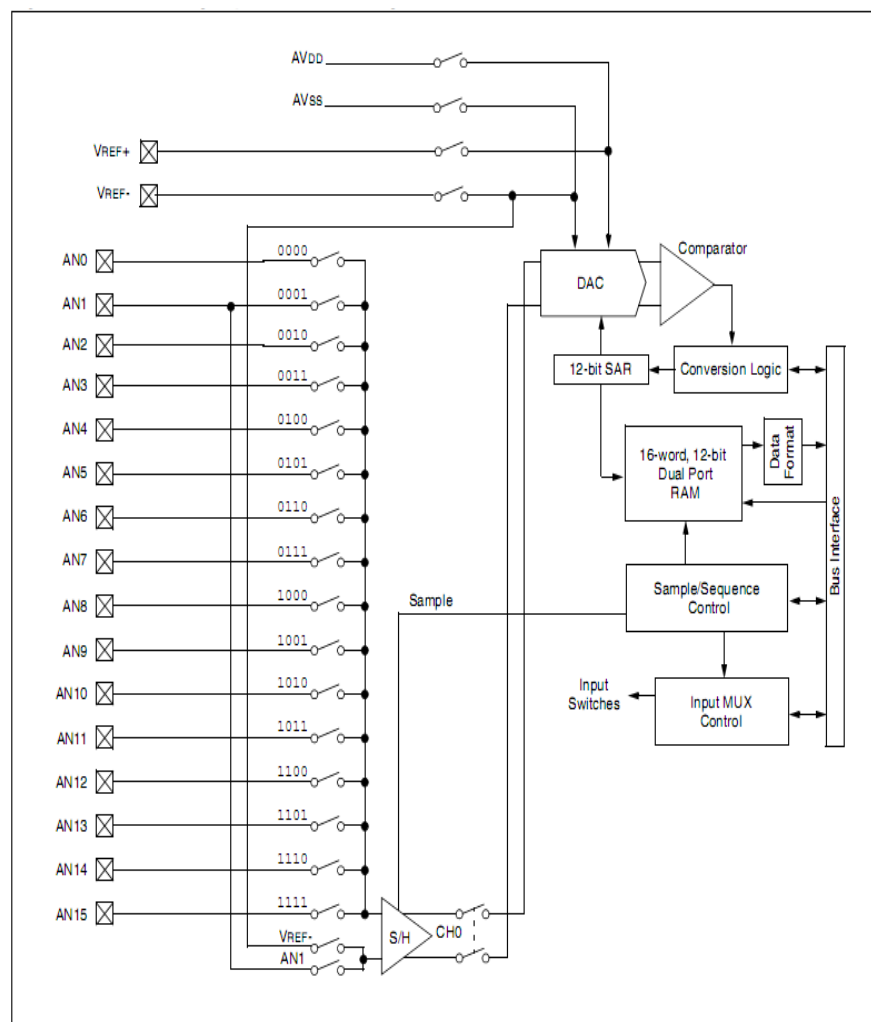
El convertidor A/D de 12 bits puede tener hasta 16 pines de entradas analógicas, designadas AN0-AN15. Además, hay dos pines de entradas analógicas para las conexiones de voltaje de referencia externo. Las entradas analógicas están conectadas a través de mezcladores analógicos y este con amplificador de S/H, designado CH0. Las entradas analógicas conectadas al multiplexor pueden activarse entre dos conjuntos de entradas analógicas durante las conversiones.

---

<sup>1</sup> ksps: *kilo muestras por segundo*

Una forma de escaneo de entradas analógicas puede estar habilitada en el amplificador de S/H. El registro de control especifica qué canales de entrada analógicas se incluirán en la secuencia de detección. El convertidor A/D está conectado a un búfer de 16 palabras en el cual se guarda el resultado de cada conversión. Cada resultado de 12 bits se puede guardar en uno de cuatro formatos de salida de 16 bits y es almacenado en el búfer de conversión.

**Figura 10. Convertidor A/D de 12 Bits**



Fuente: Hoja de datos dsPIC30F

### 3.4.1 Registros de Control del Módulo A/D

El módulo A/D tiene seis registros de control y estado. Estos registros son:

- **ADCON1**: Registro de control 1
- **ADCON2**: Registro de control 2
- **ADCON3**: Registro de control 3
- **ADCHS**: Registro selector de canal de entrada
- **ADPCFG**: Registro de configuración del puerto análogo
- **ADCSSL**: Registro de selección de escaneo de entradas

Los registros de control ADCON1, ADCON2 y ADCON3 configuran el funcionamiento del módulo A/D. El registro ADCHS selecciona la entrada que va estar conectada al amplificador S/H. El Registro ADPCFG configura los puertos de entrada para que trabajen como entradas análogas o como puertos digitales de E/S. El registro ADCSSL selecciona las entradas a examinarse secuencialmente.

### 3.4.2 Búfer de Almacenamiento

El resultado de la conversión A/D es almacenado en un búfer del módulo, el cual contiene 16 palabras y es del tipo RAM, llamado ADCBUF. Las ubicaciones en el búfer se conocen como ADCBUF0, ADCBUF1, ADCBUF2,..., ADCBUFE, ADCBUFF.

### 3.4.3 Configuración de los Registros de Control y Estado

**Tabla 2. ADCON1: Registro de Control 1**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9-8
ADON	----	ADSIL	----	----	----	FORM<1:0>

Bit 7-5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
SSRC<2:0>	----	----	ASAM	SAMP	DONE

Bit 15 - ADON: Bit para habilitar el módulo A/D

1 = módulo está funcionando

0 = módulo está desactivado

Bit 14 - No implementado: se lee como 0

Bit 13 - ADSIDL: Bit de parada en el modo IDLE

1 = módulo parado durante el modo IDLE

0 = módulo en operación durante el modo IDLE

Bit [12-10] - No implementados: se leen como 0

Bit [9-8] - FORM <1:0>: formato de los bits salida

11 = Fraccionario con signo      DOUT = sddd dddd dddd 0000

10 = Fraccionario                      DOUT = dddd dddd dddd 0000

01 = Entero con signo                DOUT = ssss sddd dddd dddd

00 = Entero                              DOUT = 0000 dddd dddd dddd

Bit [7-5] - SSRC<2:0>: bits de selección de fuente de conversión

111 = Finaliza el contador interno de muestreo y se inicia la conversión (auto convertir)

110 = Reservado

101 = Reservado

100 = Reservado

011 = Muestrea e inicia la conversión con los extremos del Control de Motor por PWM

010 = Muestrea e inicia la conversión con los extremos del Timer 3 de propósito general

001 = Muestra e inicia la conversión con una transición en la entrada INTO

000 = Al borrar el bit SAMP finaliza el muestreo e inicia la conversión

Bit [4-3] - No implementados: se leen como 0

Bit 2 - ASAM: Auto inicio de conversión

1 = comienza el muestreo inmediatamente después de última conversión completa. El bit SAMP es automático

0 = El muestreo comienza cuando se habilita el bit de SAMP

Bit 1 - SAMP: habilita el muestreo

1 = Es activado es muestro usando el S/H

0 = desactivado el muestreo

Bit 0 - DONE: Estado de la conversión

1 = El módulo A/D esta convirtiendo

0 = El módulo A/D finalizo la conversión

**Tabla 3. ADCON2: Registro de Control 2**

Bit 15-13		Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
VCFG<2:0>		----	----	CSCNA	----	----
Bit 7	Bit 6	Bit 5-2			Bit 1	Bit 0
BUFS	----	SMPI<3:0>			BUFM	ALTS

Bit [15-13] - VCFG<2:0>: bits de configuración para la referencia de voltaje

**Tabla 4. Pines de Referencia A/D**

	A/D VRef-H	A/D VRef-L
000	AVDD	AVSS
001	Pin externo VREF+	AVSS
010	AVDD	Pin externo VREF-
011	Pin externo VREF+	Pin externo VREF-
1xx	AVDD	AVSS

Bit 12 – Bit reservado el usuario debe escribir 0

Bit 11 - No implementado: se lee como 0

Bit 10 - CSCNA: configuración del escaneo de entradas en el S/H CH0 a través del MUX A

1 = Escanea las entradas

0 = No escanea las entradas

Bit [9-8] - No implementados: se leen como 0

Bit 7 - BUFS: bit para la configuración llenado del búfer A/D. Sólo es válido cuando BUFM=1

1 = El búfer se llena en las direcciones 0x8-0xF, usuario puede acceder a las direcciones 0x0-0x7

0 = El búfer se llena en las direcciones 0x0-0x7, usuario puede acceder a las direcciones 0x8-0xF

Bit 6 - No implementado: se lee como 0

Bit [5-2] - SMPI<3:0>: bits de configuración de la cantidad de muestras que generen una interrupción

1111 = Genera una interrupción después de 16 muestreo/conversión

1110 = Genera una interrupción después de 15 muestreo/conversión

.....

0001 = Genera una interrupción después de 2 muestreo/conversión

0000 = Genera una interrupción después de 1 muestreo/conversión

Bit 1 - BUFM: configuración del búfer A/D

1 = Configuración del búfer en dos bloques de 8 palabras ADCBUF (15...8), ADCBUF (7...0)

0 = Configuración del búfer en un bloque de 16 palabras ADCBUF (15...0)

Bit 0 - ALTS: selección del MUX de entrada

1 = Se usa el MUX A par la primera muestra y luego el MUX B, estos se alternan entres muestreos

0 = Siempre se usa el MUX A

**Tabla 5. ADCON3: Registro de Control 3**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12-8
----	----	----	SAMC<4:0>
Bit 7	Bit 6	Bit 5-0	
ADRC	----	ADCS<5:0>	

Bit [15-13] - No implementados: se leen como 0

Bit [12-8] – SAMC<4:0>: tiempo de muestra automático

11111 = 31 TAD

...

00001 = 1 TAD

00000 = 0 TAD

Bit 7 - ADRC: fuente de reloj de conversión

1 = Reloj RC interno

0 = Reloj derivado del reloj del sistema

Bit 6 - No implementado: se lee como 0

Bit [5-0]- ADCS<5:0>: selección del reloj de conversión

111111 =  $TCY/2 * (ADCS<5:0>+1) = 32 * TCY$

.....

000001 =  $TCY/2 * (ADCS<5:0>+1) = TCY$

000000 =  $TCY/2 * (ADCS<5:0>+1) = TCY/2$

**Tabla 6. ADCHS: Registro Selector de Canal de Entrada**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11-8
----	----	----	CH0NB	CH0SB<3:0>
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3-0
----	----	----	CH0NA	CH0SA<3:0>

Bit [15-13] - No implementados: se leen como 0



Bit 12 - CH0NB: El canal 0 es la entrada negativa para el MUX B

1 = El canal 0 es la entrada negativa con AN1

0 = El canal 0 es la entrada negativa con VREF-

Bit [11-8] - CH0SB<3:0>: El canal 0 es la entrada positiva para el MUX B

Bit [7-5] - No implementados: se leen como 0

Bit 4 - CH0NA: El canal 0 es la entrada negativa para el MUX A

1 = El canal 0 es la entrada negativa con AN1

0 = El canal 0 es la entrada negativa con VREF-

Bit [3-0] - CH0SA<3-0>: El canal 0 es la entrada positiva para el MUX A

1111 = El canal 0 es la entrada positiva con AN15

1110 = El canal 0 es la entrada positiva con AN14

1101 = El canal 0 es la entrada positiva con AN13

.....

0001 = El canal 0 es la entrada positiva con AN1

0000 = El canal 0 es la entrada positiva con AN0

**Tabla 7. ADPCFG: Registro de Configuración del Puerto Análogo**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
PCFG15	PCFG14	PCFG13	PCFG12	PCFG11	PCFG10	PCFG9	PCFG8

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
PCFG7	PCFG6	PCFG5	PCFG4	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0

Bit [15-0] – PCFG<15:0>: configuración de la entrada

1 = Pin en operación digital E/S

0 = Pin en operación análoga

**Tabla 8. ADCSSL: Registro de Selección de Escaneo de Entradas**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
CSSL15	CSSL14	CSSL13	CSSL12	CSSL11	CSSL10	CSSL9	CSSL8

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
CSSL7	CSSL6	CSSL5	CSSL4	CSSL3	CSSL2	CSSL1	CSSL0

Bit [15-0] - CSSL<15:0>: entrada a ser escaneada

1 = Selección de ANx para la detección de entrada

0 = No selección de ANx para la detección de entrada

### 3.4.4 Terminología A/D y Proceso de Conversión

En la Figura 11 se muestra el proceso de conversión básica. El muestreo de la tensión comienza al conectar alguna de las entradas análogas ANx con el amplificador de S/H. El amplificador de S/H está conectado con los pines de entrada analógica a través de un multiplexor análogo. Esta entrada ANx es configurada en el multiplexor por medio del registro ADCHS. Hay dos multiplexores el MUX A y el MUX B estos dos se controlan por medio del registro de control ADCHS y ambos funcionan de forma idéntica. El convertidor A/D opcionalmente puede cambiar entre el uso del MUX A y el MUX B dependiendo de su respectiva configuración entre las conversiones. El convertidor A/D también contiene la opción de poder escanear una serie de entradas analógicas.

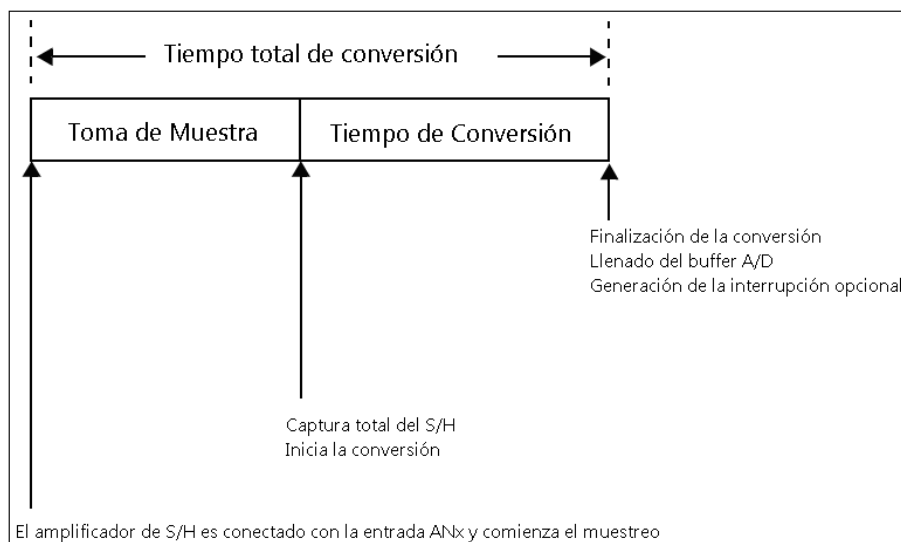
#### ➤ **Tiempo de Muestreo**

Comienza cuando el amplificador de S/H del módulo A/D es conectado con una entrada analógica. El tiempo de muestreo se puede iniciar manualmente configurando el bit SAMP (ADCON1) o de forma automática. El tiempo de muestreo se puede finalizar manualmente desactivando el bit de control SAMP por software o automáticamente por el módulo.

### ➤ **Tiempo de Conversión**

Es el tiempo necesario para que el convertidor A/D logre leer el voltaje aplicado al amplificador de S/H. El convertidor A/D se desconecta de la entrada analógica al final del proceso. El convertidor A/D requiere un ciclo de reloj A/D (TAD) para convertir cada bit del resultado más un ciclo de reloj adicional. En total son necesarios 14 ciclos de TAD para realizar la conversión completa.

**Figura 11. Proceso de Conversión**



Fuente: Hoja de datos dsPIC30F

Una vez finalizado el tiempo de conversión, el resultado es cargado en uno de los 16 registros A/D (ADCBUF0... ADCBUFF), y luego de esto opcionalmente se puede generar una interrupción. La suma del tiempo de muestreo y el tiempo de conversión proporcionan el tiempo total de conversión. Existe un tiempo de muestreo mínimo para garantizar que el amplificador de S/H capture con precisión la muestra, el cual debe tenerse en cuenta a la hora de configurar el módulo A/D. Además, existen varias opciones de reloj de entrada para el convertidor A/D. El usuario debe seleccionar una opción de reloj de entrada que no quebrante la especificación de TAD mínima. El inicio del tiempo de muestreo puede ser

controlado por software configurando el bit de control SAMP. Cuando el convertidor A/D funciona en el modo de muestreo automático, el amplificador de S/H es conectado a la entrada analógica para así entrar a la etapa de muestreo/conversión. La función de muestreo automático es controlada por el bit ASAM.

La fuente de reloj o *trigger* de conversión termina el tiempo de muestreo y comienza la conversión Análogo/Digital. Esta fuente de reloj de conversión es seleccionada por los bits de control SSRC.

Existen diversas formas de configuración del módulo de conversión A/D que son explicadas con mayor detalle en la hoja de datos del microcontrolador.<sup>1</sup>

Al final de cada secuencia de muestreo/conversión o de múltiples secuencias de muestreo/conversión, se puede generar una interrupción la cual es determinada por el valor de los bits de control SMPI. El número de secuencias de muestreo/conversión entre las interrupciones puede variar entre 1 y 16.

### **3.4.5 Configuración del Módulo A/D**

Se deben seguir los siguientes pasos para realizar una conversión A/D:

#### **1. Configurar el módulo de A/D**

- Seleccione la fuente de voltaje de referencia para coincidir con el rango esperado sobre entradas analógicas.
- Seleccione el reloj de conversión analógica para coincidir con la velocidad de datos deseada
- Determine cómo se producirán la toma de muestras
- Determine cómo se asignarán las entradas al amplificador de S/H

---

<sup>1</sup> <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010345>

- Seleccione cómo serán guardados los resultados de conversión en el búfer
- Seleccione el número de muestras por interrupción (opcional)
- Activar A/D módulo

## 2. Configurar la interrupción A/D (si es necesario)

- Clarear el bit ADIF
- Seleccionar la prioridad de la interrupción del módulo A/D

Las opciones para cada paso de configuración se describen a continuación.

**Selección de la fuente de voltaje de referencia:** hace referencia a la tensión para las conversiones del módulo A/D; se seleccionan mediante los bits de control VCFG (ADCON2 [15:13]). La referencia de tensión superior (VREFH) y la referencia de voltaje inferior (VREFL) pueden ser los pines de voltaje AVDD y AVSS o los pines externos VREF+ y VREF-.

Los pines de referencia de voltaje externo pueden ser compartidos con las entradas AN0 y AN1. El convertidor A/D todavía puede realizar conversiones en estos pines cuando se comparten con las entradas de VREF+ y VREF-.

Las tensiones aplicadas a los pines de referencia externos deben cumplir determinadas especificaciones, que son específicas para cada dispositivo.

**Seleccionar el reloj de conversión A/D:** el convertidor A/D tiene una tasa máxima en la que se pueden completar las conversiones. Un reloj de conversión TAD, controla el tiempo de conversión. La conversión A/D requiere 14 períodos de reloj (14 TAD). El reloj A/D se deriva del reloj de funcionamiento de la CPU.

El período del reloj de conversión A/D es seleccionado por software utilizando un contador de seis bits. Hay 64 opciones posibles para TAD, especificados por los bits ADCS (ADCON3 [5:0]). La ecuación 13 da el valor de TAD en función de los bits de control ADCS y reloj de funcionamiento de la CPU, TCY.

$$T_{AD} = \frac{T_{CY}(ADCS + 1)}{2}$$

$$ADCS = \frac{2T_{AD}}{T_{CY}} - 1$$

(Ecuación 13)

Para la correcta conversión del módulo A/D, se debe seleccionar el reloj de conversión A/D (TAD) para garantizar un tiempo de TAD mínimo de 333.33 nanosegundos. El convertidor A/D tiene una fuente de reloj dedicado (RC) interno que puede utilizarse para realizar conversiones. La fuente de reloj RC interno debe utilizarse cuando se realizan las conversiones A/D mientras el dsPIC30F está en modo *Sleep*. Para seleccionar el oscilador RC interno, se debe configurar el bit de ADRC (ADCON3 [7]). Cuando se establece el bit ADRC, la configuración de los bits ADCS [5:0] no tienen ningún efecto sobre la operación del módulo A/D.

**Selección de las entradas analógicas de muestreo:** el amplificador de S/H recibe las entradas analógicas a través de un par de mezcladores (MUX A y MUX B) estos deben ser configurados para seleccionar el orden en que cada entrada analógica va ser muestreada. Una vez que se especifica la secuencia de muestreo/conversión, los bits ADCHS determinan qué entradas analógicas son seleccionadas para cada muestra.

**Configurar las entradas análogas en el puerto:** el registro ADPCFG especifica la condición de entrada de los pines del dispositivo que están asociados a un puerto para así configurar si serán utilizadas como entradas analógicas.

Un pin está configurado como entrada analógica cuando el bit PCFGn (ADPCFG [n]) correspondiente es clareada. El registro ADPCFG está clareado al comienzo de operación, causando que los pines de entrada de A/D se configuren como entradas analógicas de forma predeterminada a la hora de restablecer el sistema.

Si se desea usar estos pines para que trabajen de forma digital se debe establecer su respectivo bit en el registro ADPCFG [n]. El registro ADPCFG y el TRISB registran el control del funcionamiento de los pines del puerto que usa el módulo A/D.

Los pines del puerto que se desean usar como entradas analógicas deben tener su correspondiente conjunto de bits TRIS, para que se especifiquen como puertos de entrada.

**Selección de entrada de canal 0:** se puede seleccionar cualquiera de las 16 entradas analógicas para conectarse a la entrada positiva de los canales. Los bits CH0SA [3:0] (ADCCHS [3:0]) normalmente seleccionan la entrada analógica para la entrada positiva de canal 0. El usuario puede seleccionar VREF- o AN1 como la entrada negativa del canal.

**Escaneo de varias entradas:** el canal 0 tiene la capacidad para examinar a través de un registro con el cual va seleccionando las entradas. El bit CSCNA (ADCON2 [10]) permite el escaneo a través del canal de CH0 de las entradas análogas. Cuando se selecciona CSCNA, los bits CH0SA [3:0] se ignoran. El registro ADCSSL especifica qué entradas serán escaneadas. Cada bit en el registro ADCSSL corresponde a una entrada analógica. El bit 0 corresponde a la entrada AN0, bit 1 corresponde a la entrada AN1 y así sucesivamente. Si un determinado grupo de bits en el registro ADCSSL está en alto ('1'), la entrada correspondiente es parte de la secuencia de detección. Las entradas se escanean siempre desde la entrada inferior a la entrada más alta, empezando en el primer canal seleccionado después de cada interrupción.

**Habilitar el módulo A/D:** cuando el bit ADON (ADCON1 [15]) se pone en alto, el módulo entra al modo activo y es totalmente alimentado y funcional. Cuando se pone en bajo ('0') el bit ADON, el módulo queda deshabilitado. Las partes digitales

y analógicas del circuito están desactivadas para el máximo ahorro de energía. Para regresar al modo de activo, el usuario debe esperar el establecimiento de las etapas analógicas.

### ***Iniciar el muestreo***

*Manual:* Configurar el bit SAMP (ADCON1 [1]). Esto hace que el módulo A/D comience la toma de muestras. Una de varias opciones puede utilizarse para poner fin a toma de muestras y completar las conversiones. El muestreo no se reanuda hasta que el bit SAMP se establece una vez más.

*Automático:* Configurar el bit ASAM (ADCON1 [2]). Esto hace que el módulo A/D comience automáticamente el muestreo de un canal, siempre que una conversión no esté activa en ese canal. Una de varias opciones puede utilizarse para poner fin a toma de muestras y completar las conversiones. El muestreo de un canal se reanuda una vez completada la conversión de ese canal.

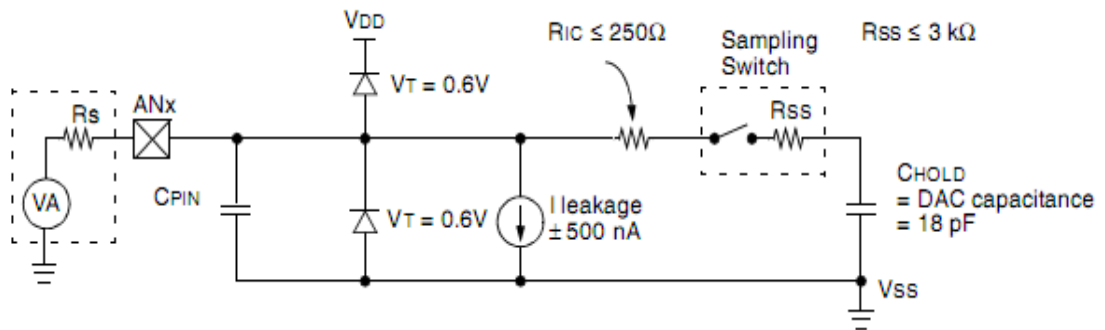
***Detener el muestreo e iniciar la conversión:*** la fuente de disparo de conversión va a terminar el muestreo e iniciar una secuencia seleccionada de las conversiones. Para esto es necesario configurar un grupo de bits y este proceso es manual. Y se logra cuando se establece los valores de los bits SSRC [2:0], si se ponen en bajo (000), el disparo de conversión está bajo el control por software. Al borrar el bit SAMP (ADCON1 [1]) se inicia la secuencia de conversión.

### **3.4.6 Requisitos de Muestreo para el Funcionamiento del Módulo A/D**

El modelo de entrada del convertidor A/D 12 bits se muestra en la Figura 12. El tiempo de muestreo total para el convertidor A/D es una función del amplificador interno de asentamiento, es necesario un tiempo mínimo para que el condensador se cargue completamente.



**Figura 12. Modelo de Entrada del Convertidor A/D 12 de bits**



Fuente: Hoja de datos dsPIC30F

Para que el convertidor A/D logre una exactitud específica, se debe permitir que el condensador (CHOLD) se cargue completamente logrando así igualar el nivel de tensión sobre el pin de entrada analógica. La impedancia de la fuente ( $R_S$ ), la impedancia de interconexión ( $R_{IC}$ ) y la impedancia de interruptor ( $R_{SS}$ ) de muestreo interna se combinan e inciden directamente en el tiempo necesario para lograr cargar el condensador CHOLD. La impedancia de la fuente análoga, debe ser lo suficientemente pequeña para lograr llenar plenamente el condensador CHOLD dentro del tiempo de toma de muestra.

### 3.5 MÓDULO UART

El módulo UART (Transmisor Universal de Receptor Asíncrono) es uno de los módulos de E/S serie disponibles en la familia de dispositivos de dsPIC30f. El módulo UART es un sistema de comunicación *full-duplex* asíncrona con el cual se puede lograr comunicar el microcontrolador con dispositivos periféricos, como computadoras personales, interfaces RS-232 y RS-485.

Las principales características del módulo UART son:

- Transmisión de datos full-duplex de 8 o 9 bits a través de los pines UxTX y UxRX
- Bits de paridad
- Uno o dos bits de parada
- Acepta tasas de Baudios que van desde 29 bps a 1.875 Mbps

**Tabla 9. UxMODE: Registro de Modo**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
UARTEN	---	USIDL	---	reservado	ALTIO	reservado	reservado

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit [2 0]	Bit 0
WAKE	LPBACK	ABAUD	---	---	PDSEL<1:0>	STSEL

Bit 15 UARTEN: Bit para habilitar el módulo UART

1 = El módulo UART está habilitado

0 = UART está deshabilitado.

Bit 14 No implementado: se lee como 0

Bit 13 USIDL: Bit de parada en el modo inactivo

1 = No continua en operación cuando dispositivo entra en modo inactivo

0 = Continuar operación en el modo inactivo

Bit 12 No implementado: se lee como 0

Bit 11 Reservado: escribir '0' en esta ubicación

Bit 10 ALTIO: Bit para alternar entre las posibles E/S UART

1 = UART se comunica con pines UxATX y UxARX

0 = UART se comunica con pines UxTX y UxRX

Bits 9-8 Reservados: escribir 0 en estas ubicaciones

Bit 7 WAKE: Bit para habilitar la función wake-up durante el modo Sleep

1 = Wake-up habilitada

0 = Wake-up deshabilitada

Bit 6 LPBACK: habilitar el modo de Loopback

1 = Habilitar el modo Loopback

0 = Modo Loopback desactivado

Bit 5 ABAUD: Bit de auto baudios

1 = Captura de los baudios a través de UxRX

0 = Captura de los baudios a través de ICx

Bits 4-3 No implementados: se leen como 0

Bit 2-1 PDSEL[1:0]: Bits de paridad y selección de datos

11 = 9 Bits de datos, sin paridad

10 = 8 Bits de datos, paridad impar

01 = 8 Bits de datos, con paridad

00 = 8 Bits de datos, sin paridad

Bit 0 STSEL: Bits de parada

1 = 2 bits de parada

0 = 1 bit de parada

**Tabla 10. UxSTA: Registro de Control del Módulo UARTX**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
UTXISEL	---	---	---	UTXBRK	UTXEN	UTXBF	TRMT

Bit 7 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
URXISEL<1:0>	ADDEN	RIDLE	PERR	FERR	OERR	URXDA

Bit 15 UTXISEL: Bit de selección de modo interrupción de transmisión

1 = Interrupción cuando un carácter se transfiere al registro de transmisión y como resultado, el búfer de transmisión se convierte en vacío

0 = Interrupción cuando un carácter se transfiere al registro de transmisión y como resultado hay al menos un carácter en el búfer de transmisión

Bits 14-12 No implementados: se leen como 0

Bit 11 UTXBRK: Bit para interrumpir la transmisión

1 = El pin UxTX es bajo, independientemente del Estado de transmisor

0 = El pin UxTX opera normalmente

Bit 10 UTXEN: Bit para habilitar la transmisión

1 = La transmisión del módulo UART está habilitado

0 = La transmisión del módulo UART esta deshabilitado

Bit 9 UTXBF: Bit del estado de llenado completo del búfer de transmisión (solo lectura)

1 = El búfer de transmisión está lleno

0 = El búfer de transmisión no está lleno

Bit 8 TRMT: Bit para visualizar si el registro de transmisión está vacío (sólo lectura)

1 = El registro de transmisión está vacío (ha completado la última transmisión)

0 = El registro de transmisión no está vacío, hay una transmisión en curso o en la cola del búfer de transmisión

Bits 7-6 URXISEL [1:0]: Bits de selección del modo de interrupción por recepción

11 = El bit de bandera se establece cuando el búfer de recepción está lleno de interrupciones (es decir, tiene 4 caracteres de datos)

10 = El bit de bandera se establece cuando el búfer de recepción está  $\frac{3}{4}$  lleno de interrupciones (es decir, tiene 3 caracteres de datos)

0x = El bit de bandera se establece cuando se recibe un carácter

Bit 5 ADDEN: Detección de caracteres de direcciones

1 = Habilitado el modo de detectar direcciones

0 = Deshabilitado el modo de detectar direcciones

Bit 4 RIDLE: Bit de recibir inactivo (sólo lectura)

1 = Receptor es apagada

0 = Se recibe información

Bit 3 PERR: Bit de estado del error de paridad (sólo lectura)

1 = Se ha detectado un error de paridad

0 = No se ha detectado un error de paridad

Bit 2 FERR: Bit de estado del error de enmarcado (sólo lectura)

1 = Se ha detectado un error al enmarcar el carácter actual

0 = No se ha detectado error encuadre

Bit 1 OERR: Bit de error en la recepción por desbordamiento del búfer (sólo lectura o borrar)

1 = El búfer de recepción se ha desbordado

0 = El búfer de recepción no se ha desbordado

Bit 0 URXDA: Bit para el monitoreo de datos disponibles en el búfer de recepción (sólo lectura)

1 = El búfer de recepción dispone de datos, se puede leer al menos un carácter más

0 = El búfer de recepción está vacío

**Tabla 11. UxRXREG: UARTX Registro de Recepción**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
---	---	---	---	---	---	---	URX8

Bit 7 0
URX<7:0>

Bits 15-9 No implementado: se leen como 0

Bit 8 URX8: octavo bit recibido (en el modo de 9 Bits)

Bits 7-0 URX[7:0]: los bits 7-0 recibidos

**Tabla 12. UxTXREG: UARTX Registro de transmisión (Solo Lectura)**

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
---	---	---	---	---	---	---	UTX8

Bit 7 0
UTX<7:0>

Bits 15-9 No implementado: se leen como 0

Bit 8 UTX8: bit octavo a ser transmitido (en modo de 9-Bit)

Bit 7-0 UTX[7:0]: los bits 7-0 a ser transmitidos

**Tabla 13. UXBRG: Configuración de la Rata de Baudios**

Bit 15 8
BRG<15:8>
Bit 7 0
BRG<7:0>

Bit 15-0 BRG[15:0]: Bits para la configuración de la rata de baudios

### 3.5.1 Generador de Velocidad de Baudios UART (BRG)

El módulo UART incluye un generador de tasa de baudios dedicado de 16 Bits. El registro de UxBRG controla el período de un temporizador de 16 Bits de ejecución libre. La ecuación 14 muestra la fórmula para el cálculo de la tasa de baudios. Donde  $F_{cy}$  es la frecuencia de operación interna del microcontrolador.

Baudios del sistema:

$$Baud\_Rate = \frac{F_{cy}}{16 \cdot (UxBRG + 1)} \quad \text{(Ecuación 14)}$$

$$UxBRG = \frac{F_{cy}}{16 \cdot Baud\_Rate} - 1$$

El módulo UART utiliza el formato estándar de transmisión no retorno a cero (NRZ) en el cual hay un bit de inicio, ocho o nueve bits de datos y uno o dos bits de parada). La paridad es compatible con el hardware y puede ser configurada por el usuario, ya sea impar o sin paridad. El formato de datos más común es 8 Bits, sin paridad y un bit de para (8, N, 1), que es la configuración predeterminada en la mayoría de dispositivos. El número de bits de información así como los bits de parada y de paridad, se especifican en los bits PDSEL [1:0] (UxMODE [2:1]) y STSEL (UxMODE [0]). Un generador de tasa de baudios de 16 bits dedicado, puede utilizarse para derivar frecuencias de tasa de baudios estándar. El módulo

UART transmite y recibe los bits LSB en primer lugar. El módulo UART en sus partes del transmisor y el receptor son funcionalmente independientes, pero utilizan la misma tasa, formato y velocidades de transferencia de datos.

### **3.5.2 Habilitación del Módulo UART**

El módulo UART está habilitado al establecer el bit URTEN (UxMODE [15]) y el bit UTXEN (UxSTA [10]). Una vez habilitado, los pines UxTX y UxRX se configuran como una salida y entrada, respectivamente, reemplazando la configuración de los bits de los registros TRIS y PORT para los correspondientes pines E/S del puerto. El pin de UxTX está en valor lógico 1 cuando ninguna transmisión está teniendo lugar.

### **3.5.3 Deshabilitar el Módulo UART**

El módulo UART está deshabilitado desactivando el bit URTEN (UxMODE [15]). Éste es el estado predeterminado después de cualquier reset del sistema. Si el módulo UART está deshabilitado, todos los pines UART operan como pines del puerto y están bajo el control de sus bits PORT y TRIS correspondientes. Al deshabilitar el módulo UART se restablece los búferes y se vacían. Los datos de los caracteres guardados en los búferes se pierden, y se restablece el contador de tasa de baudios.

Todas las banderas de error y de estado asociadas con el módulo de UART se restablecen cuando el módulo está deshabilitado. Se borran los bits URXDA, OERR, FERR, PERR, UTXEN, UTXBRK y UTXBF, mientras que RIDLE y TRMT se establecen. Otros bits de control, incluyendo ADDEN, URXISEL [1:0], UTXISEL, así como los registros UxMODE y UxBRG, no se ven afectados.

Al borrar del bit UARTEN mientras que el módulo UART está activo logra anular todas las transmisiones pendientes y recepciones y restablece.

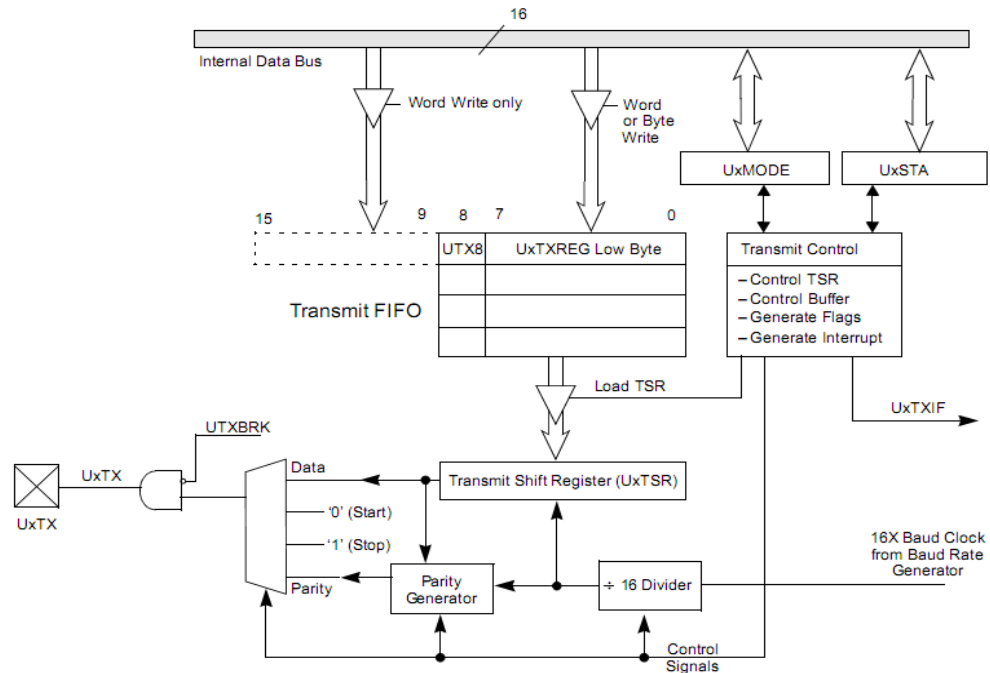
Al reiniciar el módulo UART este se reinicia con la misma configuración establecida por el usuario.

### **3.5.4 Transmisor del Módulo UART**

El diagrama de bloques del transmisor del módulo UART se muestra en la Figura 13. El principal registro del transmisor es el registro UxTSR. El registro UxTSR obtiene sus datos desde el búfer de entrada FIFO el cual guarda hasta cuatro caracteres a transmitir. El registro UxTXREG es el encargado de llevar los datos introducidos por software al búfer de entrada FIFO. El registro UxTSR no se carga hasta que el bit de parada de la carga anterior se halla transmitido. Tan pronto como se transmite el bit de parada, el registro UxTSR se carga con nuevos datos del registro UxTXREG (si estos están disponibles).



**Figura 13. Diagrama de Bloques del Módulo UART**



Fuente: Hoja de datos dsPIC30F

La transmisión está habilitada al establecer el bit de habilitar UTXEN (UxSTA [10]). La transmisión real no ocurrirá hasta que el registro de UxTXREG se halla cargado con datos y el generador de velocidad de baudios (UxBRG) haya producido un reloj de cambio. También se puede iniciar la transmisión mediante la primera carga del registro UxTXREG y, a continuación, establecer el bit UTXEN. Normalmente cuando la transmisión se inicia en primer lugar, el registro de UxTSR está vacío, por lo que una transferencia para el registro de UxTXREG tendrá como resultado una transferencia inmediata al registro UxTSR. Al borrar el bit UTXEN durante una transmisión hará que la transmisión sea anulada y se restablecerá el transmisor.

Una vez el contenido del registro UxTXREG es transferido al registro UxTSR, la ubicación de búfer actual está disponible para nuevos datos que se vayan a escribir y es la siguiente ubicación del búfer de datos del registro de UxTSR. Si un

usuario intenta escribir en el búfer que está lleno, los nuevos datos no serán aceptados en la cola FIFO.

### **3.5.5 Configuración para Transmisión del Módulo UART**

- Pasos a seguir al configurar una transmisión:
  1. Inicializar el registro de UxBRG para la tasa de baudios apropiada
  2. El número de bits de datos, número de bits de parada y la paridad deben ser establecidos por escrito en los bits PDSEL [1:0] (UxMODE [2:1]) y STSEL (UxMODE [0]).
  3. Si se desea transmitir por medio de interrupciones, establezca el bit de control de UxTXIE en la interrupción correspondiente. Especifique la prioridad de la interrupción mediante los bits UxTXIP [2:0].
  4. Habilitar el módulo UART
  5. Habilitar la transmisión
  6. Cargar los datos en el registro UxTXREG (se inicia transmisión).
  
- Pasos a seguir al configurar una recepción:
  1. Inicializar el registro UxBRG para la tasa de baudios apropiado
  2. El número de bits de datos, el número de bits de parada y la paridad deben ser establecidos por escrito
  3. Establecer las interrupciones si se desea
  4. Habilitar el módulo UART
  5. Leer datos desde el búfer de recepción.

## 4 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SERIAL

### 4.1 GENERALIDADES DE LA COMUNICACIÓN SERIAL.

El estándar del puerto serial fue estandarizado por la Institución de Normalización Americana (EIA), esta ha escrito la norma RS-232C que regula las diferentes variables del protocolo de comunicación tales como la transmisión de datos, el cableado, las señales eléctricas y los terminales que deben usarse en una conexión RS-232.

La comunicación efectuada con el puerto serial es una comunicación asíncrona. Para la sincronización de una comunicación se necesita de un bit adicional a través del cual el emisor y el receptor intercambian la señal del pulso. Pero en la transmisión serial a través de un cable de dos líneas esto no se puede lograr, ya que ambas están ocupadas ya sea por los datos o por la tierra. Por este motivo se intercambian antes y después de los datos de estado, según el protocolo RS-232. Estos datos son determinados por el emisor y el receptor al programar y configurar los puertos seriales.

### 4.2 CONFIGURACIÓN DE LA TRAMA:

- **Bit de inicio:** cuando el receptor detecta el bit de inicio se sincroniza ya que la transmisión ha comenzado y desde ese punto debe leer los datos de la transmisión y para lograr esto es necesario leer las señales de la línea a

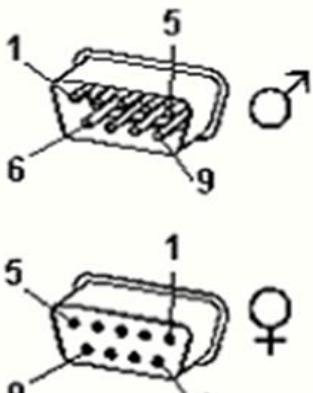
distancias determinadas de tiempo, en función de la velocidad en baudios determinada.

- **Bit de parada:** indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1 o 2 bits de parada.
- **Bit de paridad:** el objetivo de este bit es lograr descubrir errores en la transmisión. Se puede dar paridad par o impar.

### 4.3 PROTOCOLO RS-232.

Consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, pero normalmente se encuentra la versión de 9 pines DB-9, el cual es más económico e incluso más extendido para cierto tipo de aplicaciones. Las señales con las que trabaja el puerto serial son digitales, de +12V para el '0' lógico y de -12V para el '1' lógico, para la entrada y salida de datos, y de forma contraria en las señales de control. El estado de los pines en reposo en la entrada y salida de datos es 12V. Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros de longitud. Cada *pin* tiene una función específica. Los más importantes se pueden ver en la Tabla 14.

**Tabla 14. Pines del Conector DB 9 de Uso Serial**

<b>Pin</b>	<b>Nombre</b>	<b>E/S</b>	<b>Función</b>	<b>Conector DB-9</b>
1	---	---	Tierra de chasis	
2	RXD	E	Recepción de datos	
3	TXD	S	Transmisión de datos	
4	DTR	S	Terminal de datos listo	
5	SG	---	Tierra de señal	
6	DSR	E	Equipo de datos listo	
7	RTS	S	Solicitud de envío	
8	CTS	E	Libre para envío	

9	RI	S	Timbre telefónico	
---	----	---	-------------------	--

Las señales de salida son TXD, DTR y RTS, mientras que las de entrada son RXD, DSR, CTS. La tierra de referencia para todas las señales es SG.

#### 4.3.1 Uso de las Señales RS232.

**Tierra de Chasis:** (Pin 1) se conecta internamente al chasis del dispositivo para logra la masa del sistema.

**Recibe Datos (RXD):** (Pin 2) por este pin entran los datos del dispositivo externo con el cual se quiere establecer una comunicación.

**Transmite Datos (TXD):** (Pin 3) por este pin salen los datos que se desean compartir con dispositivo externo.

**Terminal de Datos Listo (DTR):** (Pin 4) este pin realiza el control maestro del dispositivo externo. Cuando este pin esta en 1, el dispositivo externo no transmite ni recibe datos.

**Tierra de señal (SG):** (Pin 5) este pin es la referencia de para voltajes de la comunicación.

**Conjunto de Datos Listo (DSR):** (Pin 6) en la mayoría de los dispositivos externos el valor de este pin es 0.

**Solicita Permiso para Enviar Datos (RTS):** (Pin 7) el objeto de este pin es logra una comunicación dependiendo del estado del hardware y su funcionamiento consta en poner un 0 en el pin Pista Libre para Enviar Datos (CTS) cuando está disponible para recibir datos.

**Pista Libre para Enviar Datos (CTS):** (Pin 8) el dispositivo externo pone este pin en 0 cuando está listo para recibir datos.

**Timbre Telefónico (RI):** (Pin 9) este pin en la comunicación con un PLC.

### 4.3.2 Diagrama de Conexión.

Para hacer posible la comunicación entre dos equipos se deben interconectar las terminales de los dos puertos a comunicarse. Una posible configuración está planteada en la Tabla 15:

**Tabla 15. Configuración en la Conexión del Puerto serial**

<i>Estación 1</i>	<i>Sentido de la conexión</i>	<i>Estación 2</i>
RxD	←	TxD
TxD	→	RxD
DTR	→	DSR
DSR	←	DTR
RTS	→	CTS
CTS	←	RTS
TIERRA	↔	TIERRA

Aunque en la mayoría de las aplicaciones actuales solo es necesario usar la siguiente conexión ya que con esta es posible lograr una comunicación, lo que ayuda en costos de cableado y hardware

**Tabla 16. Conexión mínima del puerto serial**

<i>Estación 1</i>	<i>Sentido de la conexión</i>	<i>Estación 2</i>
RxD	←	TxD
TxD	→	RxD
TIERRA	↔	TIERRA

### 4.3.3 Velocidad y Control del Puerto Serial

El control del puerto serial se logra mediante un circuito UART. El cual está capacitado para establecer una comunicación a diferentes velocidades de conexión que van de los 75 baudios (bits por segundo) a mas de 128000 baudios.

La conexión puede lograrse estableciendo una comunicación asíncrona o síncrona y con diferentes tipos de canal, los cuales son *simplex*, *half duplex* o *full duplex*. En un canal *simplex* los datos siempre viajarán en una dirección, por ejemplo desde DCE a DTE.

En un canal *half duplex*, los datos pueden viajar ambos sentidos de dirección, pero sólo durante un determinado periodo de tiempo; luego la línea debe ser conmutada antes que los datos puedan viajar en la otra dirección. En un canal *full duplex*, los datos pueden viajar en ambos sentidos simultáneamente.

El protocolo RS-232 puede transmitir los datos en grupos de 5 a 8 bits, a unas velocidades determinadas (comúnmente, 9600 bits por segundo). Luego de una transmisión de los datos, existe opcionalmente un bit de paridad el cual indica si el número de bits transmitidos es par o impar, y finalmente 1 o 2 bits de parada.

Una vez establecida e iniciada la transmisión de un dato, los bits tienen que llegar uno detrás de otro a una velocidad constante y en determinados instantes de tiempo.

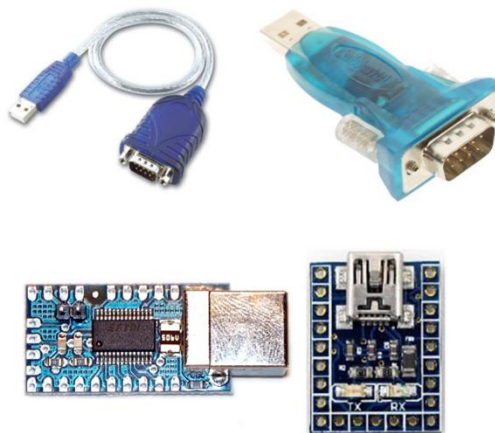
A veces es necesaria la implementación de un protocolo de control de flujo. El cual se puede hacer por hardware utilizando el método *handshaking* que usa los pines RTS/CTS para determinar si es posible una comunicación o bien por software XON/XOFF.

#### 4.3.4 Convertidor USB a Serial.

En la actualidad el puerto serial ha dejado de ser uno de los estándares más importantes a la hora de interconectar dispositivos ya que con el evolucionar de las tecnologías se ha llegado a la era del puerto USB (Universal Serial Bus) el cual maneja una comunicación serial más rápida y de mayor flujo de datos. Dadas estas implicaciones los fabricantes de equipos de cómputo han optado por truncar este puerto de sus equipos, por lo tanto se vio la necesidad de implementar un dispositivo que lograra la comunicación serial RS-232 usando el puerto USB. En el mercado actual de dispositivos existen diversos convertidores USB/RS-232 que logran un buen manejo de los protocolos para crear la compatibilidad necesaria.

El convertidor transforma el dispositivo de conexión USB al conector o salidas seriales, proporcionando un puerto serial a la computadora, este dispositivo es muy usado en las nuevas *laptop's* que no tienen un puerto serial, pero que necesitan establecer una comunicación serial con otro dispositivo.

**Figura 14. Convertidores USB/RS-232**



Fuente: [www.ebay.com](http://www.ebay.com)



## **5 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES**

### **5.1 GENERALIDADES EN EL ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES**

La adquisición de señales, se basa en la toma de muestras de un sistema analógico para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador o un sistema digital. Este proceso consiste, en tomar un conjunto de señales físicas para luego convertirlas en tensiones eléctricas y así poder digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un ordenador pero antes de esto se requiere una etapa de acondicionamiento, el cual adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital.

Para llevar a cabo el proceso de acondicionamiento de señales es necesario tener en cuenta diversas variables tales como los niveles del voltaje o corriente en las cuales se debe considerar el sistema de adquisición de datos que va a implementar ya que al momento de tomar medidas de alto voltaje o corriente estos pueden provocar daños en el equipo de medición, a la máquina o al operador. Para asegurar la seguridad del sistema, se deben emplear dispositivos de medición aislados para que sirvan como una barrera de aislamiento entre el operario y los voltajes o corrientes dañinos.

Una vez establecido el nivel y método de aislamiento se deben tener a consideración el tipo de señal, siendo esta de dos tipos: alterna o continua, dado que estos comportamientos afectan el diseño y funcionamiento del sistema de conversión de señales.

Como posibles variables a analizar se encuentran el rango de medición de tensión, la frecuencia de la señal adquirida entre otras, todas estas variables deben tratarse de forma adecuada para que no afecten la medición.

**Figura 15. Proceso de Adquisición de Datos de Una Señal.**



Fuente: Diseño Autor

### 5.1.1 Sensor y/o Transductor

Un sensor es el principal dispositivo de un equipo de medición ya que transforma una propiedad física en una señal eléctrica que puede ser medible, tal como tensión o corriente. En estos dispositivos recae el mayor peso del sistema de adquisición de datos, dado que según sus especificaciones tiene un comportamiento con respecto a las señales medidas.

Existen transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de tensión, corriente, temperatura, presión, o flujo entre otros. La señal de estos sensores es la que se debe acondicionar para así obtener información que es crucial en la medición. Ya que la adaptación de impedancias es imprescindible, caso inherente de los transductores que presentan una salida de alta impedancia, que normalmente no puede excitar la entrada de un convertidor, cuya impedancia típica suele estar entre  $1\Omega$  y  $10k\Omega$ .

Una de las razones para obtener esta información, es para establecer la mejor manera de operar el proceso o equipo a medir, y así disponer de medios para modificar el proceso o uso del equipo para que trabaje de la forma más eficiente.

## **5.2 ETAPAS DE ACONDICIONAMIENTO**

En el acondicionamiento de señales es necesario implementar diversas etapas que son necesarias para lograr un sistema estable y exacto.

### **5.2.1 Amplificación**

La amplificación es el tipo más común de acondicionamiento, esto con el objeto de conseguir la mayor precisión posible de la señal de entrada, de modo que su máximo nivel coincida con la máxima tensión que el convertidor pueda leer.

Uno de los métodos más utilizados en la amplificación es la implementación de *Amplificadores Operacionales (OP)*, estos contienen una gran cantidad de ventajas respecto a otros métodos de amplificación, dentro de estas ventajas se encuentra su rápida respuesta ante las oscilaciones y su linealidad.

### **5.2.2 Excitación**

Muchos sensores, como *RTD*, galgas o de efecto hall, requieren de alguna fuente de poder para hacer la medición correspondiente. Estas fuentes de excitación pueden ser voltaje o corriente dependiendo del tipo de sensor. Su principal función es la de suministrar la energía suficiente y necesaria para la operación del sensor, en las condiciones más óptimas posibles.

### 5.2.3 Filtrado

Un filtro es un circuito que se ha diseñado para pasar una banda de frecuencias específica, mientras atenúa todas las señales fuera de esa banda. Los circuitos de filtrado pueden ser activos o pasivos. Los circuitos de filtrado pasivo contienen solo resistencias, inductores y condensadores. Los filtros activos, emplean amplificadores operacionales, resistencias, condensadores e inductores. Estos últimos no son de gran uso, ya que por su gran tamaño no facilitan su aplicación en estos circuitos

Otra de sus principales funciones es la de prevenir el *aliasing* (efecto que es causado cuando se muestrea digitalmente una señal cuya frecuencia es mayor a la mitad de la frecuencia de muestreo) y reducir la señal de ruido.

Dependiendo del tipo de señal se pueden implementar diferentes tipos de filtrado, tales como filtros pasa-bajo, pasa-alto, pasa-banda o rechaza-banda entre otros. Estos se pueden realizar con diferentes tipos, “familias”, entre las que están:

- **Los Filtros Butterworth:** esta familia de filtros tiene buenas características transitorias. La respuesta de frecuencia es extremadamente plana, cerca a un nivel de DC y asintóticamente llega a una cuesta con una pendiente de  $n \times 6$  dB por octava en la región de la detección de la banda. En las proximidades de la frecuencia de corte es ligeramente redondeada. La familia *Butterworth* es ampliamente utilizada, ya que en sus diseños se obtienen valores prácticos de los componentes con tolerancias menos críticas que los otros tipos de filtros.

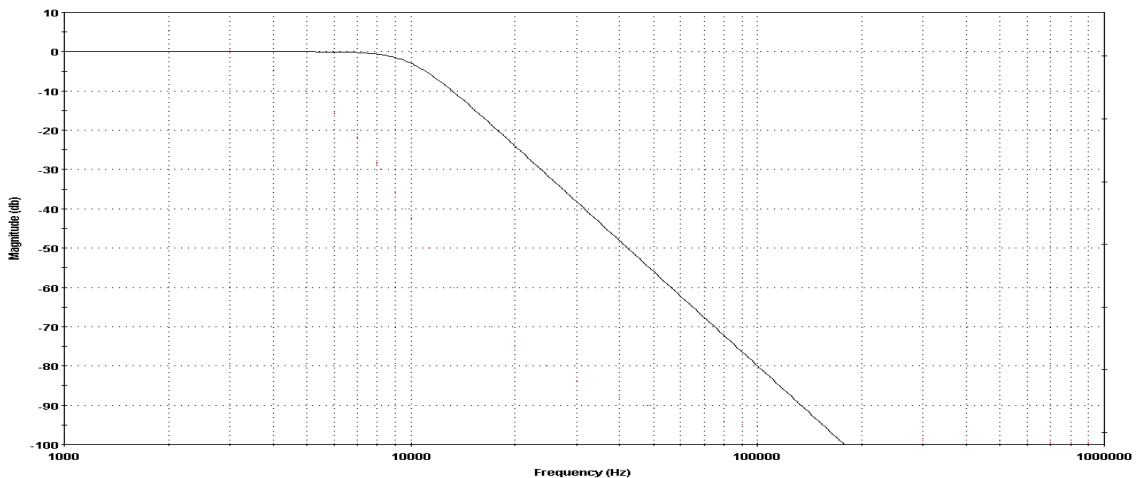
*Función de transferencia de los filtros Butterworth:*

$$|H(j\omega)| = \frac{K_{pb}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}} \quad (\text{Ecuación 15})$$

$n = 1, 2, 3, \dots$

La respuesta general de este filtro se puede ver en la Figura 16 para una frecuencia de corte ( $f_c$ ) de 1kHz.

**Figura 16. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Butterworth  $f_c=1\text{kHz}$**



Fuente: Diseño Autor

- **Los filtros Chebyshev:** la familia de filtros *Chebyshev* se caracteriza por una fuerte pendiente de atenuación en la banda de detención en comparación con la familia *Butterworth*. Esto se logra a expensas de rizados en la banda de paso del filtro. Para un filtro de orden  $n$ , un aumento en la magnitud de los rizados aumenta la velocidad de descenso en banda pasante. Sin embargo, las propiedades transitorias son inferiores que las de un *Butterworth* y se dañan aún más al incrementar el rizado.

Función de transferencia de los filtros Chebyshev:

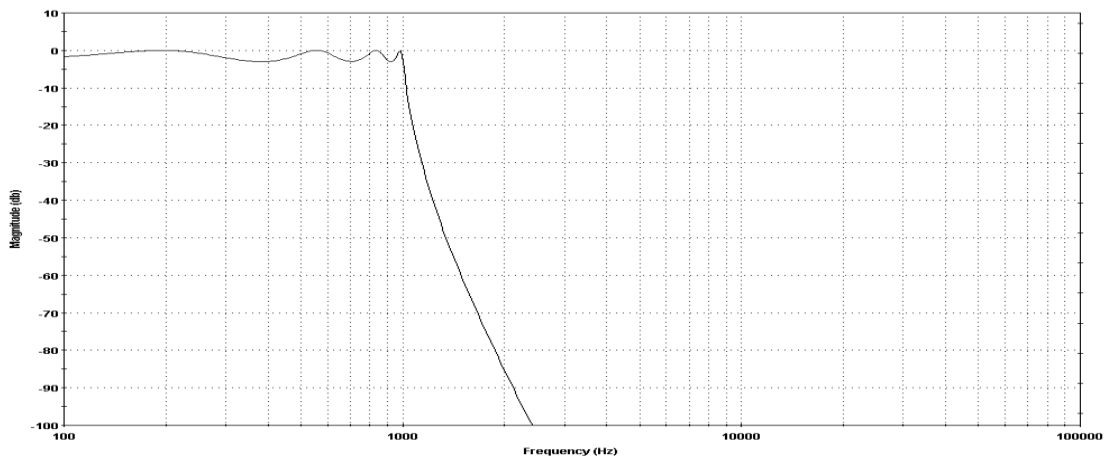
$$|H(j\omega)| = \frac{K_{pb}}{\sqrt{1 + E^2 \cdot Cn^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$0 < E \leq 1$$

(Ecuación 16)

Figura 17. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Chebyshev  $f_c=1\text{kHz}$



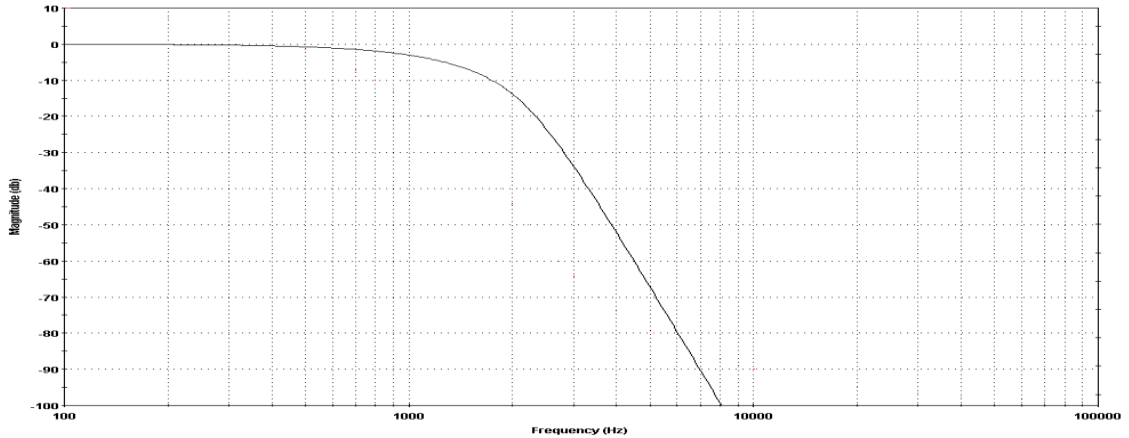
Fuente: Diseño Autor

- **Los filtros Bessel:** una de las principales características de este filtro es la fiel reproducción de una forma de onda pulsante. Estos filtros tienen una muy buena aproximación con un retraso constante, sobre todo para valores altos de  $n$ . Las características de su respuesta en frecuencia son extremadamente pobres en comparación con los tipos de *Butterworth* o *Chebyshev*. La banda pasante es redonda y la pendiente de atenuación es muy inferior en las primeras octavas. No obstante, la superioridad de sus propiedades transitorias hace que esta familia sea muy útil.

*Función de transferencia de los filtros Bessel:*

$$|H(s)| = \frac{1}{\sum_{k=0}^N a_k \cdot s^k} \quad (\text{Ecuación 17})$$

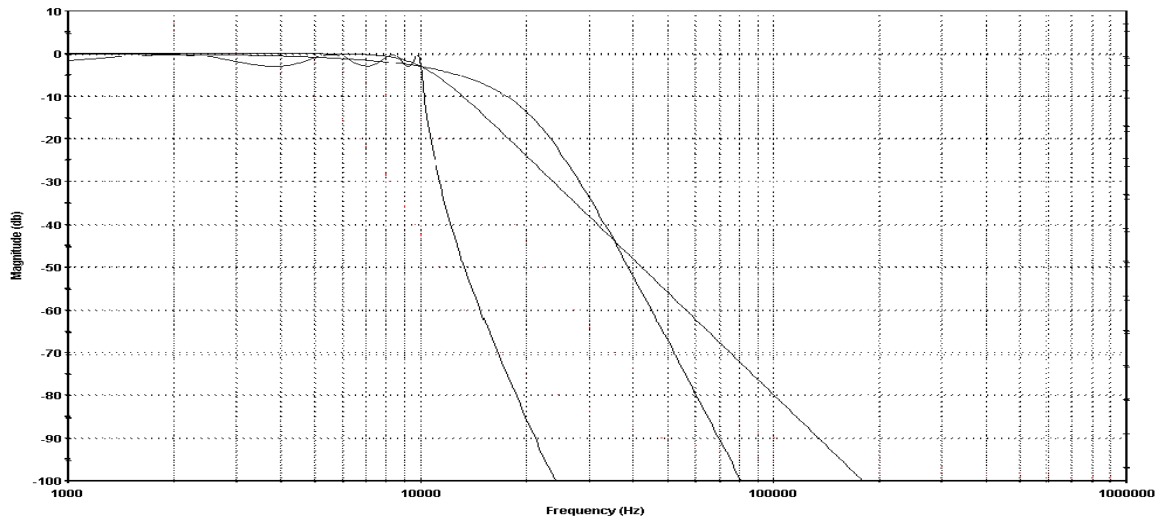
**Figura 18. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Bessel  $f_c=1\text{kHz}$**



Fuente: Diseño Autor

Al analizar las diferentes familias de filtros, podemos observar cada uno de sus comportamientos. En la Figura 19 se puede observar agrupadas cada una de las respuestas de las familias de filtros, con esta información se deben tomar las decisiones de qué filtro se debe implementar para cada tarea específica.

**Figura 19. Comparación de la Respuesta en Frecuencia de los Filtros con Una  $f_c=1\text{kHz}$**



Fuente: Diseño Autor

- **Orden de un Filtro:** El orden de un filtro detalla el grado de operación sobre las frecuencias por arriba o por debajo, de la frecuencia de corte. Un filtro de primer orden, presenta una atenuación de 20 dB por década. El número de polos y ceros en la función de transferencia indica el orden del filtro y su valor determina las características del filtro, como su respuesta en frecuencia y su estabilidad.

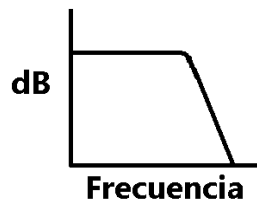
Un filtro de segundo orden duplica la pendiente de un filtro de orden uno. La función de cada polo simple es hacer que la pendiente baje con 20 dB por década y la función cada cero simple es hacer que suba con 20 dB por década. De esta forma los ceros y los polos pueden equilibrar su efecto en el filtro.



#### 5.2.4 Respuesta en Frecuencia

- **Filtro Pasa-Bajo:** Es tipo de filtro permite el paso de frecuencias de valores inferiores a la frecuencia de corte, más explícitamente desde la frecuencia 0 hasta  $f_c$ . Presentan ceros a alta frecuencia y polos a baja frecuencia.

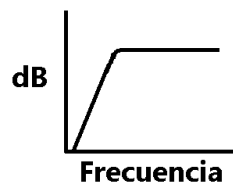
**Figura 20. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Pasa-Bajo**



Fuente: Diseño Autor

- **Filtro Pasa-Alto:** Admite el paso de frecuencias desde la frecuencia de corte en adelante, sin que halle un límite superior específico. Disponen polos a altas frecuencias y ceros a bajas frecuencias.

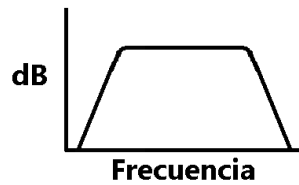
**Figura 21. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Pasa-Alto**



Fuente: Diseño Autor

- **Filtro Pasa-Banda:** Permite el paso de frecuencias en un rango de frecuencias, comprendido entre una frecuencia de corte inferior y otra superior.

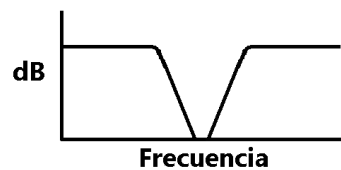
**Figura 22. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Pasa-Banda**



Fuente: Diseño Autor

- **Filtro Rechaza Banda:** Rechaza el paso de frecuencias que están en un rango de frecuencias, que están entre una frecuencia de corte inferior y otra superior.

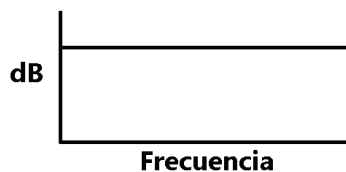
**Figura 23. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Rechaza Banda**



Fuente: Diseño Autor

- **Filtro Pasa Todo:** deja pasar todo el espectro de frecuencias.

**Figura 24. Respuesta en Frecuencia de un Filtro Pasa-Todo**



Fuente: Diseño Autor

### 5.2.5 Filtros Activos o Pasivos

- **Filtro Pasivo:** Están constituidos únicamente por componentes pasivos tales como resistencias, bobinas y condensadores. En algunas aplicaciones este tipo de filtrado no es adecuado para la aplicación ya que demanda un

suministro de corriente que debe provenir de la señal a filtrar, lo que implica una carga al dispositivo o sensor.

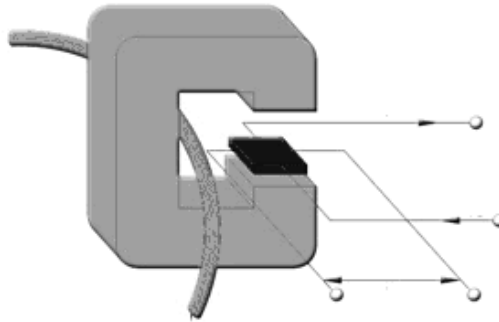
- **Filtro Activo:** Dependiendo de su configuración aportan ganancia a toda o parte de la señal de salida, incluyendo además una ganancia de potencia. En su implementación se realiza combinando elementos pasivos y activos. Siendo usual el uso de amplificadores operacionales, que permiten obtener un elevado factor de calidad (Q) sin el empleo de bobinas. Son los más utilizados, dado que para su funcionamiento necesitan de muy poca o nada de corriente del dispositivo o sensor al cual se le desea aplicar el filtrado.

### 5.2.6 Aislamiento

El aislamiento entrega un nivel de seguridad mediante una separación física y eléctrica en las partes de un circuito. Los dispositivos de medición comúnmente logran el aislamiento por alguno de los siguientes métodos:

- **Acoplamiento magnético:** Las bobinas dentro de un transformador detectan un campo magnético proporcional a la señal medida. Este método da excelente protección contra voltajes o corrientes dañinas, y particularmente transitorios.

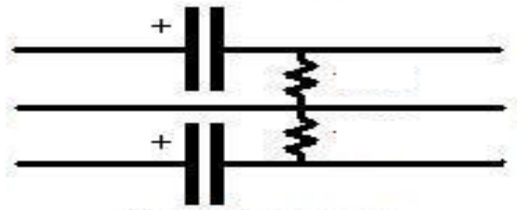
**Figura 25. Acoplamiento Magnético de Una Sonda de Efecto Hall**



Fuente: Diseño Autor

- **Acoplamiento capacitivo:** En este método se emplea un capacitor con un nivel de carga proporcional a la señal medida. Este tipo de acoplamiento requiere un menor espacio para ser implementado, pero no es tan eficiente como otros métodos de acoplamiento contra voltajes transitorios.

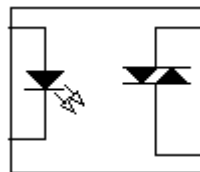
**Figura 26. Acoplamiento Capacitivo**



Fuente: Diseño Autor

- **Acoplamiento óptico:** este tipo de acoplamiento emplea un elemento fotoconductor con un nivel de luz proporcional a la señal medida.

**Figura 27. Acoplamiento Óptico**



Fuente: Diseño Autor

### ***Ventajas de Implementar un Aislamiento***

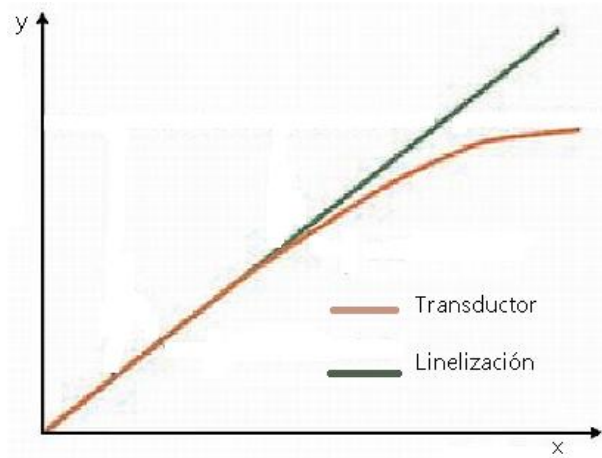
Además de seguridad, las mejoras en aislamiento incrementan dramáticamente la calidad del equipo de medición mediante:

- *Mejora de Seguridad:* Mediante implementación de un aislamiento, se logra obtener una referencia a tierra de la entrada y salida de un dispositivo de medición para variaciones en niveles de voltaje. Si la entrada del dispositivo recibe un pico de voltaje transitorio, su salida permanece dentro de niveles de voltaje seguros.
- *Mejora de Exactitud:* El aislamiento ayuda a prevenir físicamente los ciclos de tierra y mejora la exactitud de las mediciones. Los ciclos de tierra, son una fuente común de ruido en la medición y en la inexactitud del equipo.
- *Desempeño Mejorado:* Los voltajes de modo común, son otra fuente de error en la medición, éstos están presentes tanto en las todas las entradas del sistema de medición, pero no son parte de la señal medida. El aislamiento aumenta la capacidad de su sistema para rechazar estos voltajes, mejorando la proporción de rechazo en modo común.

### **5.2.7 Linealización**

La linealización es el proceso de transformar una curva no lineal, en una lineal. Para esto es necesario efectuar algunos procedimientos matemáticos o físicos, con el objetivo de tornar el valor medido, en un valor equivalente en una línea recta.

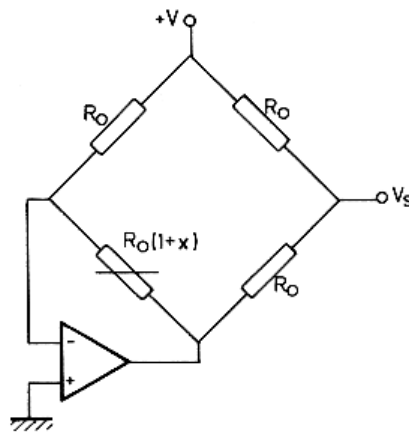
**Figura 28. Linealización de Una Curva**



Fuente: Diseño Autor

Muchos transductores tienen una respuesta no lineal a los cambios lineales en los parámetros que se miden. Aunque la linealización se puede realizar utilizando métodos numéricos en el sistema de adquisición de datos, es recomendable hacer esta corrección con circuitos externos.

**Figura 29. Circuito de Linealización Analógica.**



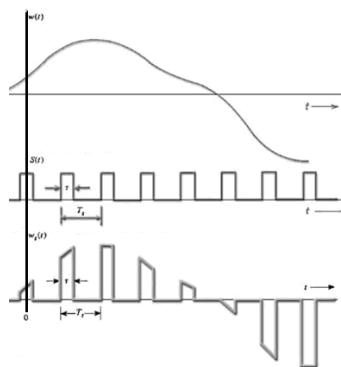
Fuente: Diseño Autor

### 5.2.8 Muestreo

El muestreo de señales eléctricas, normalmente voltajes, se efectúa empleando dos dispositivos. El de muestreo y retención (S/H) y el convertidor analógico-digital (CAD). Comúnmente estos dos dispositivos se acoplan en un único módulo electrónico, que es de fácil adquisición. La excitación del S/H es el voltaje analógico en su entrada, y cuando se le agrega un reloj, reproduce ese voltaje a la salida como respuesta y lo retiene hasta que se vuelve a activar el reloj para adquirir otra señal de voltaje.

En la Figura 30 se puede observar la señal del reloj que controla la operación del S/H. La adquisición de la señal del voltaje de entrada del S/H ocurre durante el tiempo de apertura o captación, el cual tiene una duración equivalente al ancho de un pulso de reloj. Durante el pulso de reloj la señal del voltaje cambia de su valor anterior al actual esto para seguir la tendencia de la señal de entrada. Al final del pulso de reloj la señal del voltaje de salida se mantiene en un valor fijo hasta que ocurre el siguiente pulso de reloj. Dicha señal de reloj es la que estipula la duración de las muestras y frecuencia de muestreo. El CAD puede aceptar señales de voltaje o corriente analógicas en su entrada y la convierte en un conjunto de bits binarios como respuesta.

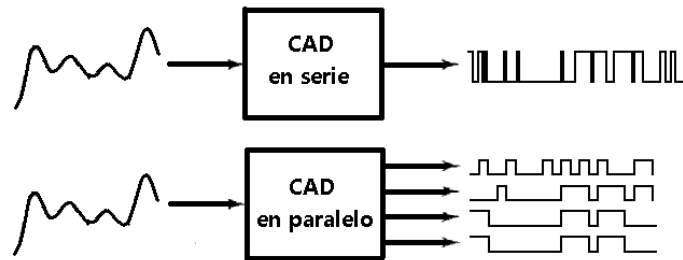
**Figura 30. Muestreo de Una Señal**



Fuente: Diseño Autor

El CAD se puede brindar la respuesta de la conversión en serie o en paralelo. Si la respuesta es en serie está se produce sobre una terminal de salida y es transmitida en una secuencia de voltajes altos y bajos en el tiempo, que representan los unos y los ceros del conjunto de bits binarios. Si el CAD tiene una respuesta en paralelo, hay un voltaje o corriente de respuesta por bit y cada uno de éstos aparece en forma simultánea en una terminal de salida del CAD.

**Figura 31. Respuesta del CAD**



Fuente: M. J. ROBERTS, Señales y Sistemas.

Para que un CAD funcione adecuadamente es necesaria la implementación de un S/H para mantener constante su excitación durante el tiempo de conversión.

La excitación del CAD es una señal de tiempo continuo, y la respuesta es una señal en tiempo discreto. Dentro del CAD se realiza un proceso de cuantización y codificación. El número de bits binarios implementados en un CAD es finito. Como consecuencia, el número de códigos de bits únicos que puede producir también lo es. En otras palabras si el número de bits con los que opera el CAD es  $n$ , el número de códigos de bits únicos que puede producir es  $2^n$ , por ejemplo si el número de bits que implementa un CAD es de 8, el número de códigos de bits únicos que puede producir es  $2^8 = 256$ .



### 5.2.9 Cuantización

La cuantización es el efecto de convertir un número continuo de valores infinitos de excitación en un número finito de valores de respuesta. Debido a esto la respuesta contiene un error debido a la cuantización, este error se considera como ruido y recibe el nombre de ruido de cuantización.

Si el número (n) de bits que se usa para representar la respuesta es suficientemente grande, el ruido de cuantización puede ser despreciable en comparación con otras fuentes de ruido. Una vez realizada la cuantización, el CAD codifica también la señal.

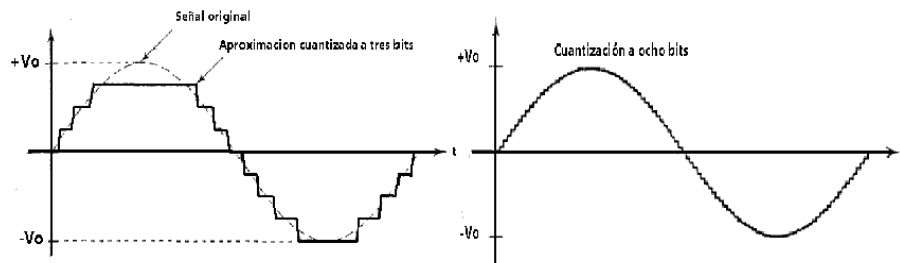
### 5.2.10 Codificación

La codificación es la conversión de un voltaje analógico en un código de bits. De modo que la excitación de un CAD es un voltaje analógico, y la respuesta corresponde a una secuencia de códigos. La relación entre la excitación a la respuesta de un CAD cuyo intervalo de voltaje de señal de entrada está comprendida entre un voltaje mínimo (-Vo) y un voltaje máximo (+Vo). El CAD usa estos límites para determinar el valor en voltaje entre cada código, por ejemplo si un CAD de 8 bits de conversión, tiene como voltaje mínimo 0V y como voltaje máximo 5V, el valor de voltaje entre códigos es de 19.6mV este valor resulta de aplicar la ecuación 18.

*Valor de paso entre códigos de conversión:*

$$V_p = (+V_o - (-V_o)) / (2^n - 1) \quad \text{(Ecuación 18)}$$

**Figura 32. Cuantización de Una Señal a 3 bits y a 8 bits**



Fuente: M. J. ROBERTS, Señales y Sistemas.

En la Figura 32 se puede observar los efectos de la cuantización en una señal senoidal cuantizada mediante 3 bits, en la cual el error de cuantización es alto, para evitar esto es necesario incrementar el número de bits de cuantización, un ejemplo de esto es cuando la señal se cuantiza a 8 bits o más lo cual hace que el error de cuantización sea mucho más pequeño.

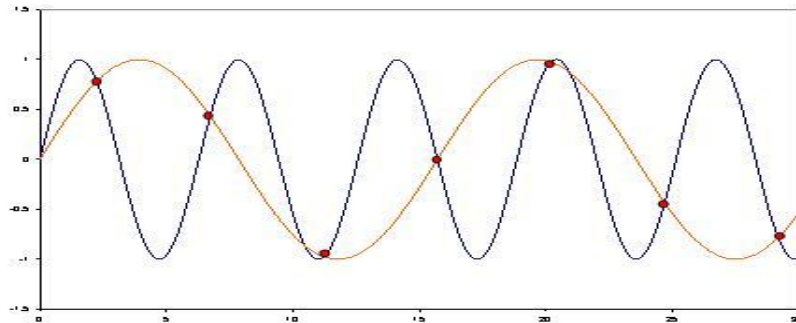
### 5.2.11 Teorema del Muestreo

El teorema del muestreo garantiza que las muestras discretas sean la representación completa y fiel de una señal. Para poder cumplir este teorema es necesario implementar la frecuencia crítica o frecuencia *Nyquist*. La cual nos dice que para que una señal pueda ser reconstruida de forma fiel a la señal original, se debe hacer implementar una frecuencia de muestreo que sea el doble o más a la frecuencia de la señal a ser muestreada.

Si este teorema no se aplica al muestreo la señal adquirida puede contener el fenómeno llamado *aliasing* que es poco deseable en la mayoría de aplicaciones.

En la Figura 33 se puede observar que la señal del entrada no cumple con el Teorema del Muestreo, y como consecuencia la señal reconstruida no es una copia fiel de la señal de entrada.

**Figura 33. Efecto del Aliasing**



Fuente: Diseño Autor

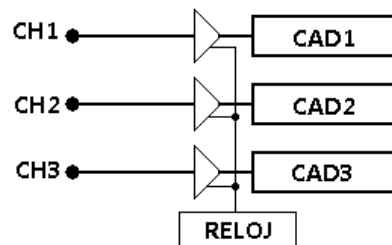
### **Muestreo de varios canales**

En un sistema de adquisición de señales es a veces necesaria la posibilidad de adquirir dos o más señales, por tal motivo se pueden implementar dos tipos de muestreo, el muestreo simultáneo y el muestreo secuencial.

### **Muestreo Simultáneo**

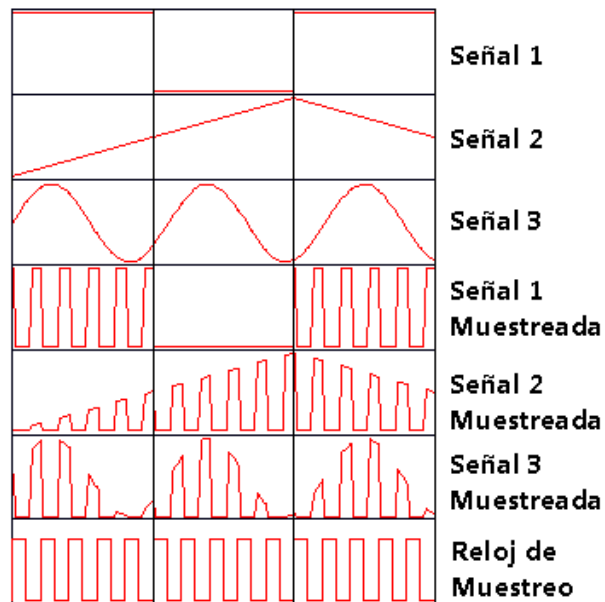
Es implementado cuando es crítico medir dos o más señales en un mismo instante de tiempo. Para poder lograr este tipo de muestreo es necesario implementar un circuito retenedor S/H por cada señal a ser muestreada, además de un CAD de alta velocidad con el fin de cuantizar todas las muestras antes de que llegue la siguiente captura de las señales.

**Figura 34. Configuración de un Muestreo Simultáneo**



Fuente: Diseño Autor

**Figura 35. Muestreo Simultáneo**



Fuente: Diseño Autor

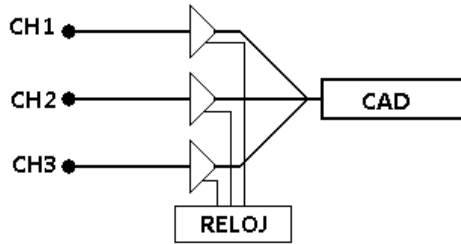
En la Figura 35 se puede observar que las muestras de cada canal son tomadas en el mismo instante y de la misma duración, creando así el muestreo simultaneo.

Entre las principales ventajas del muestreo simultaneo, se encuentra la baja frecuencia del reloj de muestreo y la captura de todas las muestras en un mismo instante, pero entre sus desventajas se encuentra la necesidad de que por cada canal a muestrear es necesario implementar un circuito retenedor S/H y estos ultimo tienen un alto valor en el mercado.

### **Muestreo Secuencial**

Es implementado cuando no es crítico medir dos o más señales en un mismo instante de tiempo. Para lograr este tipo de muestreo es necesario implementar un solo circuito retenedor S/H por todas las señales a ser muestreadas, además de un CAD de alta velocidad con el fin de cuantizar todas las muestras antes de que llegue la siguiente captura de la siguiente señal.

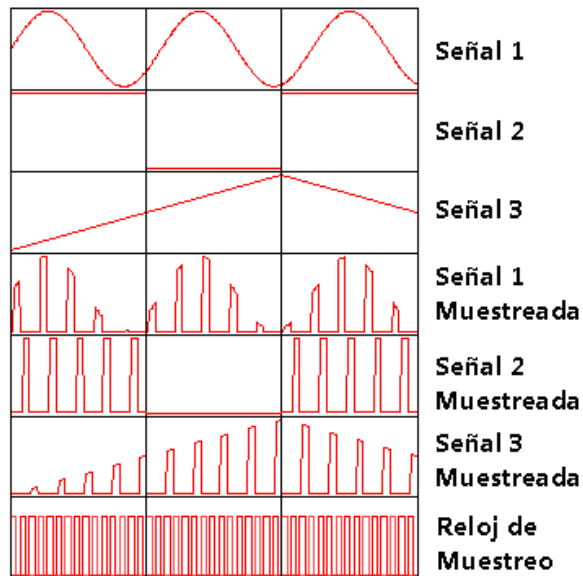
**Figura 36. Configuración de un muestreo secuencial**



Fuente: Diseño Autor

En la Figura 37 se puede observar que las muestras de cada canal son tomadas secuencialmente y de la misma duración, creando así el muestreo secuencial.

**Figura 37. Muestreo Secuencial**



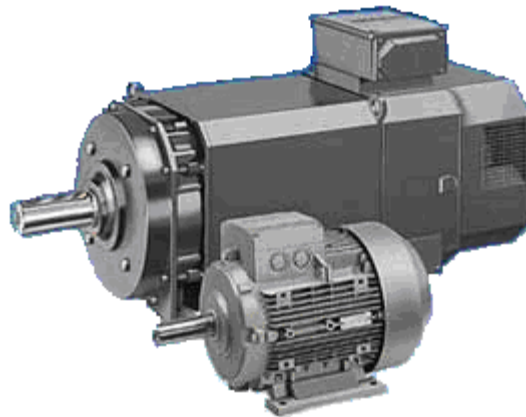
Fuente: Diseño Autor

Entre las ventajas del muestreo simultaneo, se encuentra que solo es necesario implementar un circuito retenedor S/H, además de que reduce significativamente el circuito físico. Entre sus desventajas se encuentra la imposibilidad de capturar todas las muestras al mismo tiempo y la alta frecuencia del reloj de muestreo.

## 6 MOTORES

### 6.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

**Figura 38. Motor Eléctrico de Corriente Continua<sup>1</sup>**



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens/motor-electrico-cc-7659-19430.html>

El Motor de Corriente Continua o Motor CC es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica, fundándose en el movimiento rotatorio; sin embargo también es posible conseguir una tracción lineal de acuerdo a posibles configuraciones que se efectúan para ciertas aplicaciones. Hoy en día, los Motores de Corriente Continua se han posicionado como elementos fundamentales y versátiles en la industria, ya que su modo de operación es práctico, permitiendo

---

<sup>1</sup> Motor eléctrico de corriente continua [Página de Internet]. En: <http://www.directindustry.es/prod/siemens/motor-electrico-cc-7659-19430.html>

facilidad en el control de posición, par y velocidad en las diferentes aplicaciones para las cuales son empleados.

Comercialmente se encuentran motores de corriente continua de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento. A continuación se ofrece la descripción de un motor de corriente continua (CC), tanto de las partes que lo componen como del funcionamiento y los diferentes modos de control y/o operación.

### 6.1.1 Composición del Motor de Corriente Continua

**Figura 39. Motor de Corriente Continua**

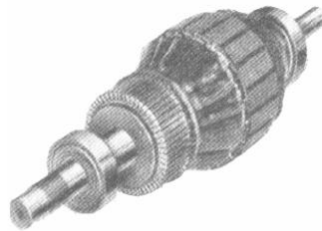


Fuente: <http://motoresacdc.blogspot.com/>

Básicamente los motores de corriente continua se encuentran compuestos de dos partes fundamentales: *el rotor y el estator*.

## El Rotor

Figura 40. Rotor de Motor DC<sup>1</sup>



Fuente: <http://motoresacdc.blogspot.com/>

Se constituye la parte móvil del motor y es el elemento que proporciona el torque al mover la carga. A su vez, el *rotor* se encuentra conformado por otras unidades:

- **Eje del Rotor:** es una barra de acero fresada y es el elemento que imparte la respectiva rotación al núcleo, devanado y al colector. A través del eje del rotor surge la energía mecánica producida en el interior del motor.
- **Núcleo:** se encuentra localizado sobre el eje del rotor. Generalmente está fabricado a base de láminas o capas laminadas de acero o hierro, su función es formar una trayectoria magnética entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule. Las capas laminadas tienen por objeto reducir las corrientes parásitas en el núcleo. El acero del núcleo tiene la capacidad de mantener bajas las pérdidas por histéresis que tiene todo circuito magnético. Además, esta unidad laminada contiene ranuras a lo largo de su superficie para amparar al devanado de la armadura.
- **Devanado:** se encuentra constituido de bobinas aisladas entre sí y entre el núcleo de la armadura. Estas bobinas se hallan distribuidas uniformemente

---

<sup>1</sup> Vista interna de un rotor [Página de Internet]. En: <http://motoresacdc.blogspot.com/>



en las ranuras, y están conectadas eléctricamente con el colector, el cual también es llamado conmutador ya que debido a su movimiento rotatorio proporciona un camino de conducción conmutado. También es en ésta unidad donde se van a generar torques en el caso de funcionar como motor y las tensiones en el caso de actuar como generador.

- **Colector:** el colector también es denominado conmutador, está formado de láminas de material conductor llamadas *delgas*, distanciadas entre sí y del centro del eje por un material aislante, para impedir que dichos elementos cortocircuiten. El colector se localiza sobre uno de los extremos del eje del rotor, de manera que gira con éste y a su vez mantiene contacto con las escobillas. El objetivo primordial del conmutador es recibir la tensión producida por el devanado inducido, transfiriéndola al circuito por medio de las escobillas, asegurando que las espiras reciban la polaridad adecuada.
- **Escobillas:** están ubicadas en el estator pero siempre están en contacto con el rotor. Debido que el rotor siempre se encontrará en movimiento, y que a ésta unidad debe llegar una corriente para efectuar el torque, se debe asegurar la llegada de corriente a través de estas barras de carbón llamadas escobillas. Generalmente deben recibir un mantenimiento periódico, ya que es el elemento con mayor desgaste en el funcionamiento del motor.

## ***El Estator***

**Figura 41. Estator de Motor DC**



Fuente: <http://motoresacdc.blogspot.com/>

Se define como la parte fija del motor. La funcionalidad de esta unidad es suministrar el flujo magnético que yacerá por el bobinado del rotor para producir su movimiento giratorio. El estator básicamente está constituido por las siguientes partes:

- **Armazón:** al igual que el rotor está compuesto de láminas de acero o hierro de alta permeabilidad magnética. Es también conocido como *yugo*. Dentro de sus funciones se encuentra el servir como soporte y proporcionar una trayectoria de retorno al flujo magnético del rotor y del imán permanente, de esta forma asegura completar el circuito magnético.
- **Devanado de Campo:** se compone por uno o más devanados y dependiendo de la cantidad de estos y la disposición del motor adopta un nombre y un comportamiento diferente. Básicamente se propone a crear el campo magnético que necesita todo motor o generador para que exista inducción de tensión o un torque adecuado.

- **Devanado de Compensación:** en estos circula la corriente de armadura que compensará las modificaciones del campo magnético. Cuando los motores de gran capacidad de salida o entrega de potencia trabajan con cargas grandes se produce una corriente de armadura proporcional, esta corriente empieza a afectar de manera notable en el campo magnético producido por los polos del estator y lo deforman. Para ello se hace necesario construir los polos de compensación, evitando de esta forma que el motor pierda características propias de funcionamiento.
- **Borneras de Conexión:** son terminales que permiten la conexión eléctrica entre la fuente de alimentación externa con los devanados en el interior del motor. Si el motor posee solo dos terminales esto indica que el motor solo tiene devanado de armadura. Si tiene cuatro terminales se tiene acceso al devanado de campo y al devanado de armadura, se trata de un motor compuesto o se entiende también que posee devanado de compensación.

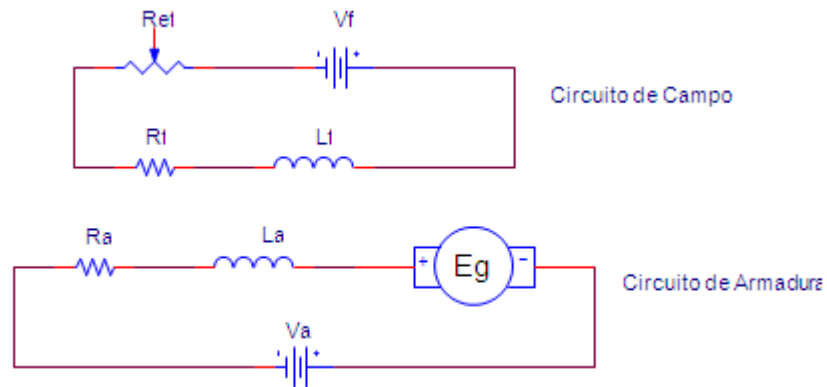
### 6.1.2 Circuito Equivalente del Motor de Corriente Continua

Esencialmente el motor de corriente continua consta de dos circuitos eléctricos, uno en el estator que se llama circuito de campo. En esta parte se va a producir el flujo magnético necesario para que la máquina pueda funcionar como motor o generador. Este circuito se puede representar como una bobina que tiene un efecto inductivo y otro resistivo. El otro circuito que se debe distinguir es el circuito de armadura que está localizado en el rotor y allí es donde se produce el torque y las tensiones para que la máquina funcione. Para reconocerlo se debe medir la resistencia cuyo valor debe ser bajo y además al hacer girar el rotor hay una pequeña tensión inducida debida al flujo remanente en el estator de la máquina.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Laboratorio de Máquinas Eléctricas. Juan Carlos Villamizar. Universidad Pontificia Bolivariana. 2003

**Figura 42. Circuito Equivalente del Motor de Corriente Continua**



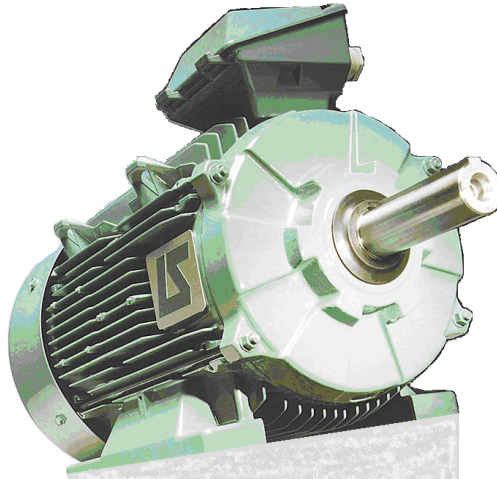
Fuente: Diseño Autor

### 6.1.3 Funcionamiento del Motor de Corriente Continua

Accionar un motor de corriente continua es muy simple y solo es necesario aplicar la tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir el sentido de giro basta con invertir la polaridad de alimentación y el motor comenzará a girar en sentido opuesto. Estos simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se los permite; finalmente conviene aplicar un frenado al motor. Sin embargo, para lograr cada uno de los cometidos anteriormente descritos, existen diversas formas que permiten obtener diferentes fines de acuerdo a las necesidades del usuario y al requerimiento que convenga el buen desempeño del motor.

## 6.2 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Figura 43. Motor Eléctrico de Corriente Alterna. <sup>1</sup>



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/leroy-somer/motor-electrico-asincrono-8355-21362.html>

Hay dos tipos de motores eléctricos de corriente alterna: el motor *síncrono* y el motor a *inducción* o *asíncrono*. Cada uno de estos tipos puede usar corriente monofásica o trifásica. En aplicaciones industriales, los motores trifásicos son los más comunes, debido a su mayor eficacia que los motores monofásicos. El motor *síncrono* es mucho menos generalizado que el motor a *inducción*, pero se usa en unas aplicaciones especiales, que requieren una velocidad absolutamente constante o una corrección del factor de potencia. Los motores a *inducción* y los motores *síncronos* son similares en muchos aspectos pero mantienen algunos detalles diferentes.

El motor de inducción no necesita escobillas ni colector. Su armadura es de placas de metal magnetizable. El sentido alterno de circulación, de la corriente en las

---

<sup>1</sup> Motor asíncrono [Página de Internet]. En: <http://www.directindustry.es/prod/leroy-somer/motor-electrico-asincrono-8355-21362.html>

espiras del estator genera un campo magnético giratorio que arrastra las placas de metal magnetizable, y las hace girar. El motor de inducción es el motor de corriente alterna más utilizado, debido a su fortaleza y sencillez de construcción, buen rendimiento y bajo coste así como a la ausencia de colector y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante.

### **6.2.1 Composición del Motor de Inducción**

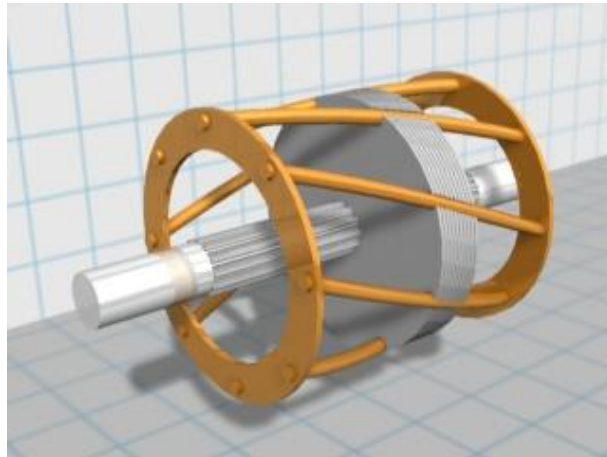
El motor tiene una parte móvil o rotor que puede ser construida de dos formas, la primera consta de un rotor con las barras construidas de aluminio y cortocircuitadas en sus extremos, al cual se le llama motor de inducción de jaula de ardilla, y una segunda versión con el rotor devanado o con bobinas en el rotor las cuales están conectadas a unos anillos para modificar las características de funcionamiento del motor.<sup>1</sup>

#### **Figura 44. Rotor Jaula de Ardilla de un Motor de Inducción.<sup>2</sup>**

---

<sup>1</sup> Laboratorio de Máquinas Eléctricas. Juan Carlos Villamizar. Universidad Pontificia Bolivariana. 2003

<sup>2</sup> Vista de un rotor jaula de ardilla [Página de Internet]. En: <http://motoresacdc.blogspot.com/>



Fuente: <http://motoresacdc.blogspot.com/>

### Partes del Rotor de Inducción

- **Eje del Motor:** es la unidad donde se conecta la carga mecánica al motor, (tiene disponible un torque) y además sirve para darle soporte a las otras partes del rotor.
- **Núcleo del Motor:** es la parte más grande, ya que está construido de acero laminado al silicio para evitar altas pérdidas por corrientes de Eddy y ciclos de histéresis. La función principal de este es darle una trayectoria al flujo magnético producido en el estator y darle soporte a las barras inductoras del rotor.
- **Barras Inductoras:** generalmente son construidas de aluminio y pueden estar o no aisladas del resto del cuerpo del rotor. En ellas se inducen tensiones debidas al campo rotatorio que se produce en el estator y allí se inducen las corrientes que producen un torque o movimiento en el motor. En algunos casos, los circuitos del rotor no se construyen de barras colectoras sino que se les construyen bobinados y sus extremos se conectan a unos anillos rozantes para poder variar la resistencia del rotor y

tener la posibilidad de realizar la variación en la velocidad de giro, controlar las corrientes de arranque o modificarles alguna otra característica.

- **Anillos Rozantes:** son unos anillos que se le adicionan cuando el rotor es bobinado y sirven para hacer conexión entre el rotor y la parte exterior a través de unas escobillas (pocos motores de inducción se construyen con estas condiciones) para variar las características del motor.

### **Partes del Estator del Motor de Inducción**

- **Carcasa:** es la parte externa del motor y es la encargada de darle la apariencia definitiva; está construida de aluminio o alguna aleación de este material. En la periferia de la parte exterior se le practican unas salientes que sirven para aumentar la superficie expuesta al aire libre y así evacuar el calor que se produce en el interior del motor.
- **Yugo:** está construido de acero con alto contenido de silicio para disminuir la reluctancia magnética. Siempre se construye en forma de láminas para reducir las corrientes parásitas de Eddy y los ciclos de histéresis. En la periferia interna se le practican unas ranuras que sirven para alojar los conductores de las bobinas que formarán el circuito de armadura.
- **Bobinas de Armadura:** estas bobinas cumplen la función de producir un flujo magnético a inducir corrientes en el rotor para que el motor pueda producir un torque.
- **Rodamientos:** por lo general también se le llaman salineras y sirven para permitir que el rotor gire libremente. En el motor de inducción estos elementos son los que necesitan mayor mantenimiento (para evitar

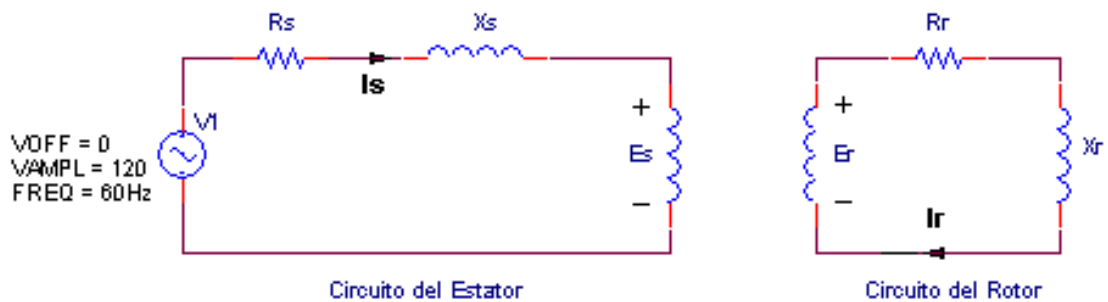


deteriorar el motor rápidamente nunca se debe superar sus valores nominales).

### 6.2.2 Circuito Equivalente del Motor de Inducción

El estator de un motor de corriente alterna contiene un número de bobinas de alambre enrollado alrededor y a través de las ranuras del mismo. Siempre hay más ranuras que bobinas y por eso las bobinas son trenzadas de manera bastante compleja. Cuando se aplica corriente a las bobinas, se genera un campo magnético rotativo dentro del estator.

**Figura 45. Circuito Equivalente del Motor de Inducción.**



Fuente: Diseño Autor

Parámetros representados en el circuito equivalente del motor de inducción:

$V_1$ : *tensión de alimentación por fase.*

$R_s$ : *resistencia del estator.*

$X_s$ : *reactancia del estator.*

$E_s$ : *tensión inducida en el devanado del estator,.*

$E_r$ : *tensión inducida en el devanado del rotor en condiciones de*

deslizamiento  $s=1$ .

$R_r$ : resistencia del rotor.

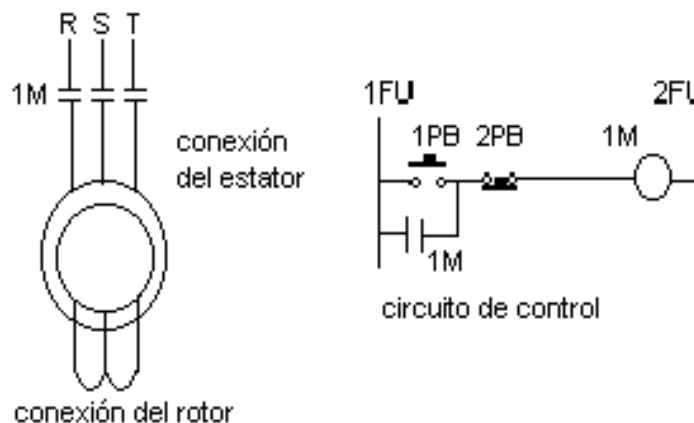
$X_r$ : reactancia del estator en condiciones de deslizamiento  $s=1$ .

$I_s$ : corriente en el estator por fase.

$I_r$ : corriente en el rotor por fase.

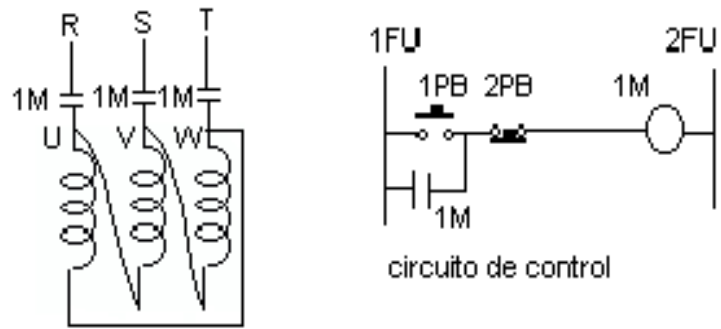
La velocidad de rotación depende del número de bobinas, o del número de polos. En un motor trifásico, tres bobinas formarán 2 polos magnéticos debido a la acción de las corrientes que tienen una diferencia de fase de 120 grados entre ellas. Con una frecuencia de línea de 60 Hz, y con dos polos en el estator el ritmo de rotación del campo será de 60 ciclos por segundo o 3600 r.p.m. Si hay 4 polos (6 bobinas) el campo girará a 1800 r.p.m. y así sucesivamente.

**Figura 46. Conexión de los Motores de Anillos Rozantes**



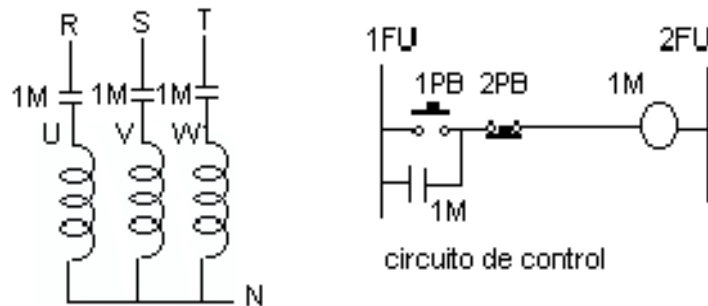
Fuente: Laboratorio de maquinas electricas Juan Carlos Villamizar

**Figura 47. Operación de los Motores de Inducción Trifásicos de Tres Terminales de Conexión.**



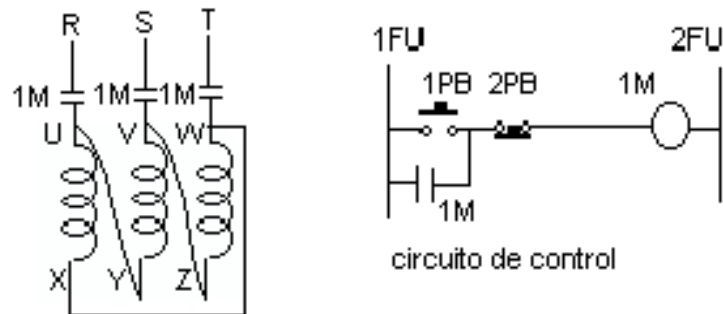
Fuente: Laboratorio de maquinas electricas Juan Carlos Villamizar

**Figura 48. Operación de Motores Trifásicos de Cuatro Conductores.**



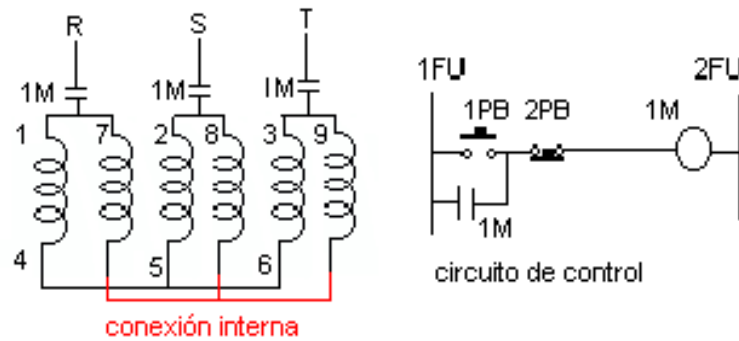
Fuente: Laboratorio de maquinas electricas Juan Carlos Villamizar

**Figura 49. Operación de los Motores Trifásicos de Seis Bornes.**



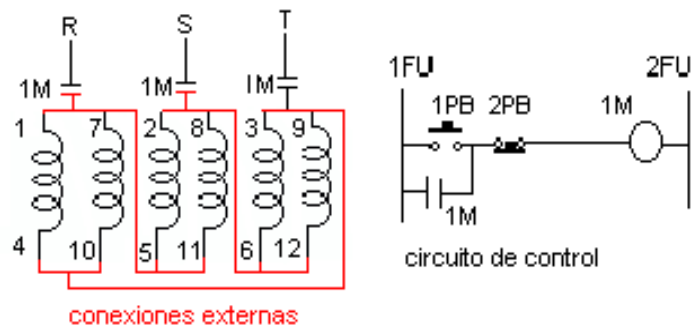
Fuente: Laboratorio de maquinas electricas Juan Carlos Villamizar

**Figura 50. Operación de los Motores de Nueve Bornes Conectadas a 208V.**



Fuente: Laboratorio de maquinas electricas Juan Carlos Villamizar

**Figura 51. Operación de los Motores de Doce Bornes Alimentadas a 208V.**



Fuente: Laboratorio de maquinas electricas Juan Carlos Villamizar

### 6.2.3 Funcionamiento del Motor de Corriente Alterna

Los motores de inducción presentan diversas maneras de conexión para lograr y mantener un óptimo desempeño, por ejemplo, para lograr un arranque es necesario conectar las tres fases a la red de alterna, alimentar a tensión y frecuencia nominales. Para realizar una inversión de giro es necesario invertir una de sus fases mediante circuitos de control, previamente trazados; finalmente para desarrollar un frenado se requieren igualmente de circuitos de control que ajustados a las necesidades del usuario y del proceso para el cual han sido destinados, previenen desgastes y extienden la vida útil del mismo.

### 6.3 MEDICIONES DE CORRIENTE Y POTENCIA

Tomando en cuenta el concepto de medición de la *potencia eléctrica*, y reconociendo la definición de potencia instantánea tomada de una fuente y suministrada a un dispositivo es:

$$P \cong e * i \text{ [W]}$$

**e:** voltaje instantáneo a lo largo del dispositivo. [V]

**i:** corriente instantánea a través del dispositivo. [A]

Si el signo algebraico de  $P$  es negativo, el dispositivo está *regresando* potencia a la fuente. La energía neta “agotada” por el dispositivo a lo largo de algún intervalo de tiempo es la integral de la potencia instantánea sobre ese intervalo.

La medición (empleando el vatímetro) de potencia en corriente alterna y de la energía suministrada a las casas se usa para calcular la cuenta de consumo. La medición de la potencia se usa también para otros propósitos.

### 6.3.1 Medición de Potencia en Sistemas Eléctricos

Desde el punto de vista de la ingeniería eléctrica es importante conocer la cantidad de energía suministrada por unidad de tiempo (Potencia) a una carga, la cual puede ser un equipo individual, una instalación industrial, comercial, de una casa o habitación, etc., los cuales generalmente se les alimenta con voltaje de corriente alterna de una frecuencia de 60 Hz.

Existen métodos para la medición de potencia de cargas monofásicas, trifásicas equilibradas o desequilibradas, con alimentación de voltajes de corriente directa o corriente alterna. Estos métodos pueden ser directos o indirectos.

### 6.3.2 Sistema Monofásico

En un sistema monofásico, con una carga inductiva y resistiva los valores de tensión y de corriente están dados respectivamente por:

$$V = |V_{\theta}| \angle \theta + \Phi \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$I = |I_{\theta}| \angle \theta \quad (\text{Ecuación 20})$$

Y la potencia compleja  $S$ , potencia activa más potencia reactiva del sistema se encuentra dado por la expresión:

$$S = V * I^* = |V| \cdot |I| \angle \theta$$

$$S = |V| \cdot |I| \cdot \cos(\theta) + j \cdot |V| \cdot |I| \cdot \sin(\theta) \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$S = \vec{P} + j\vec{Q}$$

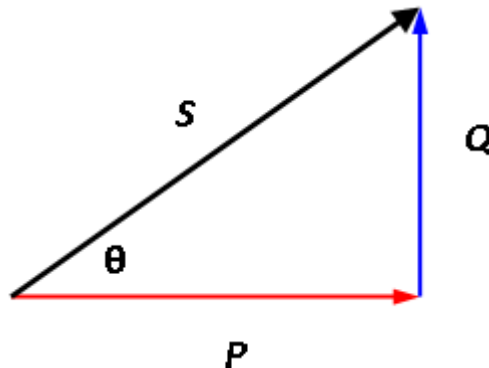
**P:** Potencia Activa [W]

**Q:** Potencia Reactiva [VAR]

**S:** Potencia Aparente [VA]

A continuación se representa en un diagrama la distribución vectorial de las potencias que están dadas en los sistemas eléctricos.

**Figura 52. Triángulo de Potencias de un Circuito RL**



Fuente: Diseño Autor

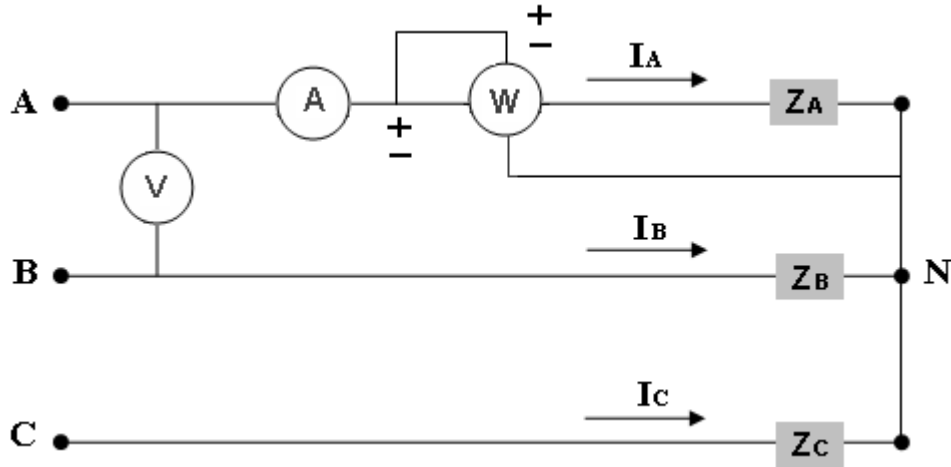
### 6.3.3 Sistema Trifásico

Debido a sus particulares características, el sistema trifásico es el más difundido para el suministro de energía eléctrica; en el que la energía por unidad de tiempo total cedida, potencia total, es igual a la suma de las potencias en cada una de las cargas de cada fase.



$$S_{3\theta} = S_{\theta A} + S_{\theta B} + S_{\theta C} \quad (\text{Ecuación 22})$$

**Figura 53. Medición de Potencia de un Sistema Trifásico en Equilibrio**



Fuente: Diseño Autor

Para el circuito de la Figura 53 se tiene la siguiente expresión:

$$S_{3\theta} = V_{AN}I_A^* + V_{BN}I_B^* + V_{CN}I_C^* \quad (\text{Ecuación 23})$$

Si  $Z_A = Z_B = Z_C$ ; entonces:  $|I_A| + |I_B| + |I_C| = |I_L|$  y  $\Phi_A = \Phi_B = \Phi_C = \Phi$  y la potencia compleja total es, sustituyendo las anteriores ecuaciones en la ecuación (23) se obtiene la siguiente expresión:

$$S_{3\theta} = |V_{AN}| \cdot |I_A| \angle \theta + |V_{BN}| \cdot |I_B| \angle \theta + |V_{CN}| \cdot |I_C| \angle \theta \quad (\text{Ecuación 24})$$

Dado que:

$$|V_{AN}| = |V_{BN}| = |V_{CN}| = |V_F| = \frac{|V_L|}{\sqrt{3}}$$

Se tiene que:

$$S_{3\theta} = 3 \cdot |V_F| \cdot |I_L| \angle \theta$$

$$S_{3\theta} = \sqrt{3} \cdot |V_L| \cdot |I_L| \angle \theta [\text{VA}]$$

(Ecuación 25)

Donde la potencia activa y reactiva son respectivamente:

$$P_{3\theta} = \sqrt{3} \cdot |V_L| \cdot |I_L| \cdot \text{Cos} \theta [\text{W}]$$

(Ecuación 26)

$$Q_{3\theta} = \sqrt{3} \cdot |V_L| \cdot |I_L| \cdot \text{Sen} \theta [\text{VAR}]$$

(Ecuación 27)

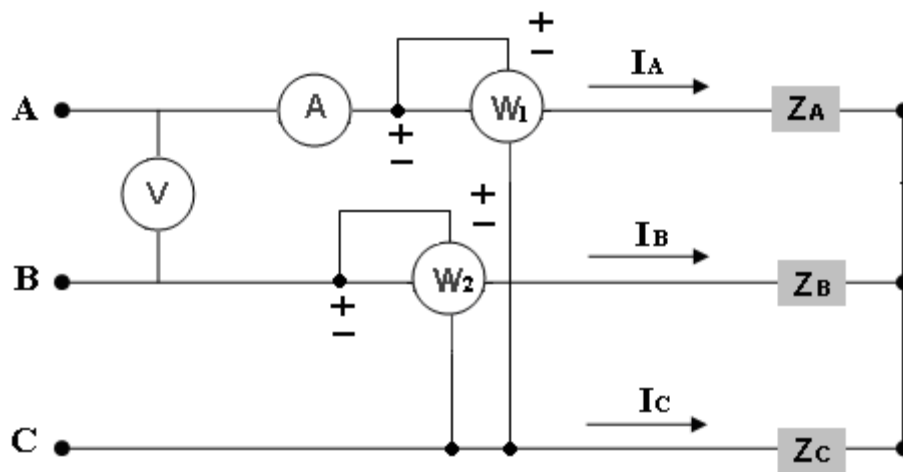
De lo anterior puede concluirse que para medir potencia total de un sistema trifásico balanceado conectado en estrella puede utilizarse el esquema de la Figura 54, entonces:  $P_{3\theta} = 3$  veces la lectura del *vatímetro*. Donde la lectura del *vatímetro* es proporcional al producto de la corriente que fluye en su bobina de corriente por el voltaje de su bobina de tensión y por el coseno del desfase entre el voltaje y la corriente.

El método anterior tiene la desventaja de que necesariamente se debe tener acceso al punto neutro,  $N$ , lo que no siempre es posible, por ejemplo en una carga en delta.

### ***Método de los dos Vatímetros***

Este método es el que se emplea comúnmente para medir la potencia en sistemas trifásicos. La restricción del método es que la suma de corrientes debe ser cero; lo cual se logra cuando el neutro de la carga se encuentra desconectado del neutro del sistema de suministro, para una conexión en estrella, o que las cargas estén balanceadas, para una conexión delta y/o estrella, lo que generalmente ocurre en plantas y fábricas.

**Figura 54. Método de los Dos Vatímetros para Medir Potencia de un Sistema Trifásico**



Fuente: Diseño Autor

Por lo tanto si:

$$I_A + I_B + I_C = 0 \quad (\text{Ecuación 28})$$

Sustituyendo la expresión de la ecuación 28 en la ecuación 23:

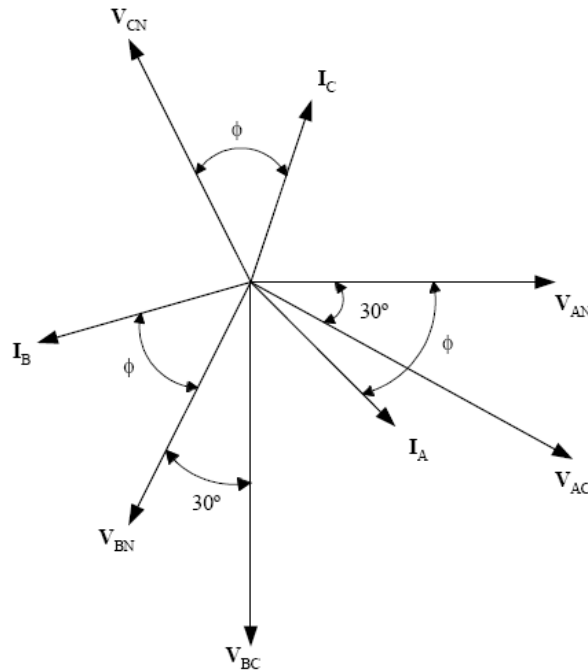
$$\begin{aligned} S_{3\theta} &= V_{AN} I_A^* + V_{BN} I_B^* + V_{CN} I_C^* \\ S_{3\theta} &= V_{AN} I_A^* + V_{BN} I_B^* + V_{CN} (-I_A^* - I_B^*) \\ S_{3\theta} &= (V_{AN} - V_{CN}) I_A^* + (V_{BN} - V_{CN}) I_B^* \end{aligned}$$

$$S_{3\theta} = V_{AC}I_A^* + V_{BC}I_B^* \quad (\text{Ecuación 29})$$

La anterior expresión (Ecuación 29) es congruente con el esquema de la Figura 54. Ya que la bobina de tensión  $W_1$ , está conectada a la tensión entre las fases A y C, y la bobina de tensión  $W_2$ , está conectada a la tensión entre las fases B y C, y a través de las bobinas de corriente de  $W_1$  y  $W_2$  circulan corrientes de la fase A,  $I_A$  y de la fase B,  $I_B$ , respectivamente.

Para una carga inductiva y resistiva balanceada el diagrama fasorial correspondiente se muestra en la Figura 55:

**Figura 55. Diagrama Fasorial de una Carga Inductiva y Resistiva Trifásica Balanceada**



Fuente: Diseño Autor

Respecto a la Figura 55, y considerando que  $|I_A| + |I_B| + |I_C| = |I_L|$  y  $|V_{AB}| = |V_{BC}| = |V_{CA}| = |V_L|$ , las potencias indicadas por cada vatímetro son:

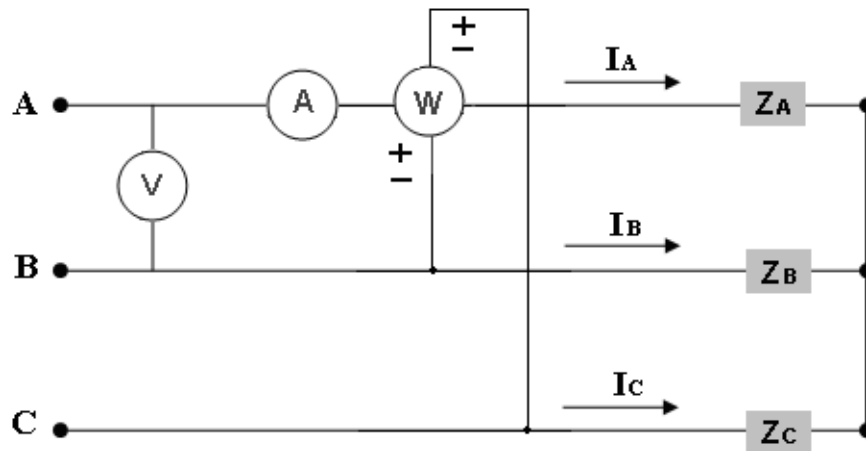
$$\begin{aligned} P_{W1} &= |V_L| \cdot |I_L| \cdot \cos(\theta - \pi/6) [W] \\ P_{W2} &= |V_L| \cdot |I_L| \cdot \cos(\theta + \pi/6) [W] \end{aligned} \quad \text{(Ecuación 29)}$$

Una vez que se efectúan las mediciones, las lecturas indicadas por los vatímetros se dividen por el producto  $|V_L| |I_L|$  y se determina  $\Phi$ . En el caso que

$\Phi > 60^\circ$ , uno de los vatímetros marque en sentido contrario, por lo que es necesario invertir la polaridad de su bobina de tensión y considerar su valor negativo para sumarlo algebraicamente con el valor marcado por otro vatímetro.

La potencia reactiva en el sistema trifásico es  $Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot |V_L| \cdot |I_L| \text{Sen}\theta [VAR]$ . Por lo que cuando la carga es reactiva para un vatímetro marcará cero ( $\Phi = 90^\circ$ ). Sin embargo, es posible medir la potencia reactiva por medio de este instrumento al efectuar un desfase de  $90^\circ$  entre el flujo de la bobina de tensión y el flujo de la bobina de la corriente. En los sistemas trifásicos, se puede obtener ese desfase conectando la bobina de corriente a una fase y la bobina de tensión entre las fases restantes (ver Figura 56).

**Figura 56. Conexión del Vatímetro para Medir Potencia Reactiva en un Sistema Trifásico**



Fuente: Diseño Autor

El valor indicado será  $P_w = |V_L| \cdot |I_L| \cdot \cos(90^\circ - \phi) = |V_L| \cdot |I_L| \cdot \sin(\phi) [W]$ .

#### 6.4 IMPORTANCIA DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS MEDIDOS

Básicamente los principales conceptos, y de mayor consideración, al momento de generar las facturas que demuestran el consumo de energía eléctrica son la demanda máxima, la energía consumida y el factor de potencia. Las cuentas por concepto de la demanda se establecen en los costos de generación de la energía eléctrica, de la transmisión y la distribución de la misma, teniendo en cuenta los medios disponibles para tal derivación. Dentro de este contexto se pueden incluir los cargos útiles de la inversión, incluyendo intereses, impuestos, amortizaciones, etc.

En cuestión de cargos por concepto de energía, se pueden llegar a comprender los gastos de combustible, mantenimiento y gastos concernientes con la operación.

Para deducir el valor total a pagar por el consumo de potencia activa naturalmente se efectúa la multiplicación del valor de Kwh. por el consumo. Este resultado está libre de gravámenes por alumbrado público y de todo tipo de subsidio por estrato. La estructura de las tarifas por consumo de energía eléctrica se fundamenta también en los costos de suministro a los usuarios, por lo que se ha tenido en cuenta las diferencias regionales, horarios de consumo, nivel de tensión de suministro y la demanda.

## 7 SOFTWARE DE MATLAB

### 7.1 GENERALIDADES DE MATLAB

El calificativo de **MATLAB**<sup>®</sup> procede de la contracción de los términos **MATrix** **LABoratory** y fue creado para el fácil acceso a las librerías que son de gran importancia en el área de la computación y el cálculo matricial.

MATLAB es un entorno de computación y desarrollo de aplicaciones totalmente integrado, orientado para el desarrollo de proyectos con elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de estos. MATLAB integra análisis numérico, cálculo matricial, procesado de señal, todo ello en un entorno fácil para el usuario.

Tanto en el ambiente académico como el industrial, MATLAB se ha convertido en una herramienta básica para la resolución de complejos problemas matemáticos en diferentes áreas como la computación, el cálculo numérico, prototipos de algoritmos, teoría de control automático, estadística, etc.

MATLAB consta de diferentes aplicaciones o *toolboxes* especializados orientados a ingenieros, científicos y todo tipo de profesionales técnicos. Entre ellos destacan: Sistemas de Control, Adquisición de Datos, Tiempo Real, Lógica *Fuzzy*,



Procesamiento de Imágenes, Redes Neuronales, Optimización, Procesamiento de Señal, etc.<sup>1</sup>

El software MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, *Simulink* (plataforma de simulación multidominio) y *GUIDE* (editor de interfaces de usuario - GUI).

## 7.2 HERRAMIENTA GUIDE

Para el desarrollo interactivo de la aplicación se cuenta con la herramienta de MATLAB llamada *GUIDE* (*Graphical Use Interface Development Environment*). Esta herramienta está creada para desarrollar GUIs (*Graphical User Interfaces*) de manera fácil y rápidamente haciendo sencillo el diseño y presentación de los controles de la interfaz, reduciendo el trabajo en el momento de seleccionar, deshacer, arrastrar y centrar controles, así como la personalización de las propiedades de estos.

El asunto a seguir para el tratamiento de un programa mediante *GUIDE* es que una vez se tienen todas las funciones y controles en lugar, se editan las rutinas de llamada (*Callback*) de cada uno de ellos, escribiendo el código de MATLAB que se ejecutará cuando sea necesario de utilizar. *GUIDE* está diseñado para realizar con menor dificultad el proceso de desarrollo de interfaz gráfica, para ello cuenta con un editor de propiedades (*property editor*) con el que podrá modificar en cualquier momento los nombres, valores por defecto y las propiedades de los elementos.

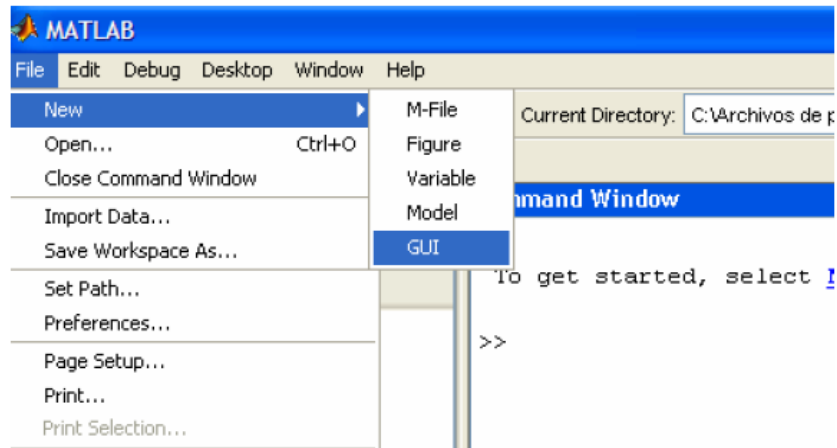
Para acceder a la herramienta *GUIDE* se tienen las siguientes maneras:

- Tecleando el comando `>>guide` desde el *prompt* de MATLAB
- A través del *Launch Pad*
- Llevando el puntero a *File -> New -> GUI* dentro del menú de MATLAB

---

<sup>1</sup> [http://www.mathworks.com/academia/student\\_version/details.html](http://www.mathworks.com/academia/student_version/details.html)

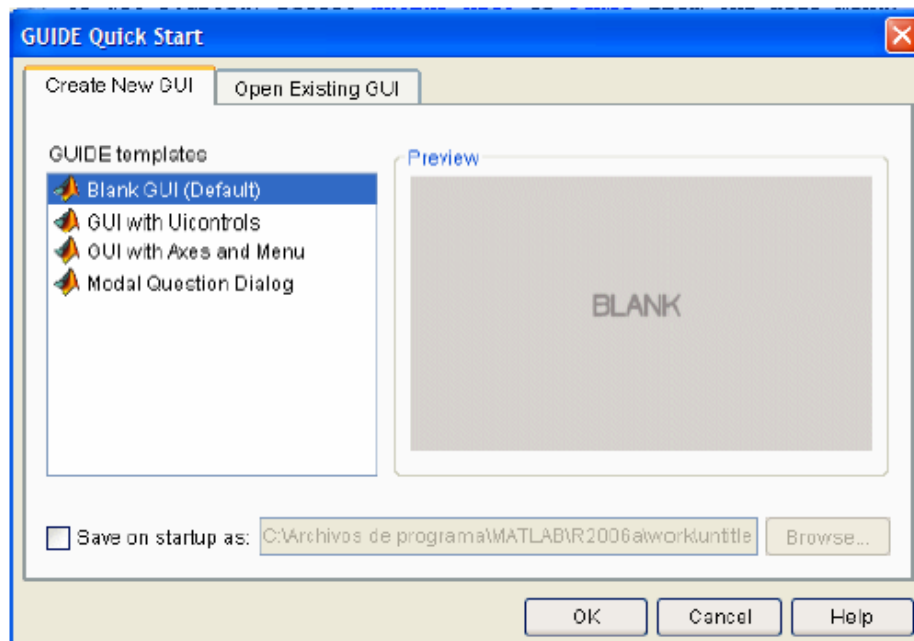
**Figura 57. Inicio de la Aplicación GUIDE**



Fuente: Diseño Autor

Una vez se inicie la aplicación aparece la siguiente interfaz, que se puede ver en la Figura 58., luego se asumirá si se desea realizar una nueva aplicación o bien abrir una existente. En el lugar que se cree una nueva aplicación se puede iniciar a partir de aplicaciones prediseñadas, como por ejemplo: con controles, con pantallas para gráficos y menú, o un cuadro de diálogo.

**Figura 58. Menú de la Herramienta GUIDE**



Fuente:

Si se comienza con un diseño en blanco, se tiene la opción de acceder a los diferentes controles precisos para el desarrollo de la interfaz. Las correspondencias de los botones se han ordenado en la Tabla 17 a modo de resumen con un breve extracto de su utilización.

**Tabla 17. Explicación Resumida de las Herramientas de Inicio de GUIDE**

Item	Tag	Detalles
1	Select	Selección de un objeto
2	Push Button	Botón
3	Slider	Barra de desplazamiento
4	Radio Button	Botón de selección circular
5	Check Box	Botón de selección tipo lista
6	Edit Box	Casilla de edición
7	Static Text	Casilla de texto fijo
8	Pop-up menu	Menú desplegable
9	List Box	Menú en lista
10	Toggle Button	Botón con memoria
11	Axes	Pantalla para visualización de gráficos
12	Panel	Opción para generar un panel
13	Button Group	Opción para agrupar botones
14	Activex Control	Opción para generar controles ActiveX
15	Align objects	Opción para alinear objetos
16	Menu Editor	Editor de opciones de menú
17	Tab order Editor	Opción para cambiar el orden de las ventanas en el editor
18	M-file Editor	Editor de los ficheros .m
19	Property inspector	Editor propiedades de los controles
20	Object Browser	Buscador de Objetos
21	Run	Botón de compilación

Fuente: Memoria Técnica. Sistemas de control de motores en tiempo real

Al crear una GUI se generan dos ficheros:

- Un archivo con extensión .FIG, que es el que contiene los elementos gráficos así como las propiedades de la interfaz.
- Un archivo .M que es el contenedor del código con las esquelas de los botones de control de la interfaz. Cada vez que se introduzca un elemento gráfico en el .FIG se generará unas líneas de programa automáticamente asociadas a ese tipo de control. Estas líneas de programa son vacías, es

decir, que requieren ser llenadas para llevar a cabo alguna acción durante su ejecución. Esta función es la *callback* mencionado anteriormente.

### 7.2.1 Identificadores (*Handles*)

Cada uno de los objetos de MATLAB tiene un identificador único a los que les llamara *andel* o *id*. Algunos gráficos tienen muchos objetos, en cuyo caso tienen múltiples *handles*, el objeto raíz (pantalla) es siempre único y su identificador siempre es cero. El identificador de las ventanas siempre es un entero que aparece en la barra de nombre de dicha ventana. Los identificadores de otros elementos son números tipo *float*.

En MATLAB puede haber variedad de ventanas abiertas pero solo una está activa. Cada una de estas ventanas puede tener ejes abiertos, pero solo se dibuja en los ejes activos. Los identificadores de la ventana activa, de los ejes activos y del objeto activo se pueden obtener con los siguientes comandos:

- *gcf (get current figure)*: devuelve el entero que es el *handle* de la ventana activa.
- *gca (get current axis)*: devuelve *handle* de los ejes activos.
- *gco (get current object)*: devuelve *handle* del objeto activo.
- *delete handle*: borra el objeto correspondiente y todas sus cualidades.

## 8 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Nuestro sistema de adquisición de datos permite capturar señales eléctricas reales presentes en los motores AC y DC y posteriormente permite concebir el análisis de los parámetros inherentes a los mismos. Este sistema se encuentra compuesto en dos partes elementales: la primera es el *hardware* que consta de un módulo o tarjeta de adquisición de datos, y un ordenador (PC) que emplee sistema operativo Windows XP o Vista; la segunda parte fundamental es el *software* que en su mayor parte se encuentra desarrollado por el programa MATLAB. v.7.4.0.287 (R2007a)

### 8.1 ENTORNO DEL HARDWARE

El conjunto del *hardware* que conforma el módulo de adquisición de datos se puede separar en cuatro subsistemas elementales:

- Entradas
- Tarjeta y/o Placa de Adquisición de Datos
- Salida y/o *hardware* de transmisión de datos
- PC

#### 8.1.1 Entradas

Las entradas del módulo se encuentran ubicadas en la parte exterior del equipo elaborado. Su distribución fue determinada de tal manera que el usuario identificara fácilmente las partes correspondientes para la puesta en funcionamiento del mismo. Están constituidas por doce (12) borneras, aberturas de la fuente de alimentación y de conexión a mini-puerto USB para la comunicación UART (RS-232). Estas partes se encuentran mejor detalladas en el manual del módulo, al final de este documento. (Ver anexo 1).

**Figura 59. Módulo Final del Sistema de Adquisición de Señales Eléctricas**



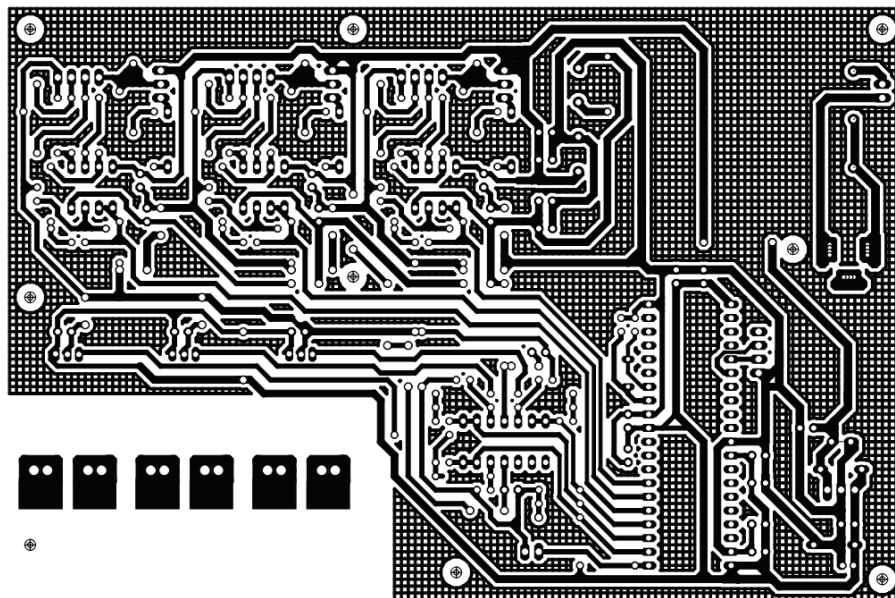
Fuente: Diseño Autor

### 8.1.2 Tarjeta y/o Placa de Adquisición de Datos

En el diseño de la *PCB* del módulo se asumieron diferentes aspectos que fueron necesarios en su momento para desarrollar un sistema de este tipo, dentro de estos aspectos se encuentra el apantallamiento estático del circuito, las distancias mínimas entre los elementos finales del circuito, el ancho de las pistas, entre otros.

En la cara inferior de la *PCB* del módulo se implementó un apantallamiento con el objetivo de reducir el ruido del sistema, además esto contribuyó para obtener un diseño más sencillo de la *PCB*. Otro de los aspectos preparados en esta parte del módulo es la disposición estratégica de los componentes, esto con el objeto de brindar mayor eficiencia en el funcionamiento del módulo respecto a aspectos ambientales como la temperatura, humedad, y efectos eléctricos como la estática e interferencias en las señales.

**Figura 60. Vista Inferior del PCB del Módulo.**

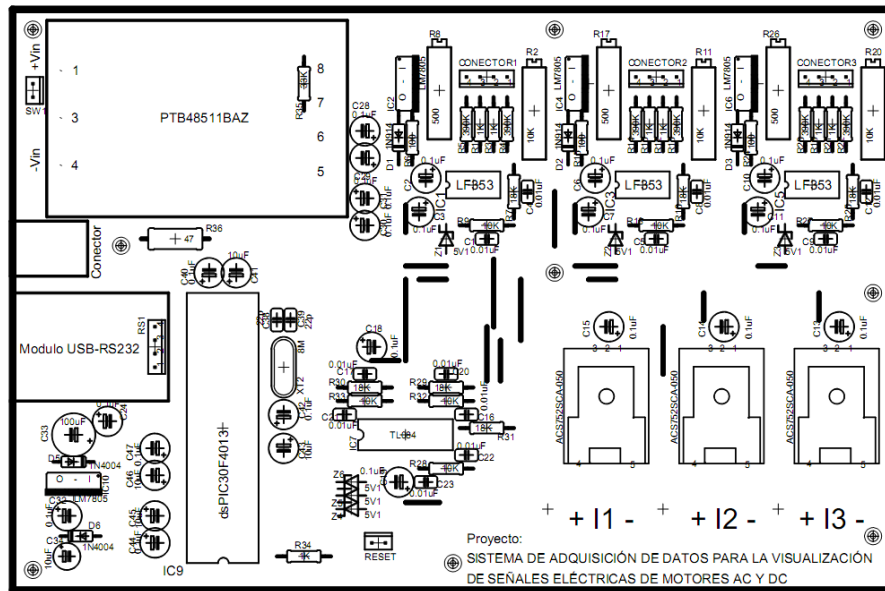


Fuente: Diseño Autor

En la cara superior de la *PCB* del módulo se dispuso la orientación de cada uno de los componentes, la información correspondiente de cada elemento para cualquier cambio o reposición futura y que fuese necesario implementar, además de información detallada sobre las conexiones del sistema.



Figura 61. PCB. Módulo Vista Superior



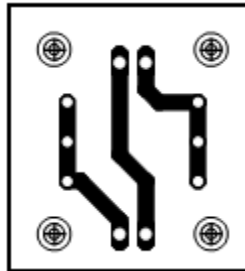
Fuente: Diseño Autor

En el sistema de adquisición de datos es requerida la obtención de dos variables físicas, que son para el presente proyecto de significativa importancia, la corriente y el voltaje, para los cuales se emplearon las sondas de corriente PI350 y la ACS752-SCA050 cuyos fabricantes son F.W.Bell y Allegro MicroSystems respectivamente.

Ya que los sensores empleados están diseñados para medir la variable física de corriente a través del Efecto Hall, se requería para el parámetro de voltaje un transductor de voltaje a corriente, para el cual fue necesario implementar dicho transductor en la sonda PI350, este transductor consta básicamente de una resistencia, de alto valor en ohmios, conectada en paralelo con la carga.

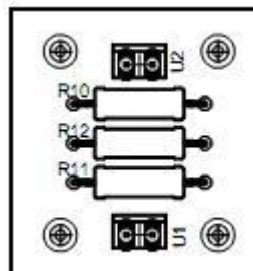
A continuación (ver Figuras 62 y 63) se muestra la disposición realizada de las resistencias implementadas en la sondas de voltaje.

**Figura 62. Vista inferior PCB Sonda Voltaje**



Fuente: Diseño Autor

**Figura 63. Vista superior PCB sonda voltaje**



Fuente: Diseño Autor

### 8.1.3 Sensores y Hardware de Acondicionamiento de las Señales

Para la adquisición de las señales de voltaje y corriente, se emplearon dos tipos de sondas basadas en el Efecto Hall. A continuación se describe con mayor detalle las características de cada sensor de corriente y su respectivo circuito y/o sistema de acondicionamiento.

## Sonda PI350

El sensor PI350<sup>1</sup> creado por *F.W.Bell* está basado en el Efecto Hall, este tipo de sonda mide con precisión las corrientes AC y DC, y proporcionan un aislamiento eléctrico entre la salida del sensor y el conductor de corriente. Sus principales características son su alta precisión, amplia gama de frecuencias, excelente linealidad y su particular diseño de aislamiento de seguridad.

**Figura 64. Sonda PI350<sup>2</sup>**



Fuente: Hoja de Datos Sonda PI350

---

<sup>1</sup> [http://www.sypris.com/filemanager/library/PI-350\\_600%20datasheet.pdf](http://www.sypris.com/filemanager/library/PI-350_600%20datasheet.pdf)

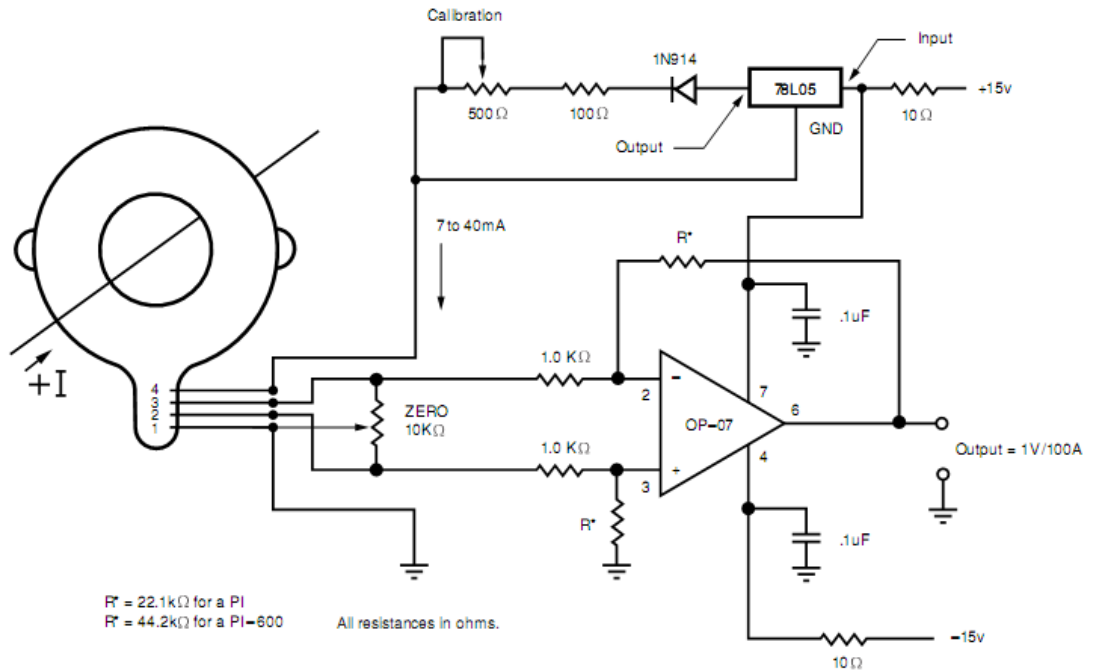
<sup>2</sup> ANEXO B (1)

**Tabla 18. Especificaciones Técnicas de la Sonda PI350**

<b>Especificaciones</b>	
Corriente máxima	350 A
Tiempo de respuesta	50 $\mu$ s
Máxima corriente de excitación	40mA
Sensibilidad	0.5 mV/A
Impedancia de entrada	30 a 120 $\Omega$
Rango de frecuencias	0 a 1kHz
Carga mínima	10k $\Omega$
Diámetro interno	20.4mm
Diámetro externo	46mm

Esta sonda necesita un circuito de acondicionamiento específico, dado que su respuesta está contenida en un rango de valores que van desde 0 a 175[mV], además posee dos linealidades de funcionamiento, la primera linealidad responde las entradas de 0 a 100[A] y la segunda de 100 a 350[A], para el tratamiento de esta señal el fabricante ofrece un circuito de acondicionamiento el cual es modificable (ver Figura 65).

**Figura 65. Circuito de Acondicionamiento Sonda PI350**



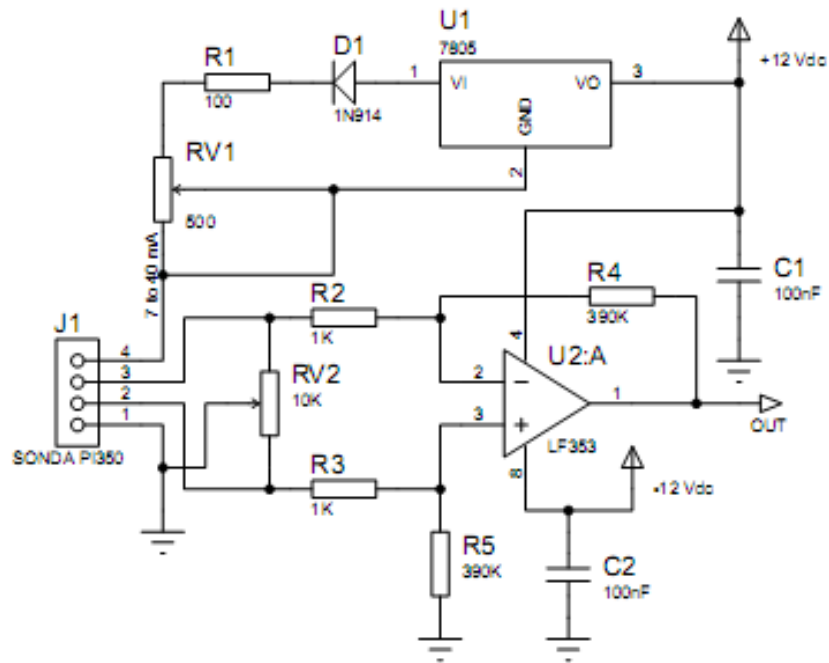
Fuente: Hoja de Datos Sonda PI350

**Tabla 19. Descripción de Pines Eléctricos de la Sonda PI350**

Pin	Nombre
1	$-I_C$ Entrada Negativa de la Corriente de Control
2	$+V_H$ Voltaje Positivo de Salida
3	$-V_H$ Voltaje Negativo de Salida
4	$+I_C$ Entrada Positiva de la Corriente de Control

Una vez modificado, el circuito implementado es el mostrado en la figura 66.

**Figura 66. Circuito de Acondicionamiento Aplicado en el Módulo para la Sonda PI350**



Fuente: Diseño Autor

Este circuito brinda una señal de salida que está comprendida entre los valores de 0 a 5[V<sub>DC</sub>], que es obtenida gracias a la ganancia del sistema. Además con la resistencia variable RV2 se puede ajustar el nivel de *offset* de la señal de salida. Para el correcto funcionamiento de la sonda PI350 fue necesario implementar una excitación de corriente que es suministrada a través del circuito formado por los componentes U1, D1, R1 y RV1; este último es la encargada de establecer la corriente que pasa a través del circuito de excitación de la sonda.

Una característica también importante es la implementación de amplificadores operacionales de entrada *JFET* (*Junction Field-Effect Transistor, Transistor de Efecto-Campo de Unión*), los cuales no presentan carga alguna a la señal de salida del sensor.

El objetivo de esta sonda es la medición de voltajes del sistema a evaluar, y como se indicó anteriormente este tipo de sondas solo responden a cambios de corriente, por lo tanto fue necesario usar un transductor de voltaje a corriente.

El transductor implementado fue a través de una resistencia de alto valor en ohmios y ésta no representó una carga al sistema a evaluar, con esto se logró que la corriente tomada del circuito fuera lo más pequeña posible, del orden de los miliamperios particularmente. Dado que el valor de esta corriente es bajo, a fin de ser utilizada directamente por la sonda, fue necesario implementar una técnica apropiada con el propósito de que la sonda censara la misma corriente varias veces y de esta forma multiplicar el valor original tomado del sistema. Esta técnica se estableció en atravesar el conductor de corriente varias veces por la sonda, y con esto se consiguió que la sonda leyera el valor de la corriente original multiplicada por el número de veces que el conductor atravesó la sonda.

Esta estrategia está basada en el principio del transformador, la cual indica de la variación de la intensidad y sentido de la corriente, creando un campo magnético variable y generando una f.e.m. (fuerza electro motriz) en los extremos del devanado secundario.

Se sabe que la corriente máxima tomada del sistema es igual al máximo voltaje medido, dividido entre la resistencia implementada:

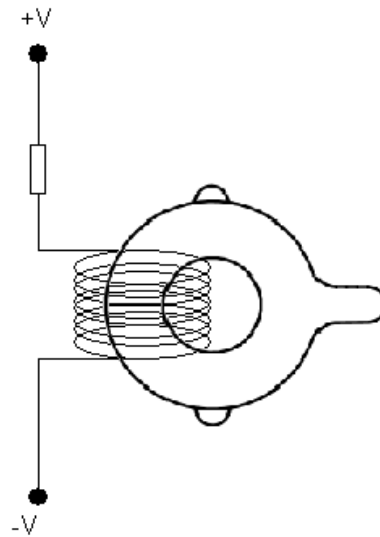
$$I_{m\acute{a}x} = \frac{V_p}{R} = \frac{220V * \sqrt{2}}{47k\Omega}$$

$$I_{m\acute{a}x} = 6,61[mA]$$

Con esta corriente se obtiene que la potencia máxima disipada por la resistencia sea de 2[W], lo cual implica que este valor sea despreciable en nuestro sistema de medidas.

Para un buen funcionamiento de la sonda PI350 fue necesario dar novecientas vueltas, con alambre esmaltado calibre 32, alrededor de la misma, logrando que la sonda trabaje dentro de un rango de lectura de 0 a 6 Amperios y no repercuta en un desfase significativo de la señal medida. A pesar de esto, el desfase generado es compensado posteriormente en el código de programación creado para el auto-ajuste de señales.

**Figura 67. Circuito Implementado con la Sonda PI350**



Fuente: Diseño Autor



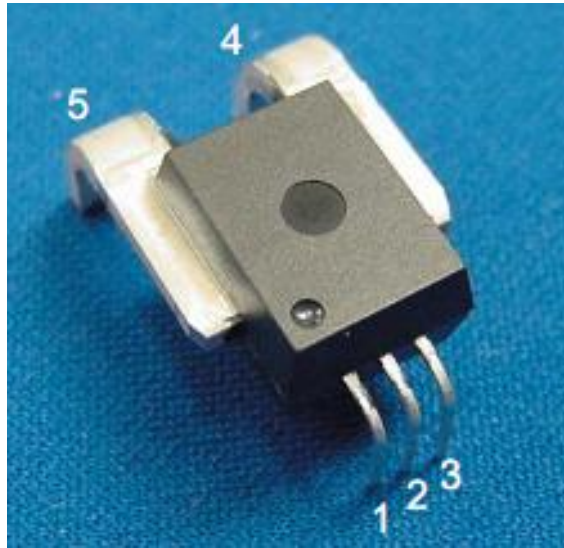
### **Sonda ACS752-SCA050**

Este sensor se compone de un circuito lineal de precisión, que está optimizado con un circuito magnético interno para aumentar la sensibilidad de dispositivo. El elemento principal de medida es el sensor basado en el Efecto Hall, que se encuentra internamente en el dispositivo.

La conexión de este sensor es igual a la de un amperímetro. De tal forma que la corriente traspasa el dispositivo a través de dos pines en los cuales la pérdida es extremadamente baja.

Los terminales de entrada están eléctricamente aislados de los pines de salida de información. Esto permite que este tipo de sensores pueda utilizarse en aplicaciones que requieren aislamiento eléctrico, sin usar opto aisladores.

**Figura 68. Sonda ACS752-SCA050**



Pin 1:  $V_{CC}$       Terminal 4:  $I_{p+}$   
 Pin 2: Gnd          Terminal 5:  $I_{p-}$   
 Pin 3: Output

Fuente: Hoja de Datos Sonda ACS752-SCA050

Entre sus características principales están la implementación de un circuito de Efecto Hall de alta confiabilidad, que solo son necesarios 5 Voltios para su funcionamiento además de un aislamiento de alta tensión y un tamaño pequeño.

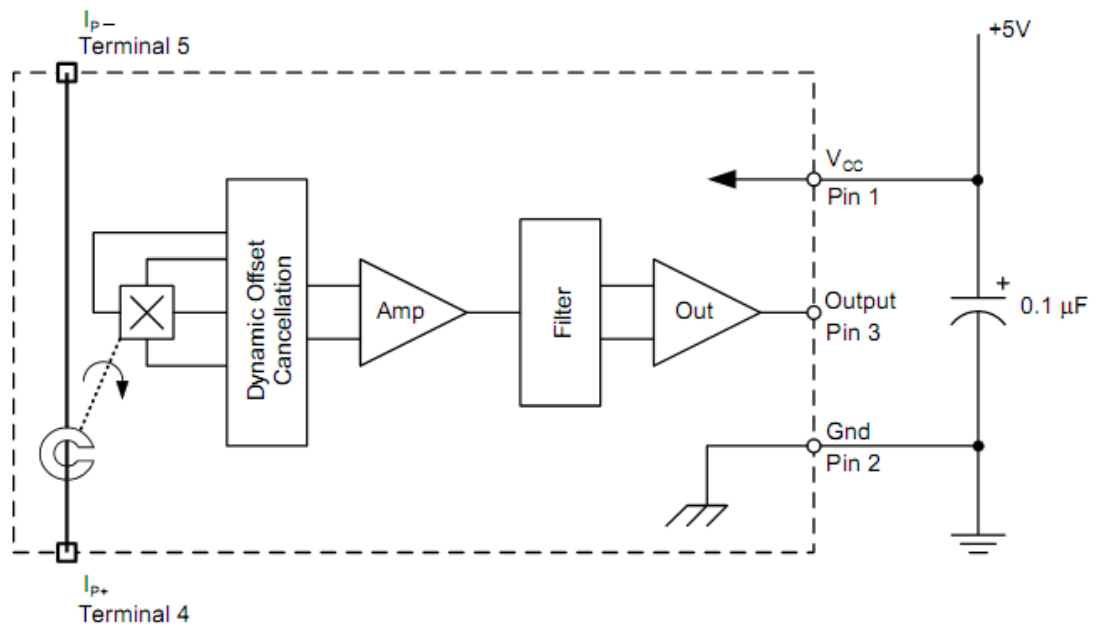
**Tabla 20. Especificaciones Técnicas de la Sonda ACS752-SCA050**

Especificaciones	
Corriente máxima	50 A
Tiempo de respuesta	8 $\mu$ s
Máxima corriente de excitación	10mA
Sensibilidad	40 mV/A
Rango de frecuencias	0 a 50kHz
Voltaje de operación	Hasta 16 V
Corriente de salida	3 mA

Temperatura de funcionamiento	-20 a 85°C
-------------------------------	------------

El acondicionamiento de esta sonda no es necesario, ya que internamente este dispositivo cuenta con esta etapa. En la Figura 69 puede verse los bloques de acondicionamiento de la señal.

**Figura 69. Circuito Interno de Acondicionamiento Sonda ACS752-SCA050**



Fuente: Hoja de Datos Sonda ACS752-SCA050

#### 8.1.4 Filtrado

Una etapa importante desarrollada en el sistema fue el filtrado, ya que como nuestro medio implementa un muestreo, era importante garantizar que el sistema estuviera blindado contra el efecto de *aliasing*, para esto se implemento un filtro pasa-bajo de la familia *Butterworth*, dado que es uno de los mejores para esta tarea por sus prestaciones en la banda de paso y en la banda de atenuación.

El filtro implementado fue diseñado con una frecuencia de corte ( $f_c$ ) de 1,25kHz porque el sistema de muestreo funciona con una frecuencia de 3 kHz y es necesario cumplir con el Teorema de Nyquist. Además se determinó que el orden del filtro no debería ser alto, dado que a mayor orden se produce un desfase de la señal real, por tanto el orden escogido fue de dos ( $n=2$ ). Para el cálculo de cada

uno de los componentes del filtro se uso las tablas de la familia respectiva y el orden seleccionado, dichas tablas se encuentran disponibles en el libro de *Williams, Arthur B. "Amplificadores Operacionales. Teoría y Aplicaciones" Editorial McGraw-Hill, 1988. Capitulo 3.*

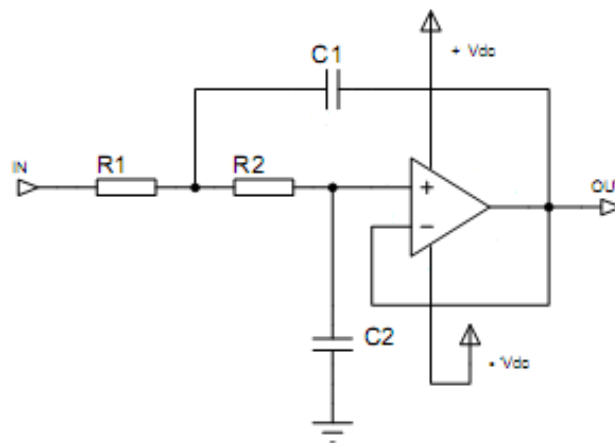
Los cálculos respectivos se presentan a continuación.

Teniendo en cuenta el orden del filtro  $n=2$  se buscó en la tabla de valores de los componentes de los filtros activos *Butterworth* pasa bajos obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 21. Valores de los Componentes de los Filtros Activos Butterworth Pasa-Bajos**

Orden (n)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
2	1.414	0.7071

**Figura 70. Circuito de un Filtro Pasa Bajos**



Fuente: Diseño Autor

Obtenidos los datos preliminares se procedió a calcular los valores reales de los componentes a usar, dado que los valores anteriores están normalizados el circuito general del filtro se puede ver en la Figura 70. El procesamiento de datos para obtener los valores de los componentes se calculó de la siguiente manera:

Primero se debe emplear la ecuación 30, teniendo en cuenta los valores de la tabla, la frecuencia de corte y el valor de una resistencia comercial

Fórmula para el cálculo de los valores reales del filtro:

$$C_{real} = \frac{C_{tabla}}{2\pi * fc * R_{real}} \quad \text{(Ecuación 30)}$$

Se tomo como  $R_1=18k\Omega$ ,  $R_2=10k\Omega$  y  $fc= 1250$  Hz

$$C_1 = \frac{1.414}{2 * \pi * 1250 * 18000} = 10.002 * 10^{-9} F$$

$$C_2 = \frac{0.7071}{2 * \pi * 1250 * 10000} = 9.003 * 10^{-9} F$$

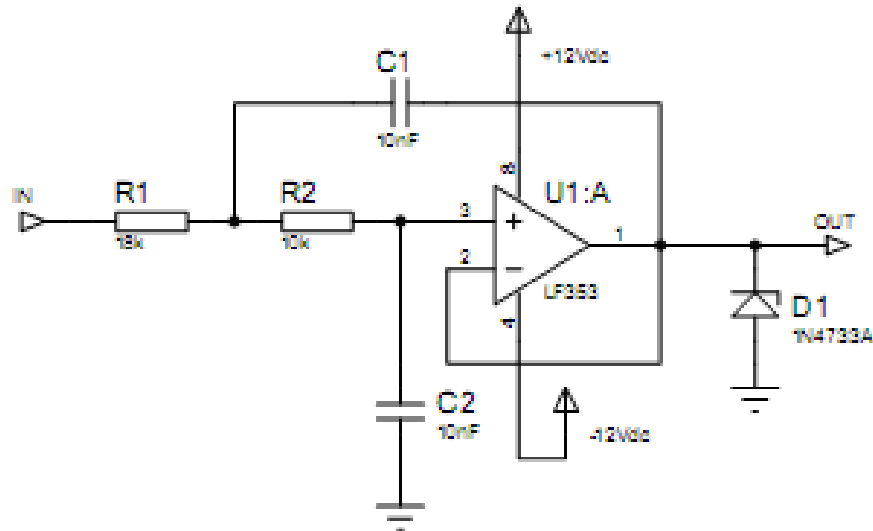
Finalmente los componentes usados son:

**Tabla 22. Valores del los Componentes Reales**

Componente	Valor
$C_1$	10nF
$C_2$	10nF
$R_1$	18k $\Omega$
$R_2$	10k $\Omega$

La implementación del diodo zener (D1) (ver Figura 71) tiene la finalidad de efectuar una protección al sistema de muestreo, ya que si este elemento detecta un valor de voltaje mayor a su voltaje de zener solo deja pasar este último.

**Figura 71. Filtro Pasa Bajo Butterworth n=2**



Fuente: Diseño Autor

Otra función importante de los circuitos de acondicionamiento y de filtrado, es la de enriquecer en corriente la señal de información, para que esta pueda satisfacer las especificaciones del convertidor análogo a digital.

### 8.1.5 Hardware de Muestreo y Conversión de Datos

En esta etapa del circuito se implementó el módulo CAD del dsPIC30F4013, el cual es un convertidor análogo a digital de 12 bits funcionando a 18000 muestras por segundo en todo el sistema, en otras palabras 3000 muestras por canal en un

sistema de 6 canales de entrada. Para lograr esto fue necesaria la configuración de los diversos registros en el microcontrolador, descritos a continuación:

➤ **Configuración del los registros del módulo A/D de 12 bits.**

**Tabla 23. Configuración del Registro ADCON1**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
ADCON1	0X00E4	0000000011100100

Con esta configuración se logró que el módulo trabajara durante el modo IDLE, con un formato de salida entero (0000 dddd dddd dddd), la realización de auto-conversión una vez tomada la muestra obedece al sistema.

**Tabla 24. Configuración del Registro ADCON2**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
ADCON2	0X0401	0000010000000001

Esta configuración establece que el módulo A/D trabaje con voltajes de referencia de  $AV_{DD}$  y  $AV_{SS}$ , además de realizar un escáner de las entradas, así como alternar entre los mezcladores del módulo para la captura de las muestras.

**Tabla 25. Configuración del Registro ADCON3**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
ADCON3	0X0F2B	0000111100101011

Configura el módulo A/D funcionando con el reloj interno del sistema, además se establece el tiempo de captura de la muestra así como el tiempo de conversión.

**Tabla 26. Configuración del Registro ADPCFG**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
ADPCFG	0X1FC0	0001111111000000



Se configuran las entradas AN0 hasta AN5 como pines de entrada.

**Tabla 27. Configuración del Registro ADCSSL**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
ADCSSL	0X0001	0000000000000001

Ubica la entrada a escanear.

**Tabla 28. Configuración del Registro ADCHS**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
ADCHS	0X0001	0000000000000001

Conecta la entrada a muestrear con el convertidor A/D.

La modificación de los registros ADCSSL y ADCHS estipulan la entrada que es muestreada; estos registros se modifican antes de realizar el proceso de conversión.

El sistema trabaja con una frecuencia de reloj interno de 32MHz el cual es obtenido al implementar un cristal de cuarzo de ocho megahertz (8MHz) y un multiplicador de frecuencia (PLL) de 16x, la frecuencia de reloj interna se obtiene de dividir este valor por 4.

### ➤ Configuración del módulo UART

En la configuración de este módulo se implantó la comunicación por defecto de una comunicación serial, en la cual se estipula que son ocho bits de información, un bit de parada y sin paridad. Además se estableció que la comunicación se

realizará a 400000 baudios por segundo, dado que esta es la velocidad requerida por el sistema para no presentar errores en el valor de la muestra.

**Tabla 29. Configuración del Registro U1MODE**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
U1MODE	0X8020	1000000000100000

Se estipulan las E/S del módulo así como su funcionamiento en todo tiempo y se configura el tipo de transmisión.

**Tabla 30. Configuración del Registro U1STA**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
U1STA	0X0510	0000010100010000

Se habilita la transmisión del módulo.

**Tabla 31. Configuración del Registro U1BRG**

Registro	Valor en Hexadecimal	Valor en Binario
U1BRG	0x0004	0000000000000100

Se establece que la comunicación se va a realizar con una velocidad de 400000 baudios por segundo.

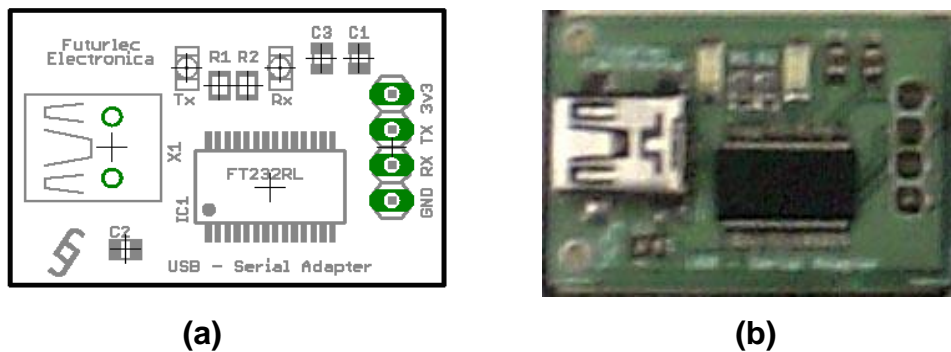
Ambos módulos, tanto el convertidor análogo a digital así como el UART, funcionan bajo interrupciones para hacer que el proceso sea lo más rápido posible.

### **8.1.6 Hardware de Transmisión y Salida**

En esta etapa se implementó un módulo convertidor UART (RS232) a USB, en el cual su dispositivo principal es el circuito integrado FT232RL<sup>1</sup>. De este módulo se implementaron tres pines, a saber: RX, TX y GND; los cuales son los mínimos necesarios para realizar una comunicación UART.

Es de importancia indicar que estos pines van interconectados directamente al módulo UART del microcontrolador.

**Figura 72. (a) PCB Módulo UART-USB y (b) Tarjeta Real.**



Fuente: Futurlec Electronica

Este módulo se alimenta directamente del puerto USB del ordenador y además tiene una alta confiabilidad en su implementación.

### 8.1.7 Compatibilidad del PC

El módulo de adquisición del sistema está adecuado para ser utilizado por ordenadores que se encuentren bajo alguno de los sistemas operativos Windows 2000, Windows XP y Windows Vista. El computador personal es el encargado, a

<sup>1</sup> Fabricante: *Future Technology Devices International Ltd.*

través de su puerto serial, de permitir la comunicación entre la tarjeta de adquisición de datos y el *software* que procesará la información digital recibida. Para realizar la comunicación se estableció un intercambio de información entre el Microcontrolador y el *software*, indicando el inicio y confirmación de la transmisión de datos.

Dentro de las características mínimas que debe tener el ordenador se recomiendan las siguientes para un óptimo funcionamiento del sistema:

- Procesador mayor o igual a 2,4 GHz
- 1GB de RAM
- WINDOWS 2000, XP o Vista.
- MATLAB 7.4.0.287 (R2007a)

### **8.1.8 Soporte del Controlador Módulo USB-UART**

Como se indicó anteriormente, la tarjeta de adquisición de datos diseñada posee un módulo convertidor UART (RS232) a USB de referencia comercial: CDM 2.04.16.

Este dispositivo requiere de un controlador para su funcionamiento, lo cual resulta necesario e importante referenciar un sitio *Web* seguro donde se pueda descargar este archivo, en caso de pérdida del mismo, ó desde el CD<sup>1</sup> del sistema creado.

- *CD del módulo bajo el nombre de “CDM 2.04.16”*
- <http://www.ftdichip.com/Drivers/CDM/CDM%202.04.16%20WHQL%20certified.zip>

---

<sup>1</sup> CD ANEXO

## 8.2 ENTORNO DEL SOFTWARE

El ambiente del *software* es el medio empleado para diseñar, desarrollar y ejecutar las instrucciones que permiten el inicio de captura de datos y la transmisión de los mismos a través de la conexión física del puerto serial con el módulo de adquisición.

### 8.2.1 Instalación de la Aplicación: “Matlab Component Runtime”

Dado que la aplicación del sistema de adquisición de datos fue compilada bajo el software de MATLAB es necesario que el ordenador en el cual se va a ejecutar la aplicación cuente con este componente.

*Matlab Component Runtime* es una aplicación que permite la ejecución de programas desarrollados en MATLAB sin necesidad de contar con este último propiamente instalado en el ordenador.

Para llevar a cabo el proceso de instalación, el usuario tiene a su disposición dos opciones donde puede adquirir el paquete respectivo de la aplicación.

➤ *CD<sup>1</sup> del módulo bajo el nombre de “MCRInstaller”*

➤ *ó descarga directa desde la Web:*

[http://www.mathworks.com/matlabcentral/forums/5268/1/mcr\\_release14\\_automatic\\_installer.zip](http://www.mathworks.com/matlabcentral/forums/5268/1/mcr_release14_automatic_installer.zip)

Es aconsejable una instalación completa para evitar probables fallas de compilación. Concluido el proceso de instalación, es necesario ejecutar el archivo **SEM.exe** ubicado en el CD respectivo, para la ejecución del programa final.

---

<sup>1</sup> CD ANEXO

### 8.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

Como se planteó en los objetivos del proyecto, es determinante obtener las siguientes variables para dar conformidad al cumplimiento de los mismos.

#### 8.3.1 Determinación de Variables de Entrada y Salida

Para la determinación de las variables de salida, se asumió inicialmente la selección de los parámetros de entrada, los modos de operación y conexión de las sondas en puntos de medición estratégicos de los circuitos equivalentes a cada una de las prácticas desarrolladas en el laboratorio de máquinas eléctricas.

De manera sencilla y práctica, se eligió la medición de voltajes y corrientes de línea como los parámetros imprescindibles para lograr los resultados esperados. A continuación se esbozan las ecuaciones pertinentes para calcular los valores finales deseados y planteados al inicio del proyecto.

$$\text{Voltaje RMS} \quad U_m(rms) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=0}^T u_m(t)^2} \quad [V] \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$\text{Corriente RMS} \quad I_m(rms) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=0}^T i_m(t)^2} \quad [A] \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$\text{Potencia Instantánea} \quad P_{ins} = u_m(t) * i_m(t) \quad [W] \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$\text{Potencia Activa} \quad P_m = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T \{u_m(t) * i_m(t)\} \quad [W] \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$\text{Potencia Reactiva} \quad Q_m = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T \left\{ u_m(t) * i_m\left(t + \frac{T}{4}\right) \right\} \quad [VAR] \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$\text{Potencia Aparente} \quad S = U_m(rms) * I_m(rms) \quad [VA] \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$\text{Factor de Potencia} \quad fp = \frac{P}{S} \quad (\text{Ecuación 37})$$

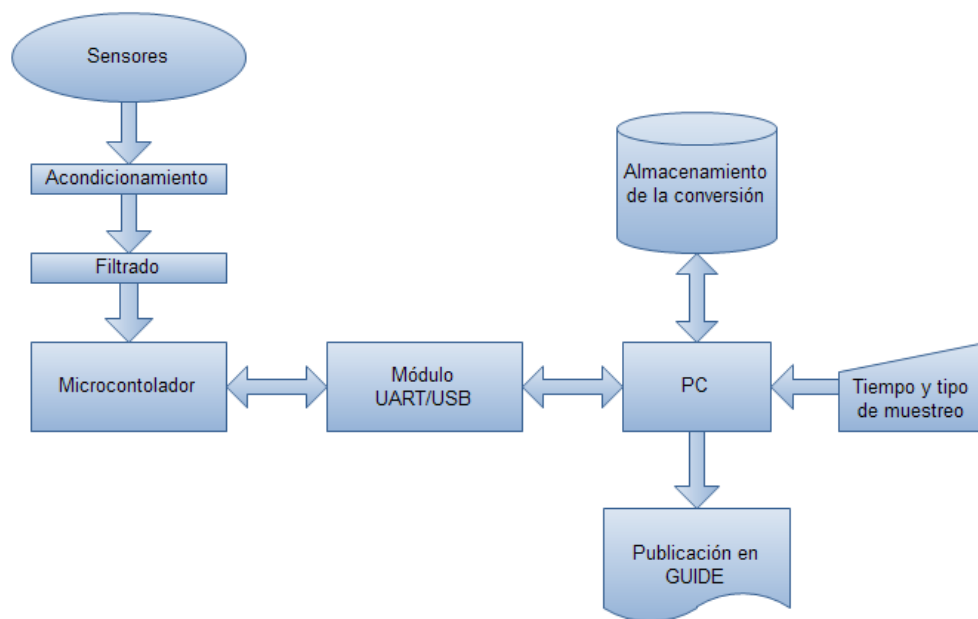
$$\text{Ángulo de Fase} \quad \varphi = \text{Cos}^{-1}(fp) \quad (\text{radianes}) \quad (\text{Ecuación 38})$$

## 8.4 ELEMENTOS DEL SOFTWARE

Como todo programa desarrollado, es imprescindible realizar el bosquejo general (diagrama de flujo) de los procesos respectivos para su ejecución y control de fallas.

En el siguiente diagrama (ver Figura 74) se explica el desarrollo de las etapas que conlleva a mantener la conversión y transmisión de los datos mientras el tiempo de ejecución no supere el tiempo definido por el usuario.

**Figura 73. Diagrama de Flujo, Conversión, Transmisión y Procesamiento.**



Fuente: Diseño Autor

### 8.4.1 Ejecución para Comunicación Puerto Serial Módulo – *MATLAB*

El siguiente código permite la apertura y cierre del puerto COM del ordenador. Así mismo establece el tiempo de espera de datos, un valor para terminar la transmisión, el *buffer* de entrada y salida de la transmisión y determina el tamaño de la trama.

```
%%*****COMUNICACIÓN PUERTO SERIAL*****  
%%.....RECEPCIÓN DE DATOS POR PUERTO SERIAL.....  
p_serial=com;  
s=serial(['COM',p_serial]);  
s.BaudRate=400000; %%Establecer tiempo de espera de datos  
set(s,'DataBits',8); %%Bits de transmisión  
set(s,'Parity','none'); %%Paridad impar  
set(s,'StopBits',1); %%Bit de parada  
set(s,'FlowControl','none'); %%Sin control de flujo  
set(s,'timeout',3); %%Tiempo de espera de 3s  
set(s,'inputbuffersize',2153520); %%18ksps*60s*2char = 2,16MB  
set(s,'requesttosend','off');  
fopen(s); %%Abre el puerto e inicia la Rx.  
trama=fread(s); %%Trama de datos  
fprintf(s,'%s','A');  
fclose(s); %%Cierra el puerto y finaliza la Rx.
```

## 8.4.2 Buffer y Transferencia de Datos

Por cada intervalo de muestreo de la aplicación, MATLAB almacena de modo continuo los datos de memoria hasta que el *buffer* de datos carga en su totalidad. Una vez el *buffer* está lleno, MATLAB interrumpe y suspende la captura de datos cerrando el puerto de comunicación serial.



### 8.4.3 Descripción del Código Fuente de las Funciones Implementadas

Al realizar una prueba para la adquisición de datos, MATLAB emplea un vector de tiempo para gestionar el modelo. Luego de que los datos son computados durante el determinado valor de tiempo, MATLAB repite las operaciones fijadas para cada vector de datos. El proceso finaliza en el instante en que se realizan todas las operaciones y/o hasta cuando no existan datos para procesar.

Debido a que el vector de tiempo no está incorporado a ningún reloj, las salidas tabuladas se encuentran sujetas a la rapidez que el ordenador lo permita.

Durante la aplicación se puede considerar el vector de tiempo, empleado en MATLAB, correspondiente al utilizado en el tiempo de muestreo fijado por el Microcontrolador. De esta manera se asegura la muestra a un tiempo determinado y se logra una fiel representación de la señal. De lo anterior se deduce que la precisión de la señal a representar y la longitud del vector de simulación dependen del tiempo de muestreo prefijado, por lo que las señales siempre conservarán la misma calidad, sea cual sea el tiempo de adquisición o ejecución de la prueba realizada.

#### ➤ **Función *captura***

El objetivo de la función *captura*, es la de realizar el proceso de decodificación de la trama recibida y un acondicionamiento a las señales capturadas por el Módulo.

El proceso de decodificación se realiza seleccionando particiones de la trama recibida, dado que en el sistema está implementado una comunicación serial que trabaja con un carácter de 8 bits y un convertidor análogo a digital de 12 bits, fue necesario enviar dos caracteres, uno con los 8 bits inferiores y otro con los bits restantes más bits de relleno, además, dado que el sistema captura seis canales, la información de cada uno de estos es enviada tras realizar la conversión.

Después se realiza el proceso de adecuación, en el cual la señal capturada por los sensores es acondicionada por el sistema, representando una aproximación real de las lecturas realizadas.

Además se elaboró un ajuste a cada una de las señales quitándoles el nivel de *offset*. Estos valores de *offset* están sujetos previamente en la función principal de la GUIDE. Una vez realizado el proceso anterior, a las señales se les aplica un filtrado digital con la función *smooth* de MATLAB, la cual inhibe el ruido de la señal capturada.

```
function[v1,v2,v3,i1,i2,i3,t]=captura(tipo,trama,offi1,offi2,offi3,
    offv1,offv2,offv3)
acu1=trama';
n=length(acu1);
u=1:2:n;
sup = acu1(u);
inf = acu1(u+1);
sup1 = 256*sup;
acu1 = sup1+inf;
n=length(acu1);
u=1:6:n;
i3a = acu1(u);
v3a = acu1(u+1);
i2a = acu1(u+2);
v2a = acu1(u+3);
i1a = acu1(u+4);
v1a = acu1(u+5);
i3 = ((i3a-offi3)/33.615401)*0.9858;
i2 = ((i2a-offi2)/34.807690)*1.01345;
i1 = (i1a-offi1)/33.818181;
v3 = ((v3a-offv3)/5.50525);
v2 = ((v2a-offv2)/5.41265)*0.9905;
v1 = (v1a-offv1)/5.24800;
L = length(v1);
t = [1:L];
t = t*(1/(3005));
if tipo == '0'
    i1 = smooth(i1,0.01);
    i2 = smooth(i2,0.01);
    i3 = smooth(i3,0.01);
    v1 = smooth(v1,0.01);
    v2 = smooth(v2,0.01);
    v3 = smooth(v3,0.01);
    t = t(1:length(t)-30);
else
    i1 = smooth(i1);
```

```

i2 = smooth(i2);
i3 = smooth(i3);
v1 = smooth(v1);
v2 = smooth(v2);
v3 = smooth(v3);
end

```

### ➤ ***Función acond2***

El empleo de esta función tiene como objeto recortar las señales de ruido presentes en el inicio y en el final de cada trama, permitiendo que el sistema solo trabaje con el sector de la captura que contiene información. Su aplicación es solo implementada en señales de AC.

```

function[i1,i2,i3,v1,v2,v3,t]=acond2(v1,v2,v3,i1,i2,i3,t)
inicio=find(abs(v1) > 20);
id1 = i1(inicio(1):length(v1));
id2 = i2(inicio(1):length(v1));
id3 = i3(inicio(1):length(v1));
vd1 = v1(inicio(1):length(v1));
vd2 = v2(inicio(1):length(v1));
vd3 = v3(inicio(1):length(v1));
vd1inv = fliplr(vd1);
inicio2=find(abs(vd1inv) > 20);
i1 = id1(1:length(vd1)-inicio2(1));
i2 = id2(1:length(vd1)-inicio2(1));
i3 = id3(1:length(vd1)-inicio2(1));
v1 = vd1(1:length(vd1)-inicio2(1));
v2 = vd2(1:length(vd1)-inicio2(1));
v3 = vd3(1:length(vd1)-inicio2(1));
t = t(1:length(vd1)-inicio2(1));

```

### ➤ ***Función acond***

La función *acond* divide en dos secciones las señales de AC capturadas, estas secciones son el arranque y el estado estable. Además determina valores tales

como: voltajes y corrientes estables, voltajes y corrientes pico y tiempo de establecimiento, para mostrar en pantalla.

```
function[ve1,ve2,ve3,ie1,ie2,ie3,ia1,ia2,ia3,ta,te,imax1,imax2,...
    imax3,ip1,ip2,ip3]=aconc(vd1,vd2,vd3,id1,id2,id3,t1)
id1inv = fliplr(id1);
for k=1:60
    idtemp = id1inv(1*k:50*k);
    maxi(k) = max(idtemp);
    maxi(k+60) = abs(min(idtemp));
    k = k+1;
end
iest=mean(maxi);
tempo1 = find(abs(id1inv) >= iest*1.08);
ts1 = length(id1inv)-tempo1(1);
ts = t1(ts1);
inicio2 = find(t1 >= ts);
ia1 = id1(1:inicio2(1));
ia2 = id2(1:inicio2(1));
ia3 = id3(1:inicio2(1));
ta = t1(1:length(ia1));
imax1 = max(abs(id1(1:1500)));
imax2 = max(abs(id2(1:1500)));
imax3 = max(abs(id3(1:1500)));
ip1 = max(abs(id1));
ip2 = max(abs(id2));
ip3 = max(abs(id3));
ie1 = id1(inicio2(1):length(id1));
ie2 = id2(inicio2(1):length(id1));
ie3 = id3(inicio2(1):length(id1));
te = t1(length(ia1):length(t1));
ve1 = vd1(inicio2(1):length(id1));
ve2 = vd2(inicio2(1):length(id1));
ve3 = vd3(inicio2(1):length(id1));
```

### ➤ **Función calcAC**

La función *calcAC* tiene como fin el análisis de las señales tomadas, para luego determinar parámetros tales como: valores RMS de las señales, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, frecuencia de la señal, valores pico, factor de potencia y el ángulo de desfase.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Parámetros definidos por las ecuaciones de la sección 8.3.1

Para realizar estos cálculos fue necesario lograr que las señales estuviesen contenidas en periodos enteros, esto con el fin de facilitar el procesamiento y el cómputo de datos. Los periodos enteros se determinan analizando los cruces por cero de la señal de voltaje que es la señal de referencia del sistema.

```
function[Vrms,Arms,Pact,fsig,vpk,S,Q,fp,Angle] = calcAC(Vx,Ax,t)
h1=1;
h2=1;
for k=1:length(Vx)-1
    if Vx(k+1) >= 0 && Vx(k) < 0
        sube(k) = 1;
        ubicasube(h1)= k;
        m = (Vx(k+1)-Vx(k))/(1/3005);
        tcerosube(h1) = -Vx(k)/m+t(k+1);
        h1=h1+1;
    end
    if Vx(k+1) <= 0 && Vx(k) > 0
        baja(k) = 1;
        ubicabaja(h2)= k;
        m=(Vx(k+1)-Vx(k))/(1/3005);
        tcerobaja(h2) = -Vx(k)/m+t(k+1);
        h2=h2+1;
    end
end
if sum(sube) >= sum(baja)
    ubicruces = ubicasube;
    tceros = tcerosube;
else
    ubicruces = ubicabaja;
    tceros = tcerobaja;
end
for k=1:length(tceros)-1
    T(k) = tceros(k+1)-tceros(k);
end
fsig = 1/mean(T);
newVx = Vx(ubicruces(1):ubicruces(length(ubicruces)));
um = newVx.^2;
Vrms = sqrt(mean(um));
newAx = Ax(ubicruces(1):ubicruces(length(ubicruces)));
im = newAx.^2;
Arms = sqrt(mean(im));
Pinst = newVx.*newAx;
Pact = (mean(Pinst));
vpk=max(abs(newVx));
for k=1:length(newVx)-12
    preac(k)=newVx(k)*newAx(k+12);
end
S = Vrms*Arms;
Q = sqrt(S^2-Pact^2);
```

```
fp=-Pact/S;  
Angle = acos(fp);
```

### ➤ ***Función separa***

El objetivo de la función *separa*, es lograr la división de la información capturada en dos partes. Esta función solo aplica en las pruebas que son del tipo doble (arranque y frenado o inversión de giro). Para su funcionamiento es necesario que el usuario introduzca el valor del tiempo ubicado aproximadamente en el intermedio de las pruebas.

```
function [i1ini,i2ini,i3ini,v1ini,v2ini,v3ini,i1fin,i2fin,i3fin,...  
v1fin,v2fin,v3fin,tini,tfin] = separa(v1,v2,v3,i1,i2,i3,t,tee)  
inicio=find(t >= str2num(tee{1}));  
i1ini=i1(1:inicio(1));  
i2ini=i2(1:inicio(1));  
i3ini=i3(1:inicio(1));  
v1ini=v1(1:inicio(1));  
v2ini=v2(1:inicio(1));  
v3ini=v3(1:inicio(1));  
tini=t(1:inicio(1));  
i1fin=i1(inicio(1):length(i1));  
i2fin=i2(inicio(1):length(i1));  
i3fin=i3(inicio(1):length(i1));  
v1fin=v1(inicio(1):length(i1));  
v2fin=v2(inicio(1):length(i1));  
v3fin=v3(inicio(1):length(i1));  
tfin=t(inicio(1):length(i1));
```

### ➤ ***Función acond2DC***

Este código de programa es análogo a la función *acond2*, pero su aplicación es solo para señales de DC.

```
function[v1,i1,t]=acond2DC(v1,i1,t)  
inicio=find(abs(i1) > 0.11);  
id1 = i1(inicio(1):length(i1));  
vd1 = v1(inicio(1):length(i1));  
id1inv = fliplr(id1');
```

```

inicio2=find(abs(id1inv) > 0.015);
i1 = id1(1:length(id1)-inicio2(1));
v1 = vd1(1:length(id1)-inicio2(1));
t = t(1:length(id1)-inicio2(1));

```

➤ **Función acondDC**

Esta función se emplea con el mismo objeto de la función *acond*, el cual es la división de la señal capturada en segmentos para su posterior análisis. Pero aplicación solo se aplica en pruebas del tipo DC.

```

function[ve1,ie1,ia1,ta,te,imax1]=acondDC(vd1,id1,t1)
id1inv = fliplr(id1');
for k=1:60
    idtemp = id1inv(1*k:50*k);
    maxi(k) = max(idtemp);
    maxi(k+60) = abs(min(idtemp));
    k = k+1;
end
iest=mean(maxi);
tempo1 = find(abs(id1inv) >= iest*1.05);
ts1 = length(id1inv)-tempo1(1);
ts = t1(ts1);
inicio2 = find(t1 >= ts);
ia1 = id1(1:inicio2(1));
ta = t1(1:length(ia1));
imax1 = max(abs(id1(1:1500)));
ie1 = id1(inicio2(1):length(id1));
te = t1(length(ia1):length(t1));
ve1 = vd1(inicio2(1):length(id1));

```

➤ **Función calcDC**

En esta función se calculan los valores más representativos de la señal capturada en un tipo de prueba en DC. Dichos valores son el valor de voltaje promedio en DC, el valor de la corriente promedio en DC y la potencia activa del sistema.

```

function[Vdc,Adc,Pact] = calcDC(Vx,Ax)
Vdc = mean(Vx);
Adc = mean(Ax);

```

```
Pinst = Vdc.*Adc;  
Pact = (mean(Pinst));
```

➤ ***Función separaDC***

Esta función tiene como fin dividir la señal capturada en una prueba de tipo doble en DC (arranque y frenado o inversión de giro).

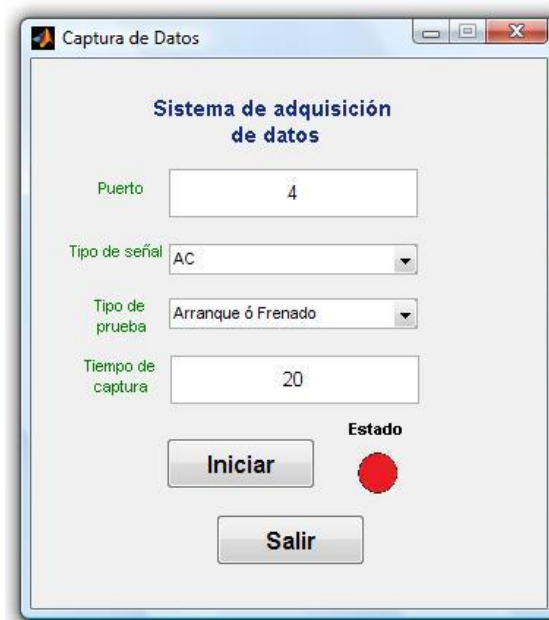
```
function [i1ini,v1ini,i1fin,v1fin,tini,tfin] = separaDC(v1,i1,t,tee)  
inicio=find(t >= str2num(tee{1}));  
i1ini=i1(1:inicio(1));  
v1ini=v1(1:inicio(1));  
tini=t(1:inicio(1));  
i1fin=i1(inicio(1):length(i1));  
v1fin=v1(inicio(1):length(i1));  
tfin=t(inicio(1):length(i1));
```



## 8.5 ELEMENTOS DE LA INTERFAZ GRÁFICA

Al ejecutar el archivo SEM.exe se abre la siguiente ventana, la cual nos indica que vamos a iniciar una nueva prueba (ver Figura 74).


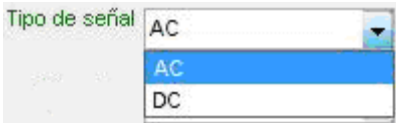


**Figura 74. Ventana de Inicio de la Interfaz**






Fuente: Diseño Autor

Una explicación de cada unidad se presenta a continuación:

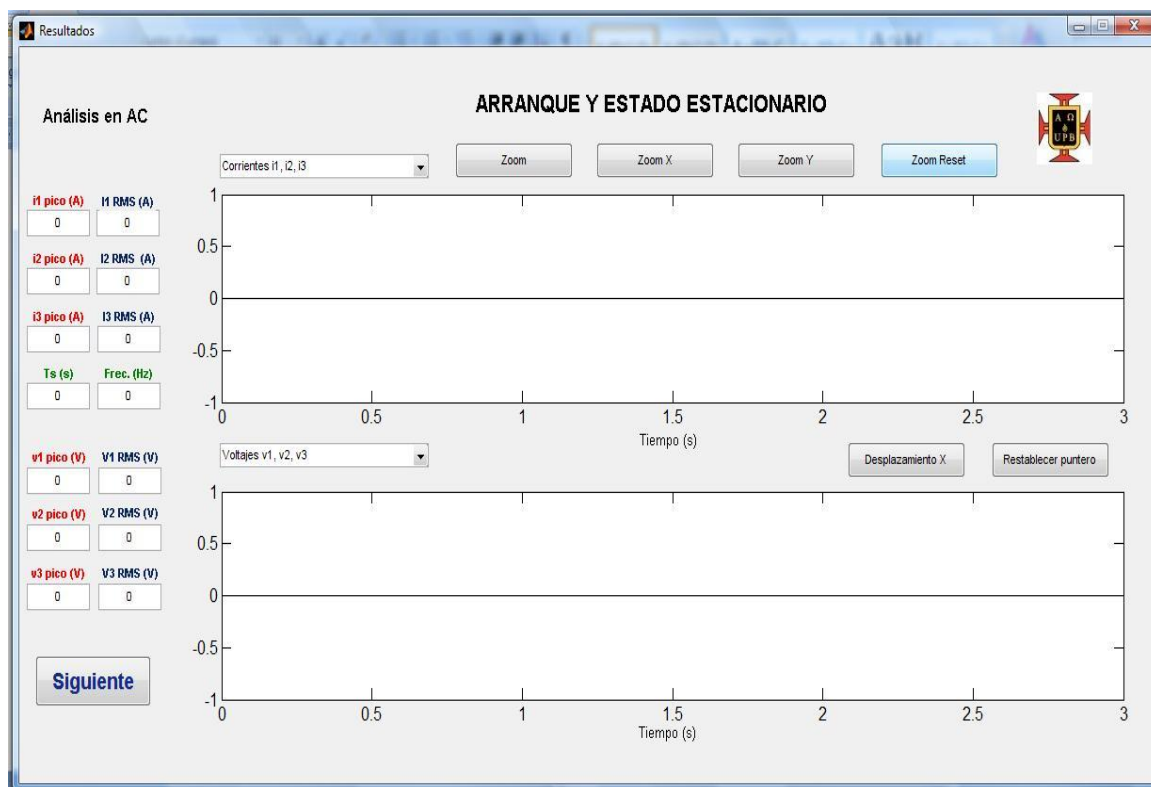
**Tabla 32. Descripción de las Secciones de la Ventana Captura de Datos**

Sección	Explicación
	<p>En este cuadro se debe introducir el puerto COM con el cual va a trabajar el módulo, el numero de este puerto se puede ubicar en el “Administrador de dispositivos” del OS con el nombre de “USB Serial Port (COMx)”</p>
	<p>En este cuadro se debe indicar el tipo de señal a medir, ya sea AC o DC.</p>
	<p>En este cuadro se debe indicar el tipo de prueba a realizar. El Módulo puede operar de dos formas, la primera es una prueba sencilla, como un arranque ó un frenado y la segunda es una prueba doble, como un arranque y frenado, y/o arranque e inversión de giro y sus posibles combinaciones.</p>
	<p>En esta casilla se debe ingresar el tiempo de captura. Este tiempo debe ser mayor que un segundo ó como máximo 60 segundos. Una recomendación para todas la pruebas es la de establecer 20 s, el cual es el tiempo promedio en la mayoría de las pruebas, aunque existan pruebas en las cuales solo sea necesario</p>

	capturar cinco segundos.
	Indicador del estado de la comunicación, inicialmente se visualiza el color rojo, lo cual indica que aún no se debe iniciar la prueba, una vez cambie a color verde se procede a iniciar la prueba.
	Botón con el cual el módulo comienza a operar, al oprimir este botón el dispositivo comienza inicialmente un proceso de auto ajuste, una vez hecho esto el indicador de estado cambia a color verde, posteriormente se inicia la captura de datos por el tiempo estipulado por el usuario.
	Este botón es la salida del sistema, al dar clic sobre éste, se cerrarán todas las ventanas que fueron abiertas procedentes del software.

Una vez realizado el proceso de adquisición de datos se procede automáticamente a publicar los resultados de la captura, los cuales se visualizan en la siguiente ventana:

Figura 75. Ventana 1 de Visualización de Parámetros



Fuente: Diseño Autor

En esta ventana se muestran los valores numéricos de las señales y la representación gráfica capturada. La grafica superior muestra las corrientes instantáneas y la inferior muestra los voltajes instantáneos capturados.

A continuación se describen los ítems que conforman la ventana:

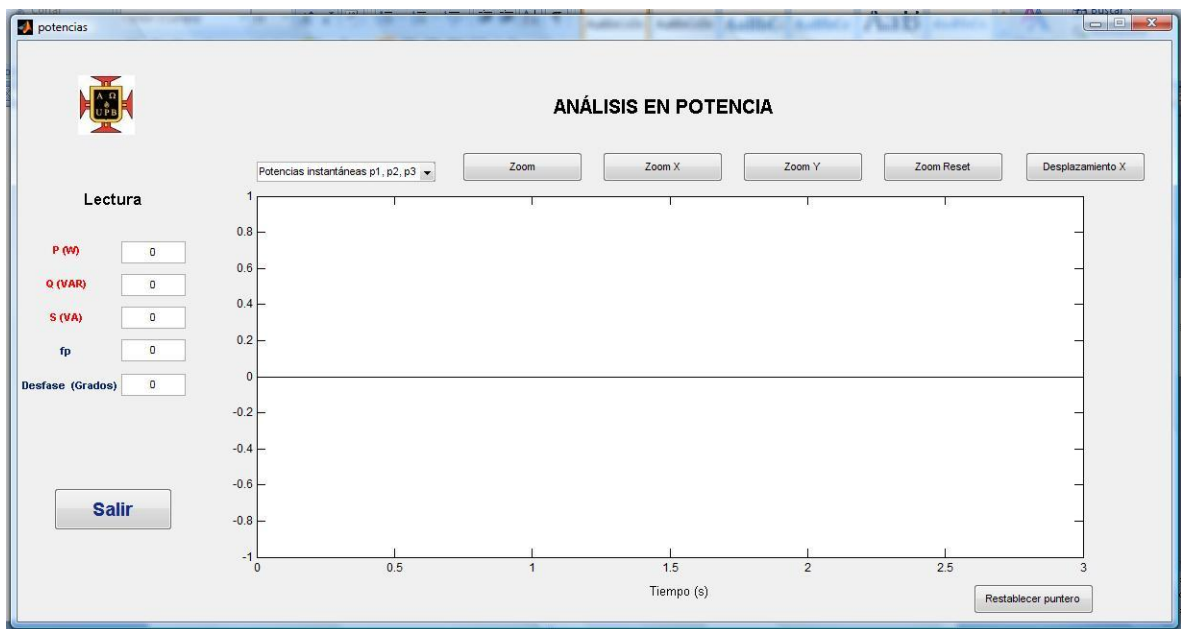
**Tabla 33. Descripción de las Secciones de la Ventana Resultados**

Sección	Explicación
 <p> <b>i1 pico (A)</b>    <b>I1 RMS (A)</b>  <input type="text" value="0"/>    <input type="text" value="0"/>  <b>i2 pico (A)</b>    <b>I2 RMS (A)</b>  <input type="text" value="0"/>    <input type="text" value="0"/>  <b>i3 pico (A)</b>    <b>I3 RMS (A)</b>  <input type="text" value="0"/>    <input type="text" value="0"/>  <b>Ts (s)</b>        <b>Frec. (Hz)</b>  <input type="text" value="0"/>    <input type="text" value="0"/>  <b>v1 pico (V)</b>    <b>V1 RMS (V)</b>  <input type="text" value="0"/>    <input type="text" value="0"/>  <b>v2 pico (V)</b>    <b>V2 RMS (V)</b>  <input type="text" value="0"/>    <input type="text" value="0"/>  <b>v3 pico (V)</b>    <b>V3 RMS (V)</b>  <input type="text" value="0"/>    <input type="text" value="0"/> </p>	<p>En esta sección de la pantalla se visualizan diversos parámetros de las señales capturadas, tales como los valores pico de las corrientes y los voltajes, los valores RMS respectivos, el tiempo de establecimiento del sistema T(s) y la frecuencia del sistema.</p>
 <p> <input type="button" value="Zoom"/>  <input type="button" value="Zoom X"/>  <input type="button" value="Zoom Y"/>  <input type="button" value="Zoom Reset"/> </p>	<p>Estos botones permiten manipular las gráficas mostradas en pantalla, con respecto a los ejes vertical y horizontal.</p>
 <p> <input type="button" value="Desplazamiento X"/>  <input type="button" value="Restablecer puntero"/> </p>	<p>Botones de reestablecimiento de puntero y desplazamiento en X, su funcionamiento es similar a los botones de <i>Zoom</i>.</p>
 <p>         Voltajes v1, v2, v3  <input type="text" value="Voltajes v1, v2, v3"/>          Voltaje v1          Voltaje v2          Voltaje v3            Corrientes i1, i2, i3  <input type="text" value="Corrientes i1, i2, i3"/>          Corriente i1          Corriente i2          Corriente i3     </p>	<p>Listado que muestra las graficas mostradas en pantalla, seleccionando alguna de las opciones se procederá a la publicación de la misma.</p>

	Este icono conlleva a la segunda etapa de resultados de la interfaz, una vez seleccionado permite ver la ventana del análisis en potencia de las señales capturadas.
--	--

Al oprimir el botón siguiente se da paso a la visualización del análisis en potencia de las señales capturadas, cuya ventana es la siguiente (ver Figura 76):


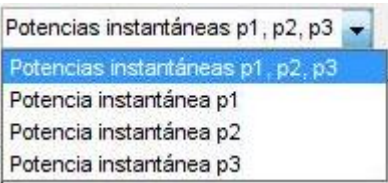

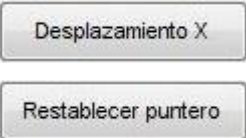

**Figura 76. Ventana 2 de Visualización de Parámetros**



Fuente: Diseño Autor

En esta ventana se muestra el análisis en potencia de las señales capturadas y se grafican las señales de potencia instantánea del sistema.

**Tabla 34. Descripción de las Secciones de la Ventana Potencias**

Sección	Explicación
	<p>En esta sección de la pantalla se visualizan diversos parámetros del sistema medido, tales como la potencia activa, la potencia reactiva, la potencia aparente, el factor de potencia y el desfase del sistema.</p>
	<p>Listado que muestra las gráficas mostradas en pantalla, seleccionando alguna de las opciones se procederá a la publicación de la misma.</p>
	<p>Estos botones permiten manipular las gráficas mostradas en pantalla, con respecto a los ejes vertical y horizontal.</p>
	<p>Botones de restablecimiento de puntero y desplazamiento en X, su funcionamiento es similar a los botones de <i>Zoom</i>.</p>
	<p>Estos iconos cambian dependiendo de la prueba realizada, si es una prueba sencilla finaliza la aplicación, pero si es un prueba doble continua</p>

<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; display: inline-block; background-color: #e0e0e0;"> <b>Siguiente</b> </div>	mostrando datos referentes a la segunda parte de la prueba y al final de toda la prueba muestra la opción de la salida.
---	---

Un caso particular es cuando se realiza una prueba doble, es necesario que el usuario indique el tiempo en el cual el programa debe dividir la señal capturada, en otras palabras suministrar un tiempo intermedio entre las secciones de la prueba. Para realizar dicho proceso se muestra toda la captura del sistema, luego el usuario debe asignar un valor en el tiempo, de esta manera determina cuando la señal está estable, lo cual sucede generalmente al finalizar el arranque. En la Figura 77 se muestra de forma predeterminada el valor de 5s.

**Figura 77. Ventana de Tiempo de Establecimiento**



Fuente: Diseño Autor

## 8.6 CALIBRACIÓN DEL MÓDULO

El módulo de adquisición de datos fue calibrado con dos instrumentos de medición, los cuales fueron el Osciloscopio Industrial Fluke 123 y la Pinza Amperimétrica para medida de Calidad Eléctrica Fluke 345, arrojando los siguientes resultados:



**Tabla 35. Calibración con respecto al Fluke 123**

Valor de referencia	Valor del Módulo	Error
112.45 Vdc	112.47 Vdc	0.19%

**Tabla 36. Calibración con respecto al Fluke 345**

Valor de referencia	Valor del Módulo	Error
105.56 Vdc	105.77 Vdc	0.19%
10.58 A	10.56 A	0.18%

Los instrumentos, Osciloscopio Industrial Fluke 123 y la Pinza Amperimétrica para medida de Calidad Eléctrica Fluke 345, están debidamente certificados, dando una confiabilidad en las medidas realizadas.

#### Resultados

Al analizar las diferentes medidas del módulo, con respecto a los elementos de referencia y a la aplicación del mismo. Se pudo constatar que el modulo cumple con las expectativas necesarias para su implementación.

## 9 DESARROLLO Y RESULTADO DE PRUEBAS

Con el propósito de comprobar el funcionamiento final del Sistema de Adquisición de Datos, y encaminados al cumplimiento de los objetivos presentados en el inicio del proyecto, se procedió a ejecutar diferentes montajes eléctricos. Para ello, se desarrollaron cada una de las prácticas referentes al Laboratorio de Máquinas Eléctricas, ubicado en el Campus de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, allí se realizaron pruebas con los motores de inducción y con los motores de corriente continua.

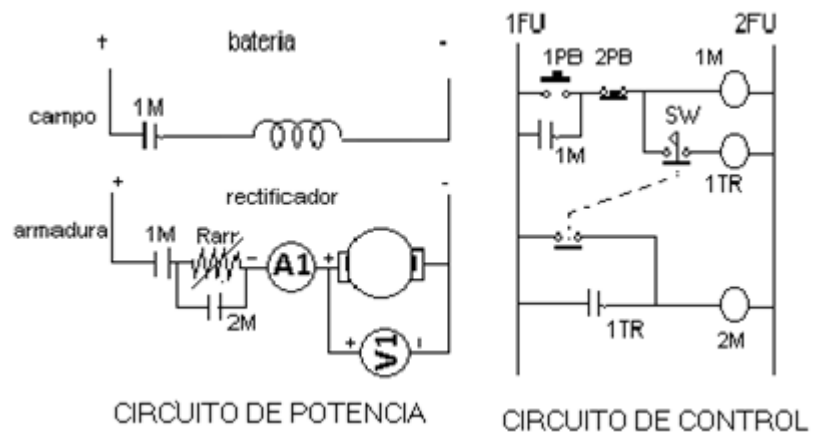
En los diferentes montajes realizados para el control y funcionamiento de los motores eléctricos, se aplicaron diversos métodos de conexión y manejo en cada una de las siguientes etapas:

- Arranque
- Frenado
- Inversión de giro

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

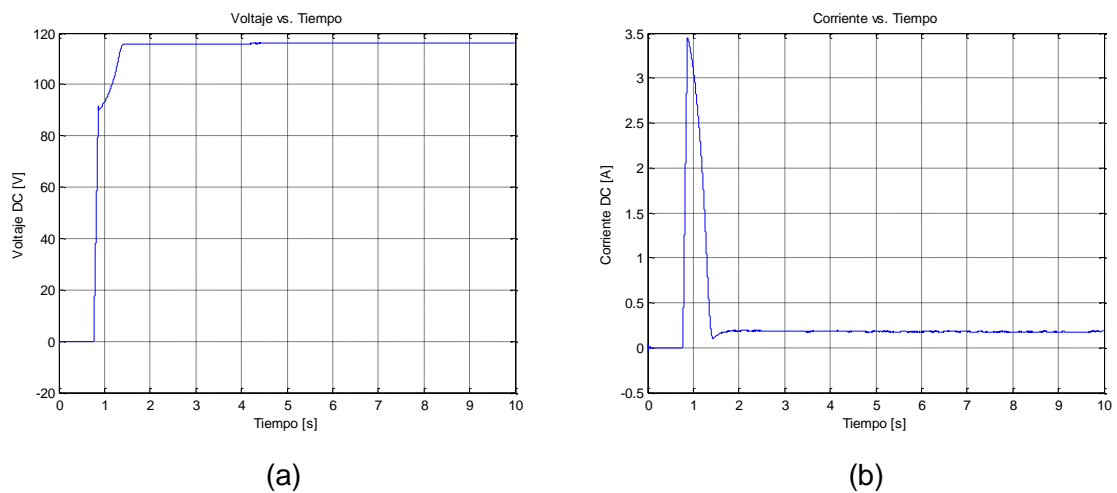
## 9.1 PRUEBA 1 ARRANQUE USANDO RESISTENCIA EN SERIE CON LA ARMADURA

Figura 78. Prueba 1 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

Figura 79. Prueba 1 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados



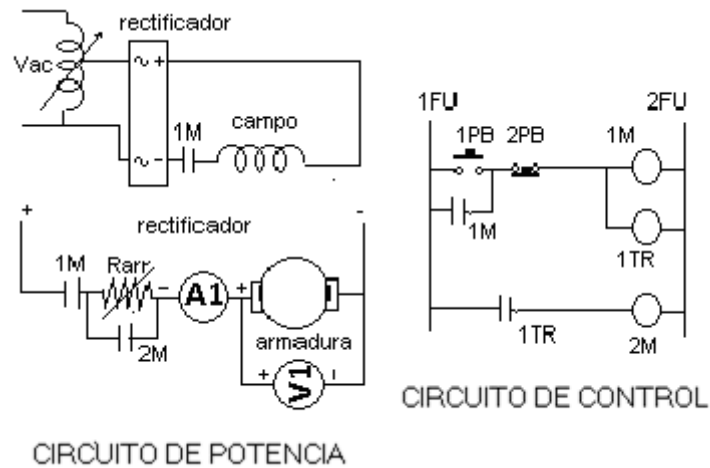
(a)

(b)

Fuente: Diseño Autor

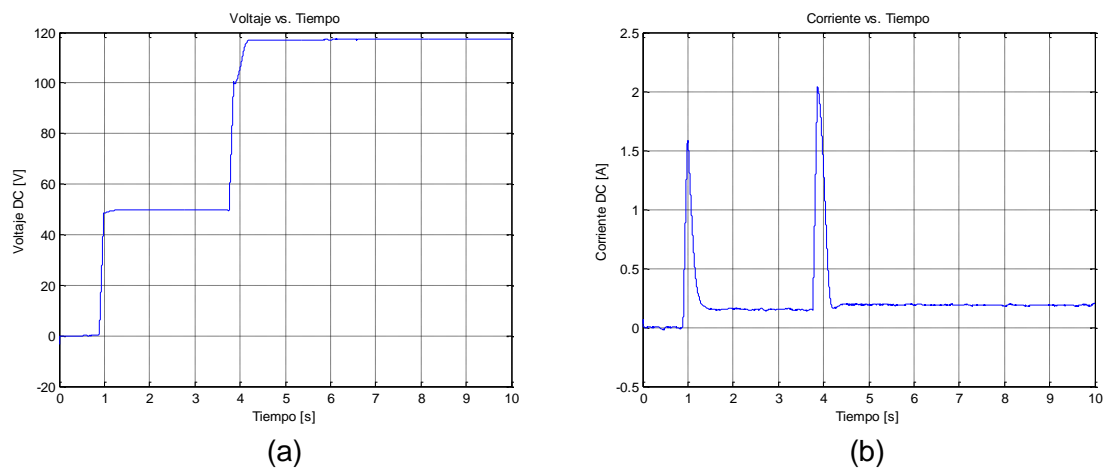
## 9.2 PRUEBA 2 ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN LA ARMADURA Y CORRIENTE DE CAMPO

Figura 80. Prueba 2 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

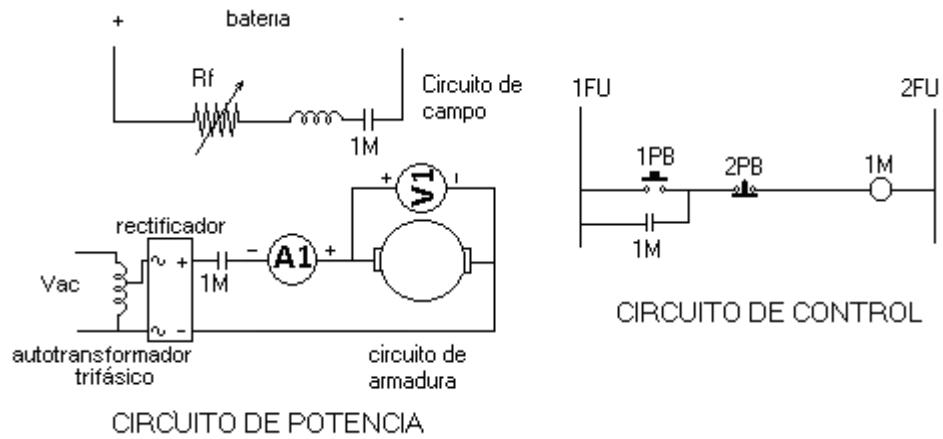
Figura 81. Prueba 2 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados



Fuente: Diseño Autor

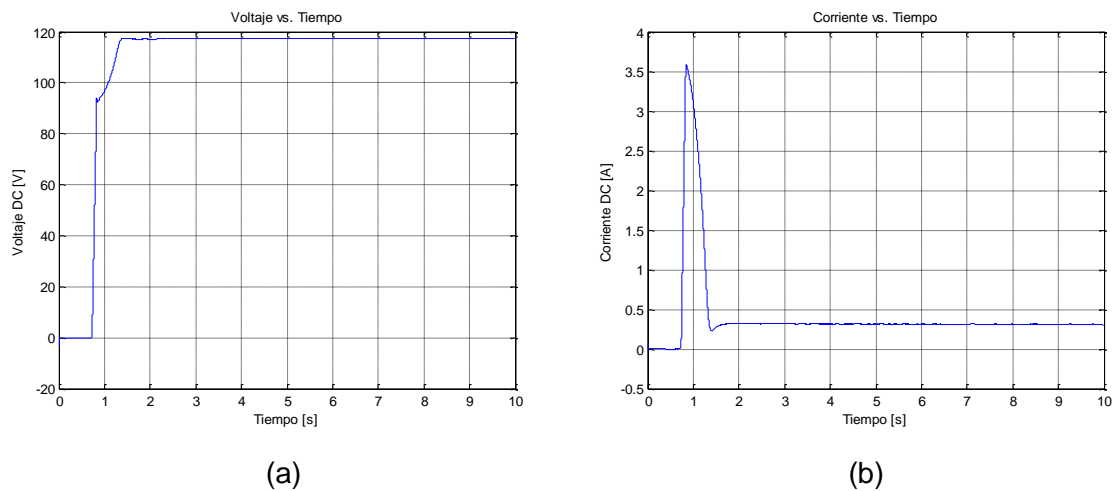
### 9.3 PRUEBA 3 ARRANQUE CON TENSIÓN DE ARMADURA

**Figura 82. Prueba 3 - Circuito de Potencia y Control.**



Fuente: Diseño Autor

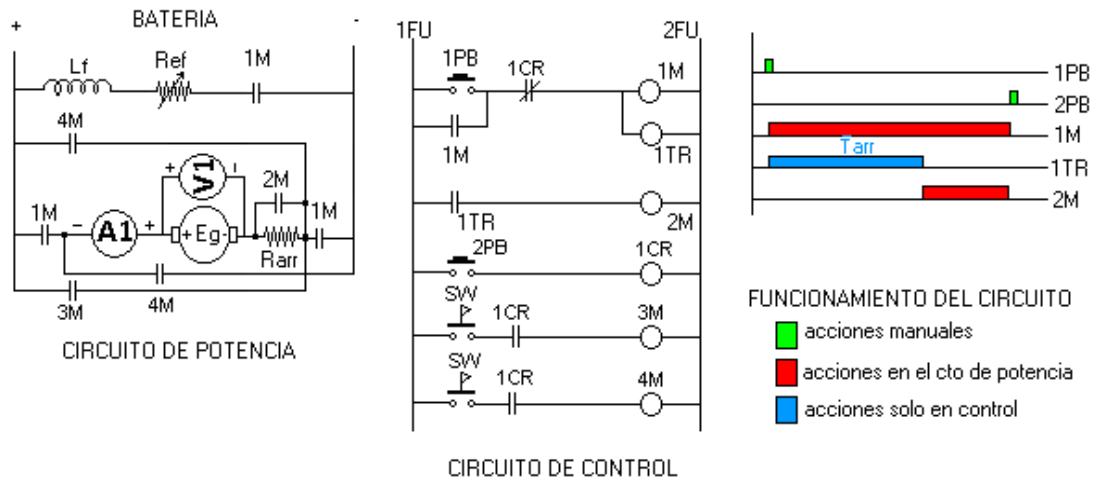
**Figura 83. Prueba 3 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados**



Fuente: Diseño Autor

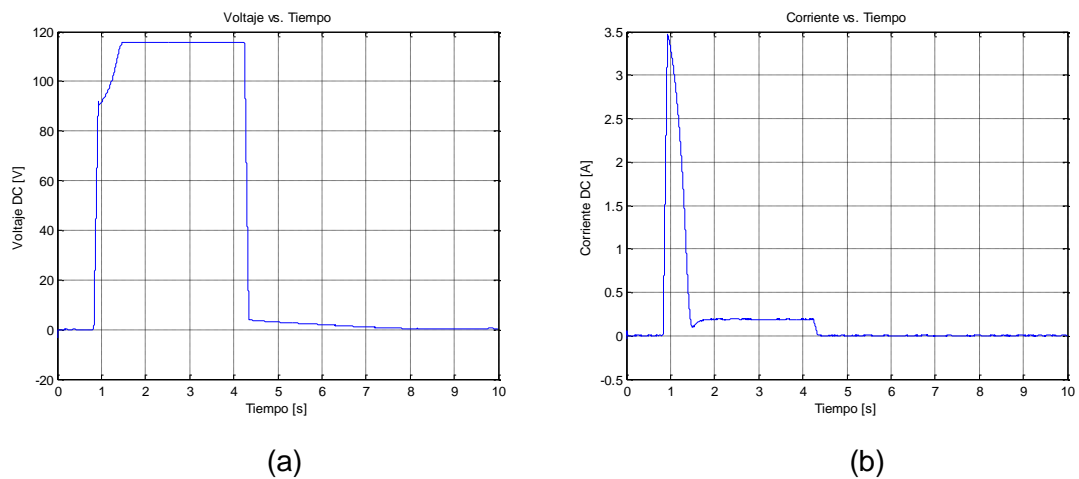
## 9.4 PRUEBA 4 FRENADO NATURAL

Figura 84. Prueba 4 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

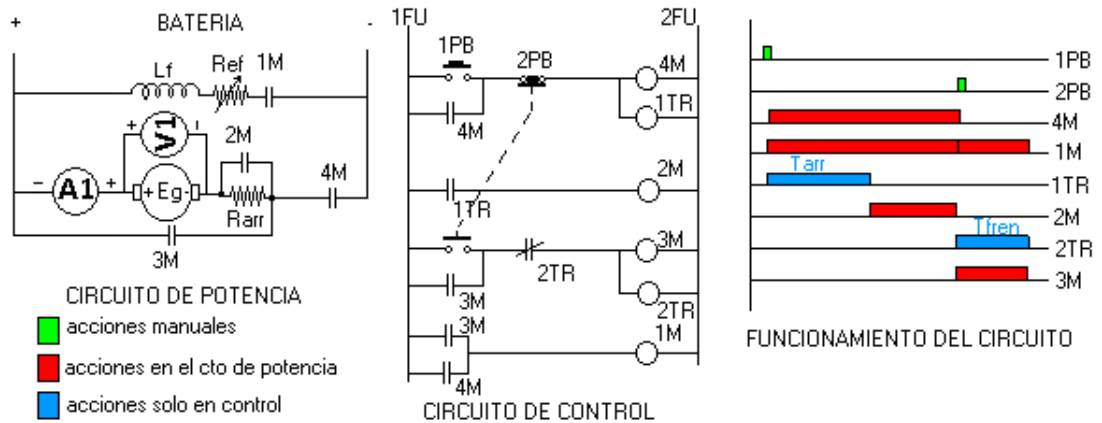
Figura 85. Prueba 4 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados



Fuente: Diseño Autor

## 9.5 PRUEBA 5 FRENADO REGENERATIVO

Figura 86. Prueba 5 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

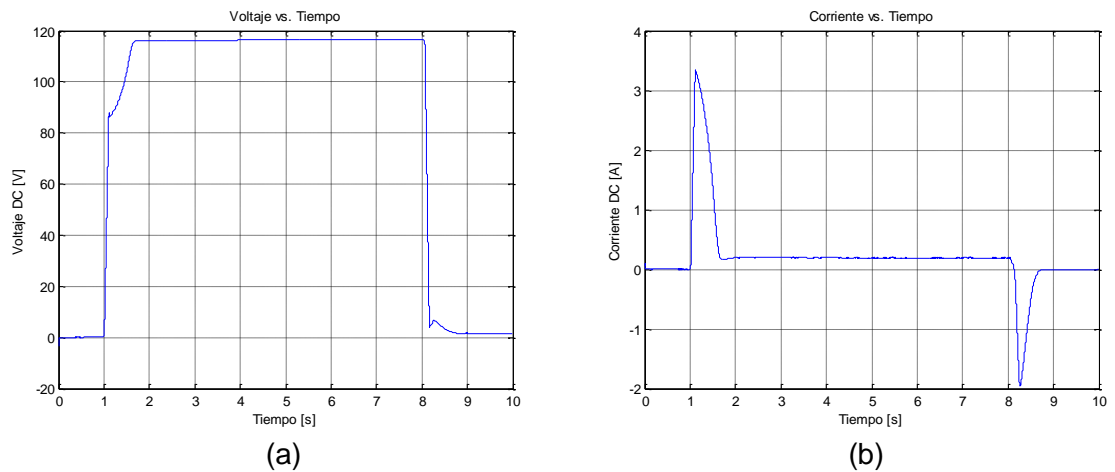
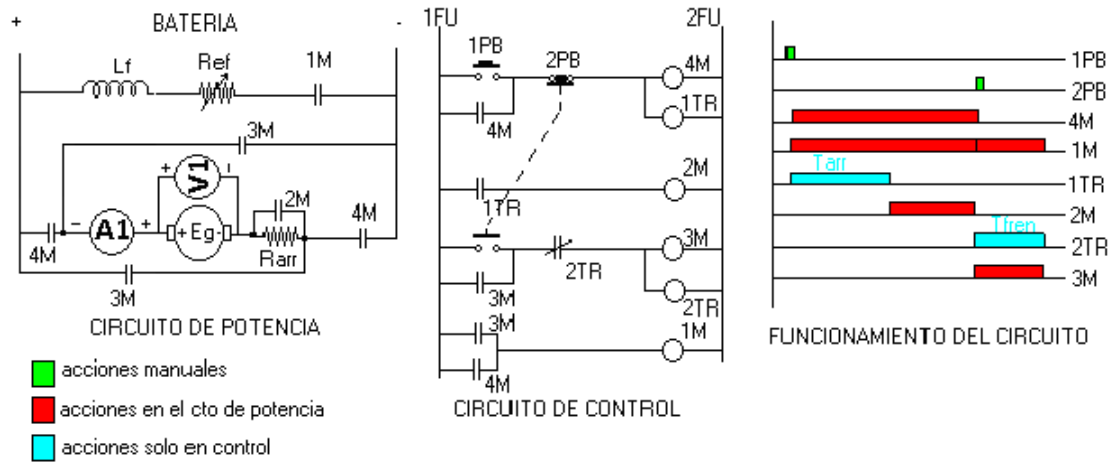


Figura 87. Prueba 5 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados

Fuente: Diseño Autor

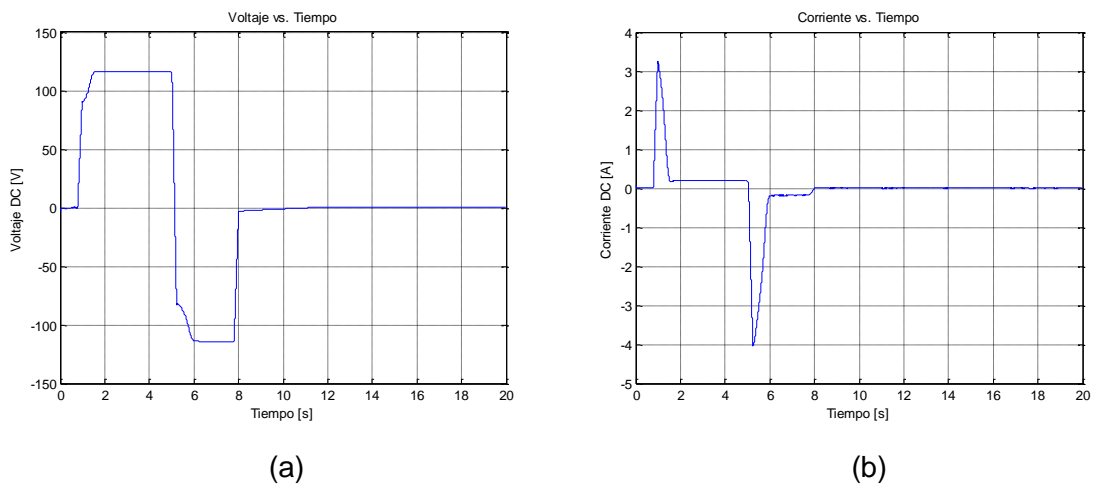
## 9.6 PRUEBA 6 FRENADO A CONTRACORRIENTE

Figura 88. Prueba 6 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

Figura 89 Prueba 6 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados

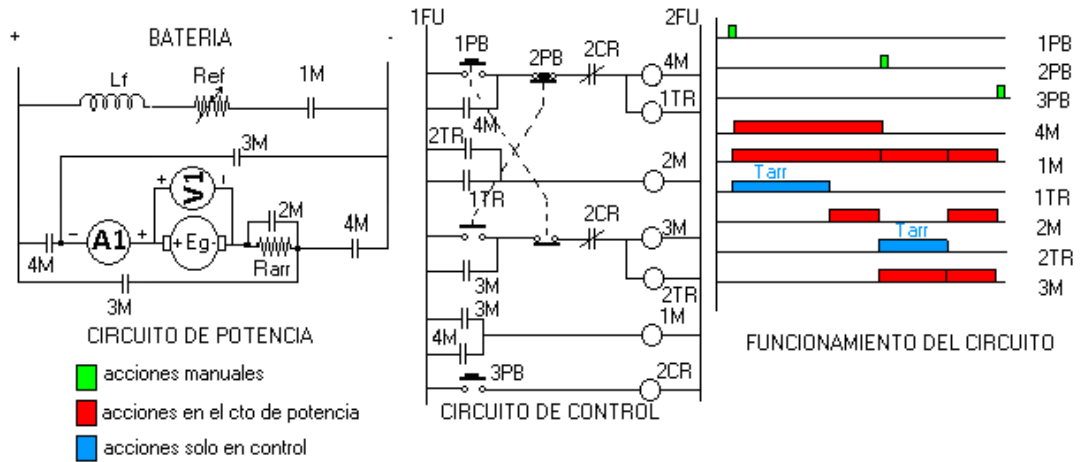


Fuente: Diseño Autor

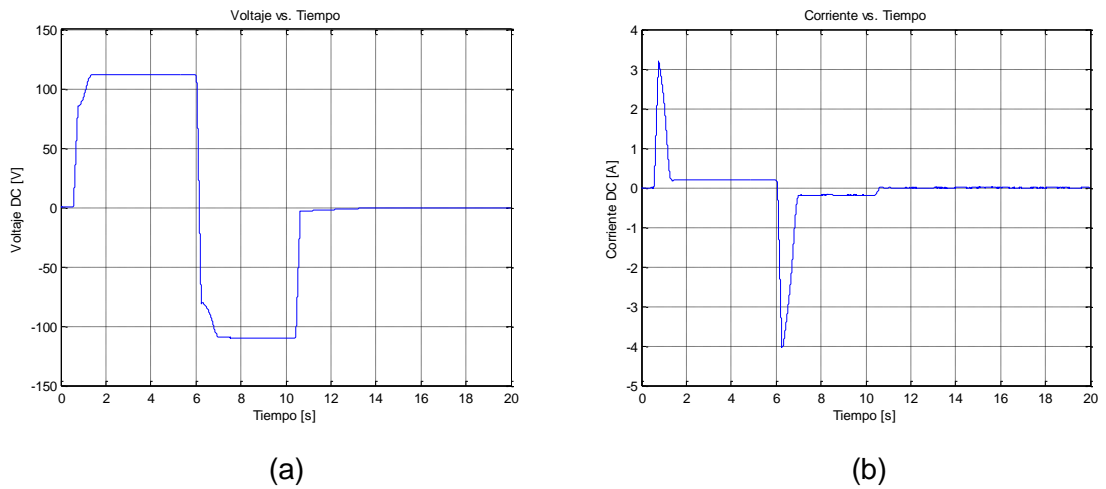


## 9.7 PRUEBA 7 INVERSIÓN DE GIRO SIN PARO PREVIO.

**Figura 90. Prueba 7 - Circuito de Potencia y Control.**



Fuente: Diseño Autor

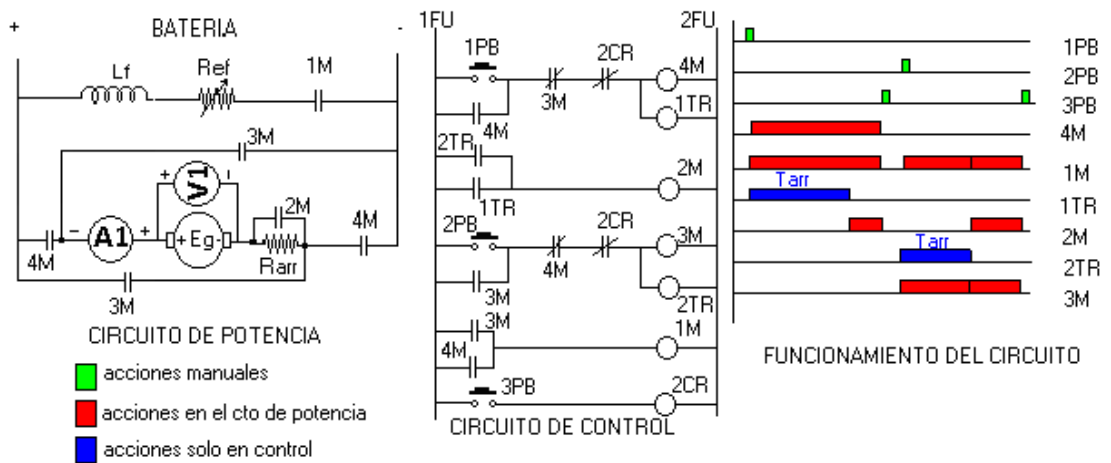


**Figura 91. Prueba 7 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados**

Fuente: Diseño Autor

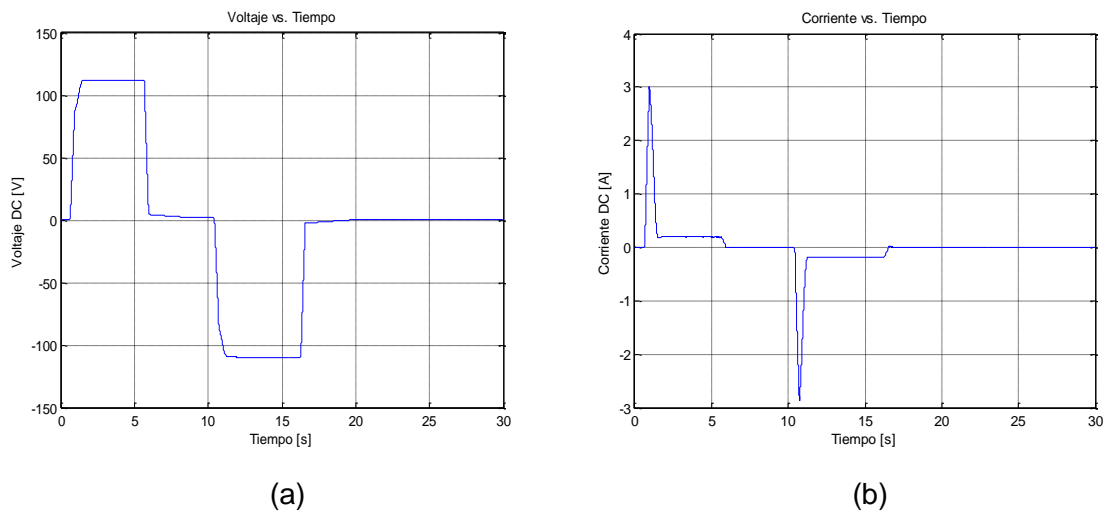
## 9.8 PRUEBA 8 INVERSIÓN DE MARCHA CON PARO PREVIO.

**Figura 92. Prueba 8 - Circuito de Potencia y Control.**



Fuente: Diseño Autor

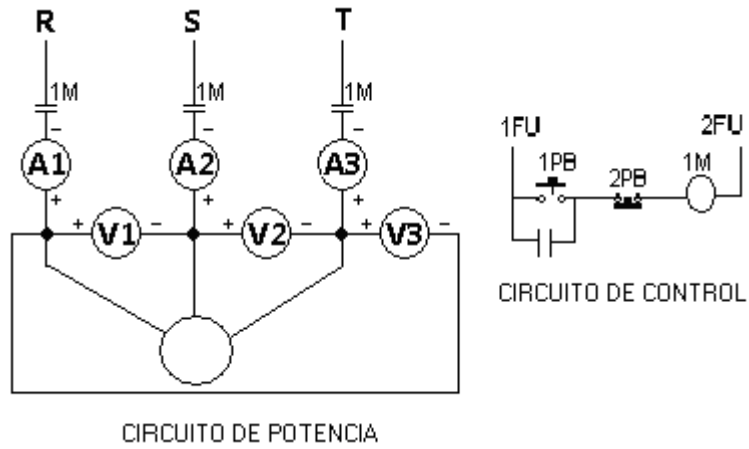
**Figura 93. Prueba 8 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados**



Fuente: Diseño Autor

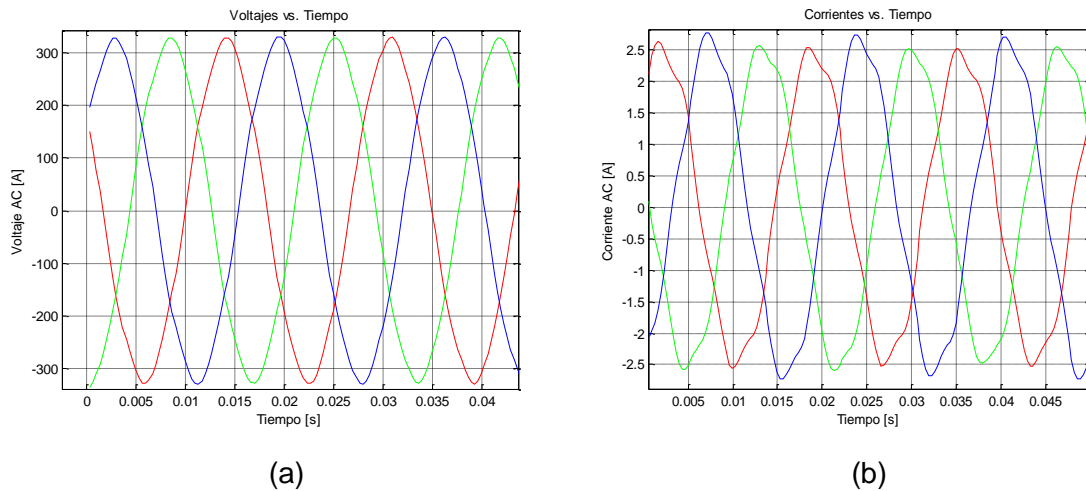
## 9.9 PRUEBA 9 ARRANQUE A PLENA TENSIÓN

Figura 94. Prueba 9 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

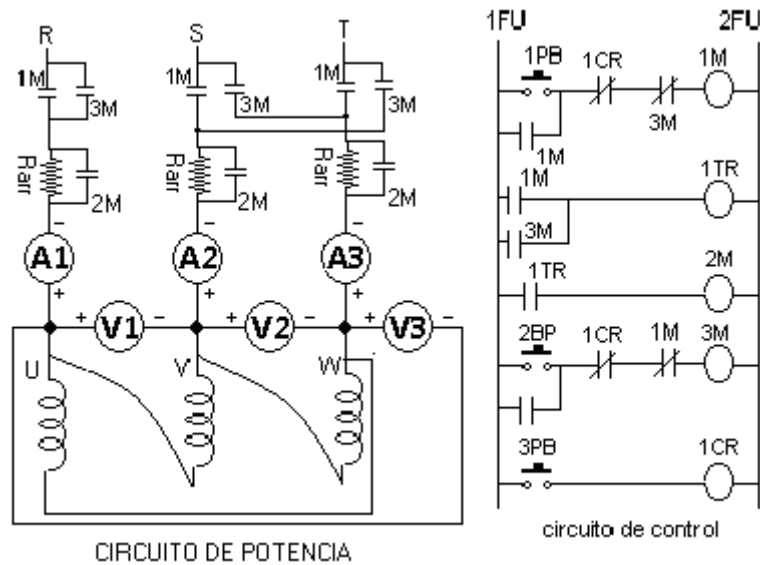
Figura 95. Prueba 9 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados



Fuente: Diseño Autor

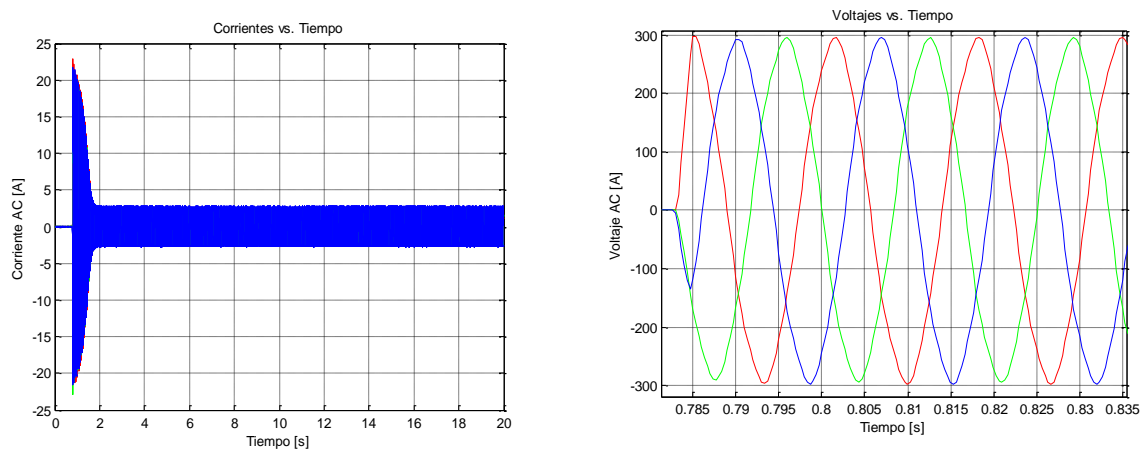
## 9.10 PRUEBA 10 ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN SERIE CON EL ESTATOR

Figura 96 Prueba 10 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

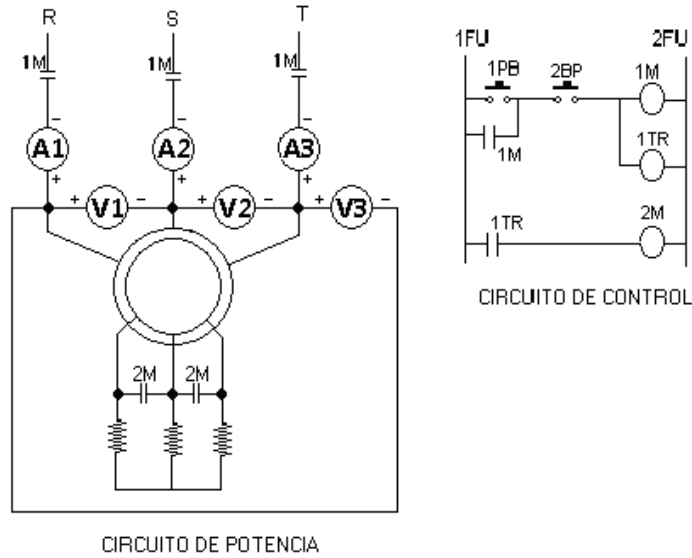
Figura 97. Prueba 10 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados



Fuente: Diseño Autor

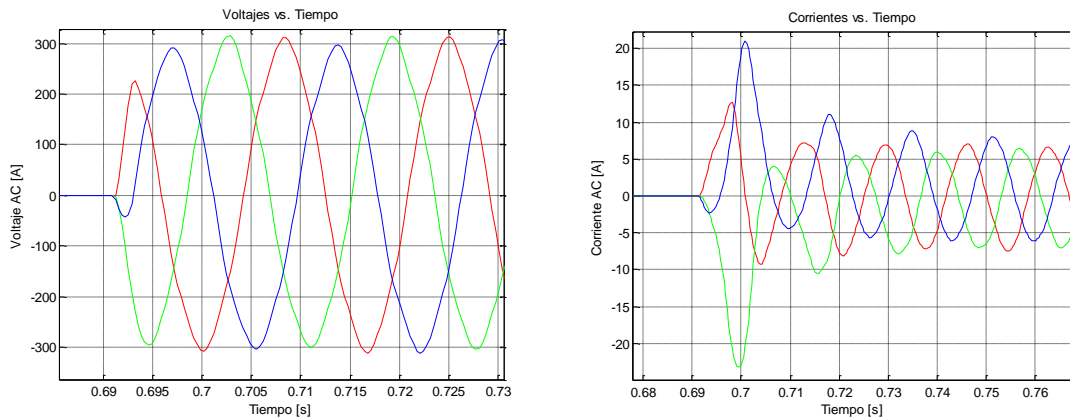
## 9.11 PRUEBA 11 ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN SERIE CON EL ROTOR

Figura 98. Prueba 11 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

Figura 99. Prueba 11 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados



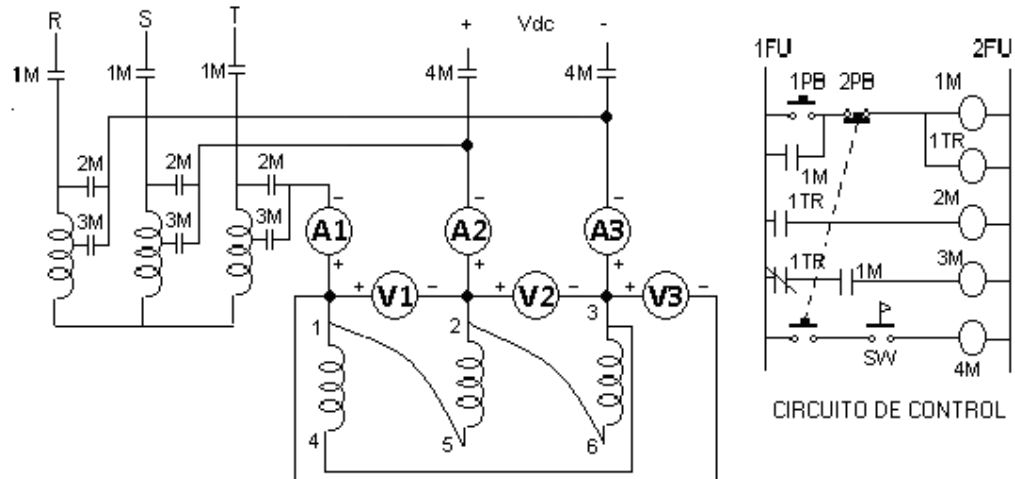
(a)

(b)

Fuente: Diseño Autor

## 9.12 PRUEBA 12 ARRANQUE CON TRANSFORMADOR Y FRENADO CON CC.

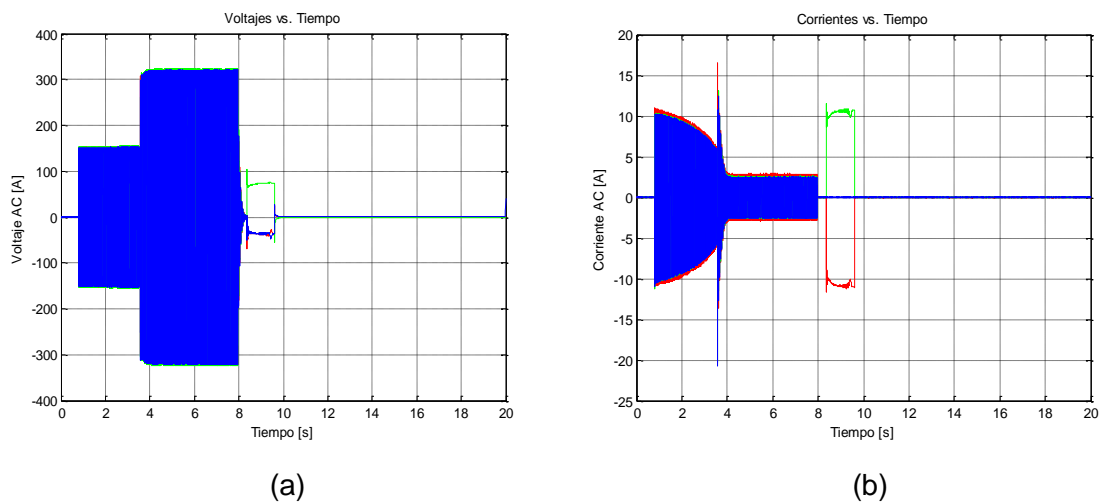
Figura 100. Prueba 12 - Circuito de Potencia y Control.



CIRCUITO DE POTENCIA

Fuente: Diseño Autor

Figura 101. Prueba 12 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados

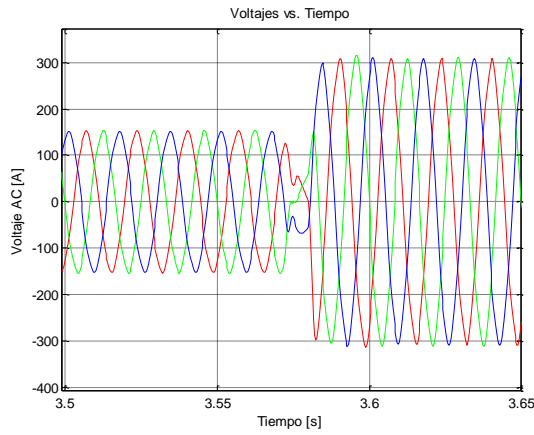


(a)

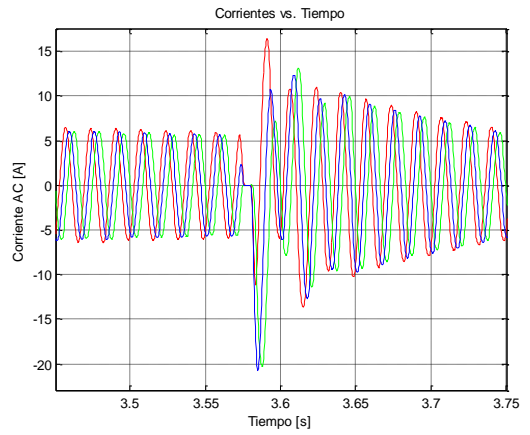
(b)

Fuente: Diseño Autor

**Figura 102. Prueba 12 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Cambio de Tension**



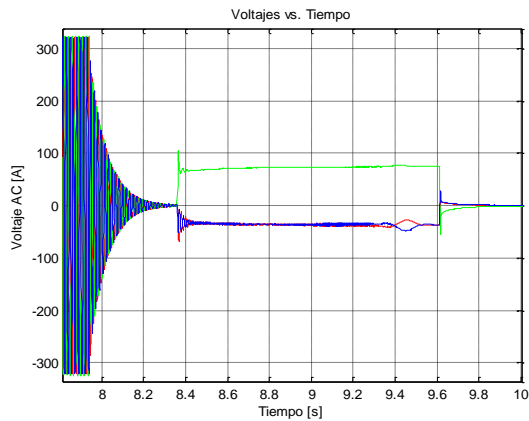
(a)



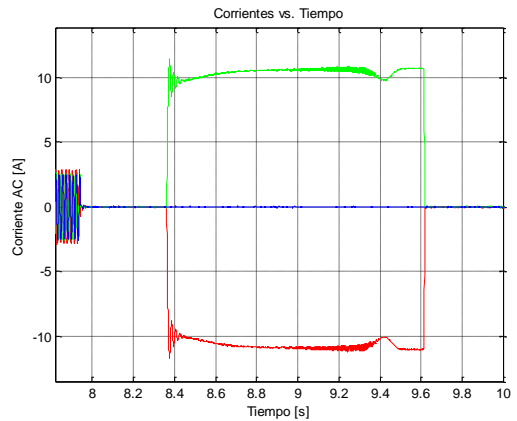
(b)

Fuente: Diseño Autor

**Figura 103. Prueba 12 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Frenado**



(a)

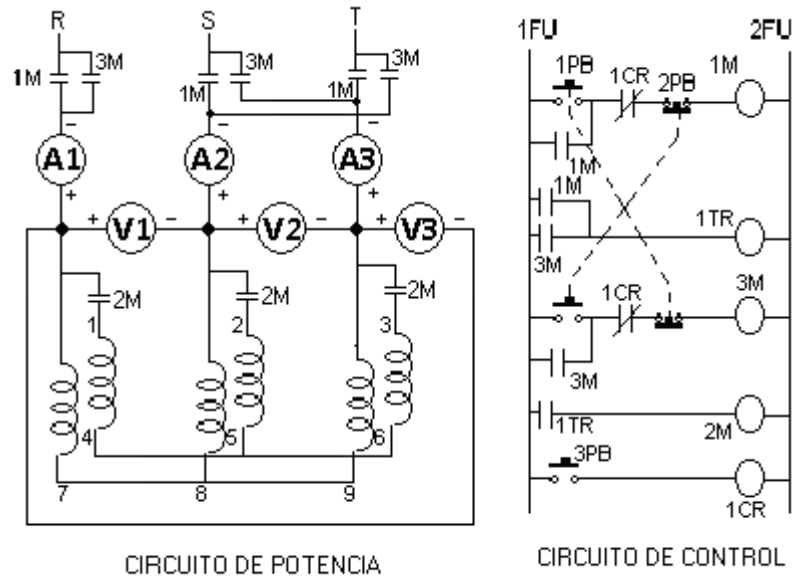


(b)

Fuente: Diseño Autor

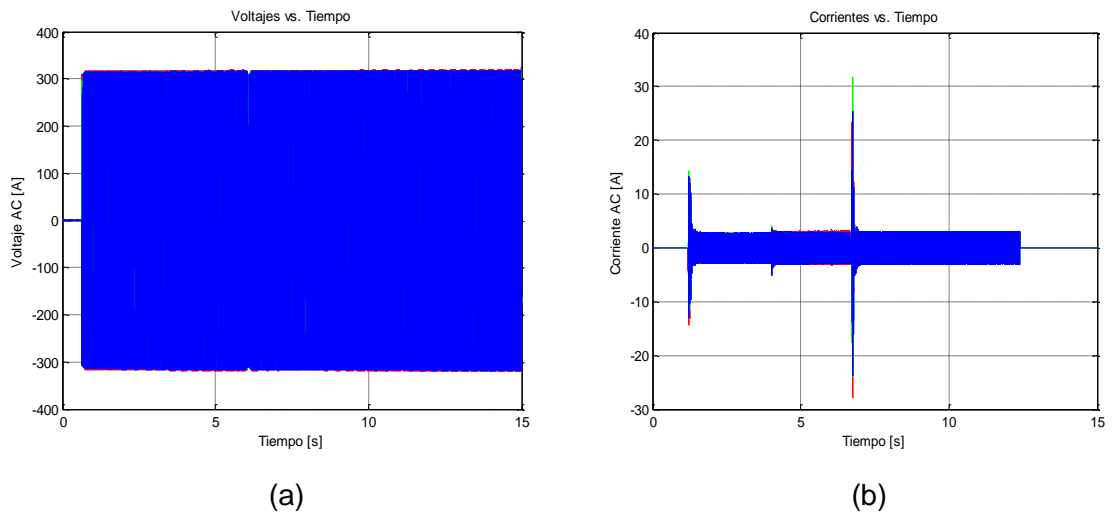
### 9.13 PRUEBA 13 ARRANQUE CON DEVANADOS PARCIALES E INVERSIÓN DE GIRO.

Figura 104. Prueba 13 - Circuito de Potencia y Control.



Fuente: Diseño Autor

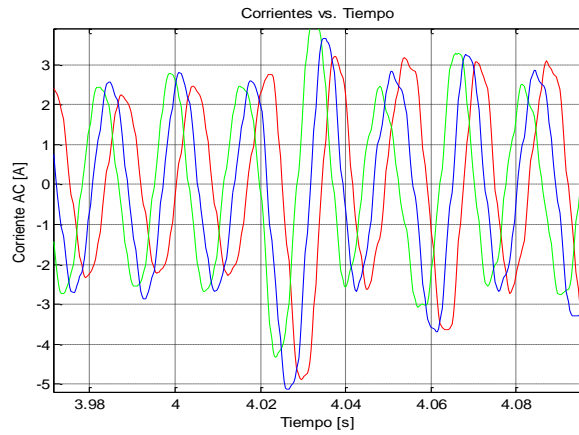
Figura 105. Prueba 13 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados



Fuente: Diseño Autor

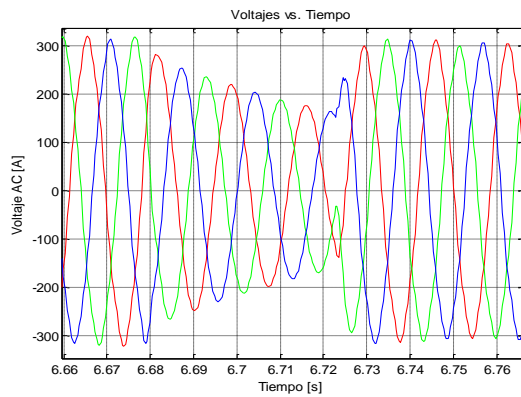


**Figura 106. Prueba 13 - Corriente Capturada en el Cambio de Devanados**

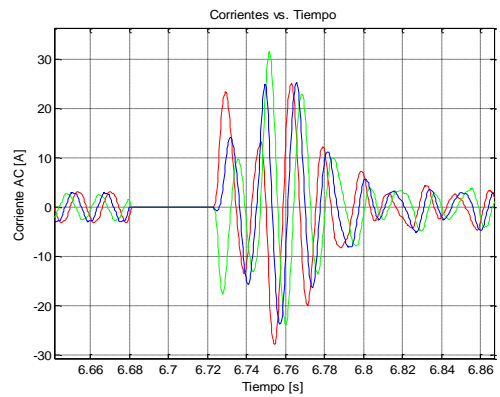


Fuente: Diseño Autor

**Figura 107. Prueba 13 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en la Inversión de Giro**



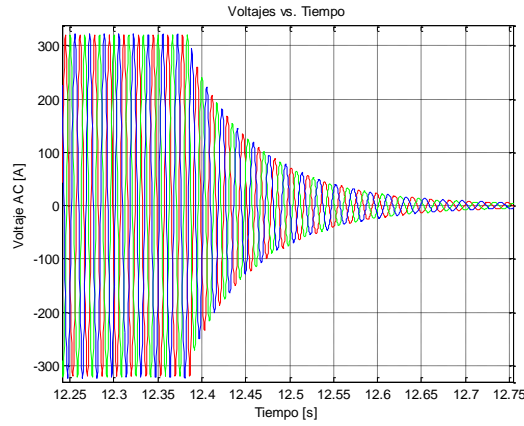
(a)



(b)

Fuente: Diseño Autor

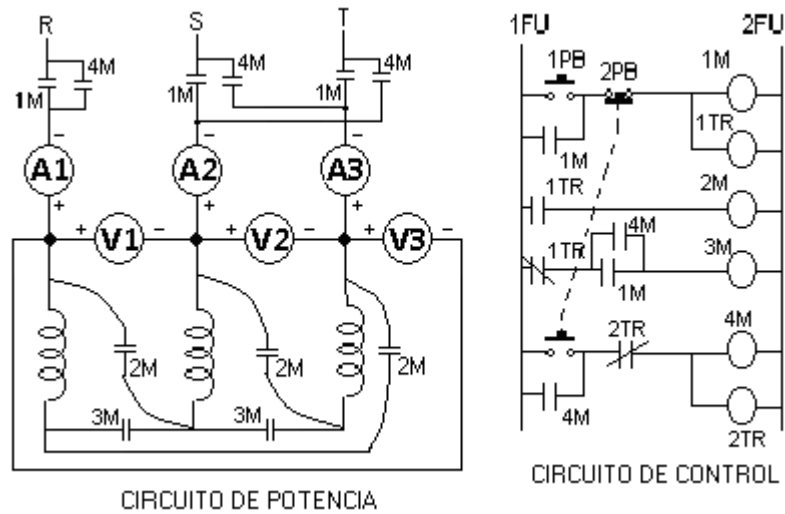
**Figura 108. Prueba 13 - Voltaje Capturado al Final de la Prueba**



Fuente: Diseño Autor

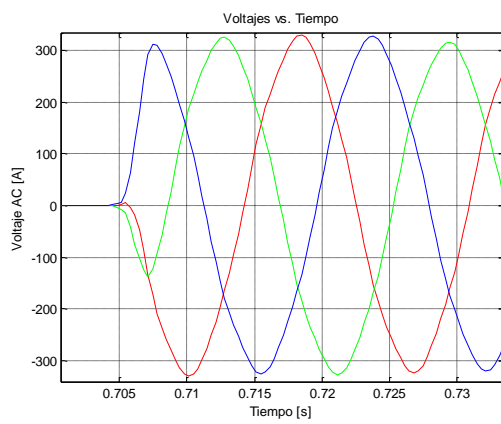
**9.14 PRUEBA 14 ARRANQUE Y-Δ CON FRENADO A CONTRACORRIENTE.**

**Figura 109. Prueba 14 - Circuito de Potencia y Control.**

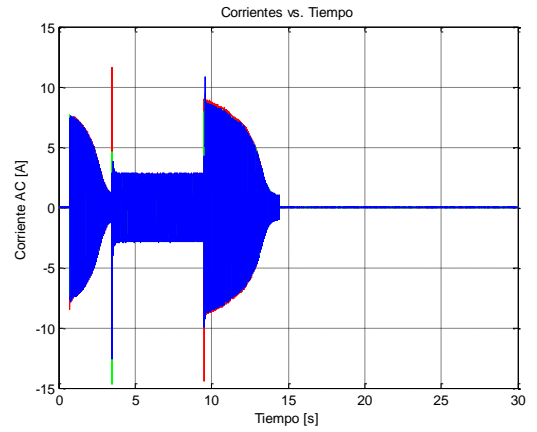


Fuente: Diseño Autor

**Figura 110. Prueba 14 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados**



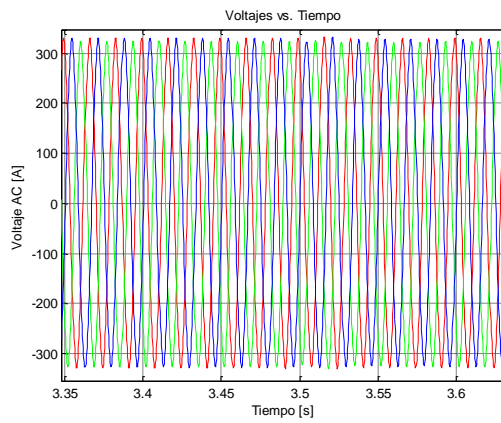
(a)



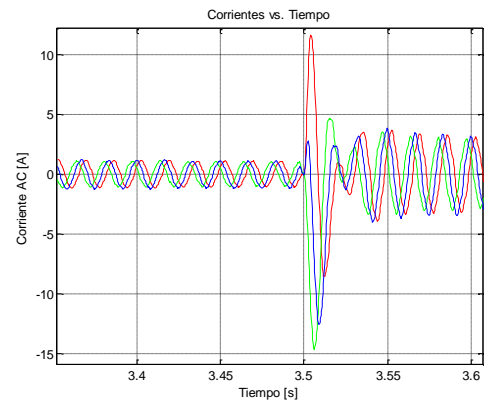
(b)

Fuente: Diseño Autor

**Figura 111. Prueba 14 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Cambio Y-Delta**



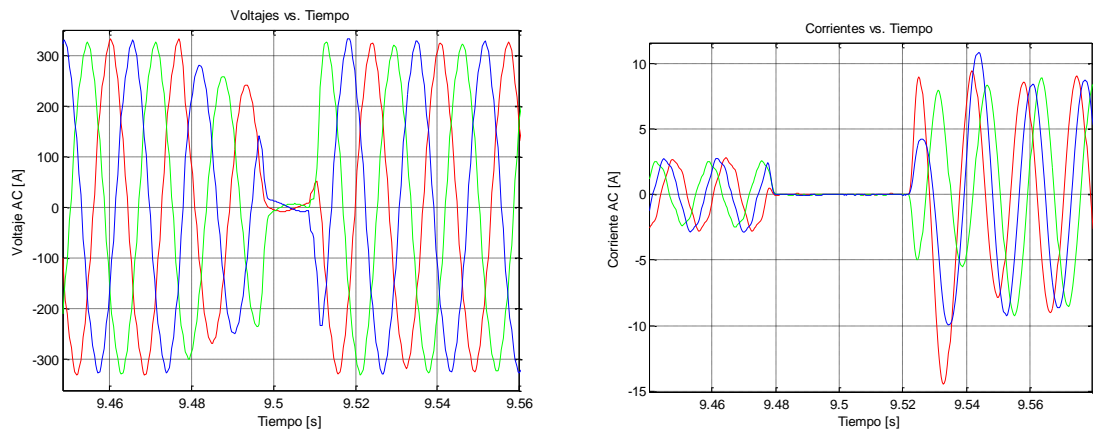
(a)



(b)

Fuente: Diseño Autor

**Figura 112. Prueba 14 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Cambio Delta – Y**

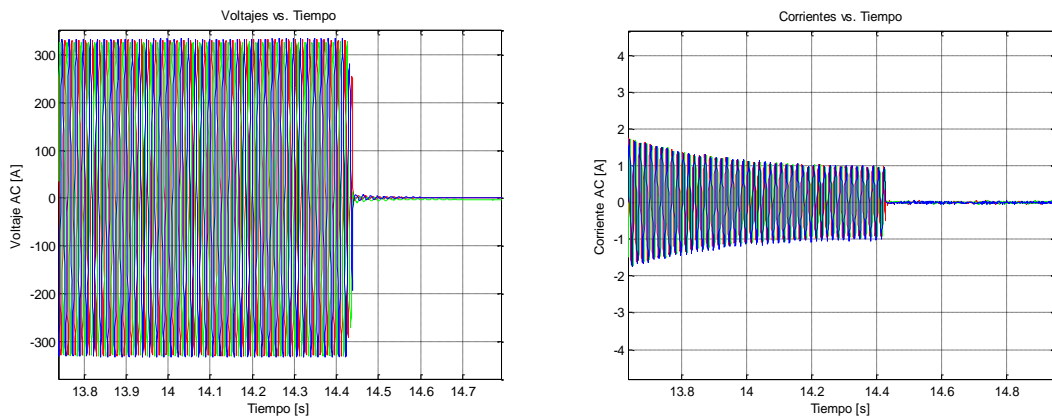


(a)

(b)

Fuente: Diseño Autor

**Figura 113. Prueba 14 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en el Frenado**



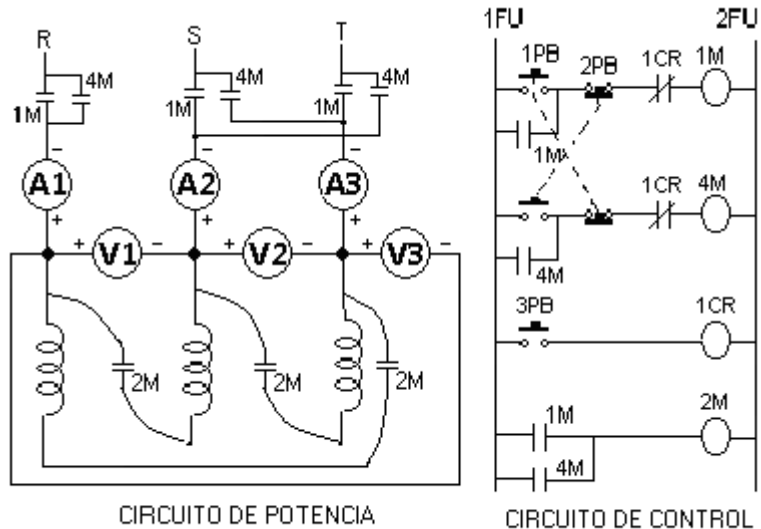
(a)

(b)

Fuente: Diseño Autor

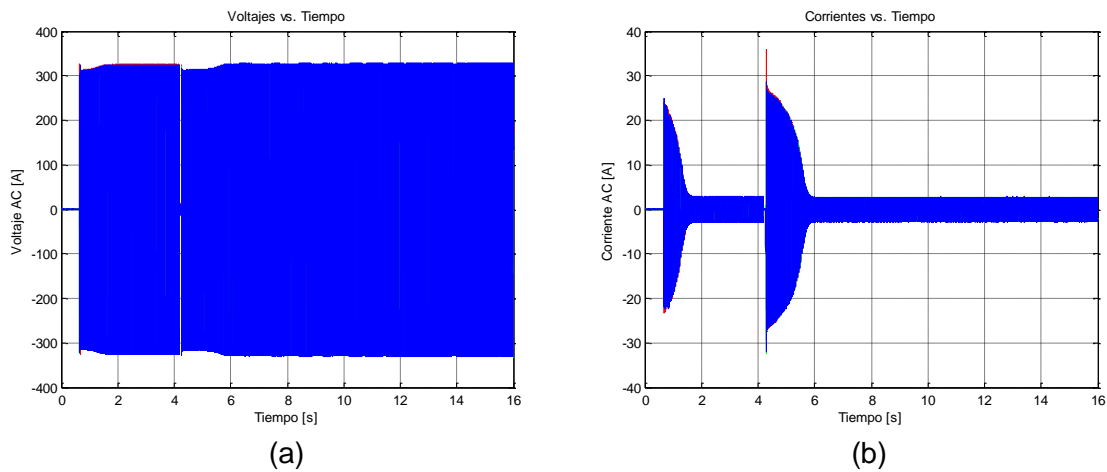
## 9.15 PRUEBA 15 INVERSIÓN DE GIRO SIN PARO PREVIO.

**Figura 114. Prueba 15 - Circuito de Potencia y Control.**



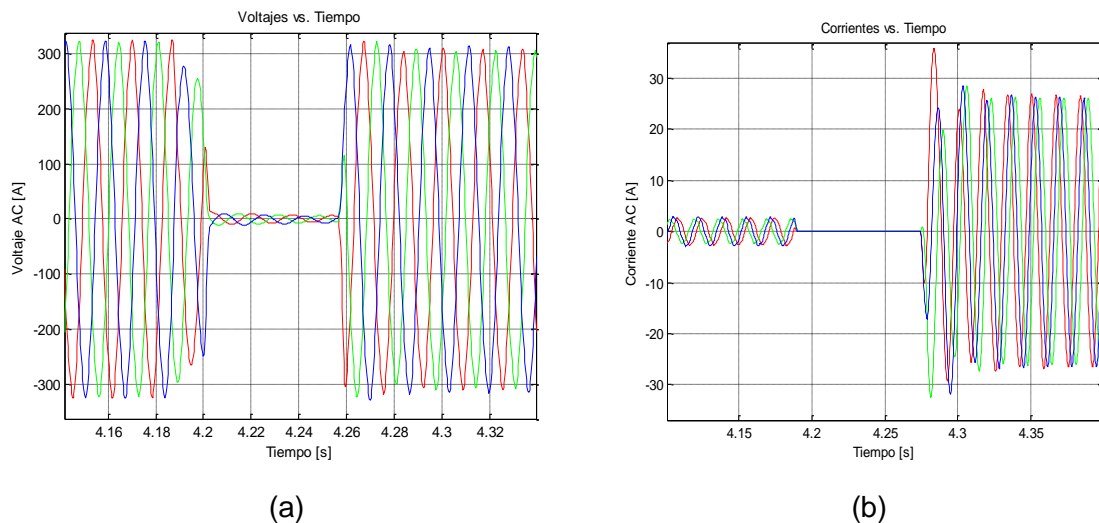
Fuente: Diseño Autor

**Figura 115. Prueba 15 - Voltaje (a) y Corriente (b) Capturados**



Fuente: Diseño Autor

**Figura 116. Prueba 15 - (a) Voltaje y (b) Corriente Capturados en la Inversión de Giro**



Fuente: Diseño Autor

Las pruebas desarrolladas permitieron apreciar y comprobar, a través de las formas de onda obtenidas en cada uno de los métodos planteados, la respuesta y el desempeño eficiente desarrollado por el Sistema de Adquisición de Señales Eléctricas en los Motores AC y DC, logrando en cada experiencia mediciones conformes y valores precisos, todo gracias a los sensores, circuitos de acondicionamiento y software implementados.

De igual forma se evidenció la trascendental respuesta del Módulo respecto a los valores picos de corriente y tensión capturados, el margen obtenido en cada una de las señales y el alto nivel de sensibilidad comprueban la eficiencia de los sensores implementados.

El diseño físico del Módulo también fue un factor preponderante, ya que a través del mismo fue posible mantener versatilidad y mayor control de manipulación sobre las conexiones dispuestas a lo largo de cada prueba.

Se describe el Módulo finalmente, como una herramienta eficaz, segura, permisible, práctica y confiable al momento de usarlo en la medición, como el prototipo ideal para la captura de señales eléctricas.

## CONCLUSIONES

Se estudió el fenómeno físico del Efecto Hall, comprendiendo cabalmente las circunstancias presentes en el mismo. Así mismo, se comprendió el uso del Efecto Hall implementado en los diversos sensores comerciales que existen actualmente, percibiendo los alcances logrados por los mismos en la industria.

Se logró incorporar los sensores de corriente de Efecto Hall en el módulo de adquisición de datos alcanzando respuestas eficientes y precisas, debido al óptimo acondicionamiento de las señales. Esto fue posible gracias al desarrollo de aplicaciones y a los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera; de esta manera se reafirma el avance de la tecnología y la necesidad que conlleva a los ingenieros a estar a la vanguardia de los cambios en las diferentes ciencias.

Se implementó el módulo convertidor UART (RS232) a USB, con el cual se aseguró una comunicación digital eficiente entre el módulo de adquisición y el ordenador.

Se logró diseñar y construir un sistema de adquisición de datos para la visualización de los parámetros eléctricos de los motores, una herramienta práctica que permite al usuario una perspectiva mejorada de las tensiones y corrientes, presentes en los diferentes modos de operación de las máquinas eléctricas rotatorias, tales como arranque, frenado e inversión de giro. Paralelamente se diseñó el sistema con la finalidad de ofrecer garantías ante cualquier error de manejo que se cometa, ya que es un módulo de uso académico y alcances industriales.



Se desarrolló una interfaz gráfica (GUI) para mejorar la comprensión e interpretación de las diferentes variables adquiridas a lo largo de las diferentes etapas presentes en las máquinas eléctricas rotatorias. Esta visualización es semejante a la que presentan los diferentes equipos comerciales. De igual manera se constituye como una herramienta de alta seguridad, confianza y precisión.

El desarrollo del proyecto conllevó de igual forma la elaboración de un manual de operación del módulo, que permitirá al usuario manipular de manera eficiente y correcta cada uno de los elementos que componen el módulo de adquisición en el momento de realizar las prácticas respectivas.

## AVANCES FUTUROS

Existen diversos aspectos que se pueden mejorar en el sistema de adquisición de datos, entre ellos están:

- ❖ La implementación de un muestreo simultaneo, con el cual se podrán hacer análisis más específicos y precisos del sistema analizado.
- ❖ Aumentar la frecuencia de muestreo del sistema, esto con el fin de poder hacer un análisis valido en armónicos del sistema y además de poder calcular otras variables importantes para el estudio de la información capturada.
- ❖ Implementar una comunicación netamente USB, con la cual se pueden obtener mayores velocidades de transmisión.
- ❖ Reducir el sistema de tal forma que pueda ser portátil y no dependa únicamente de la fuente de alimentación de alterna, para esto se debe implementar un sistema de baterías recargables.
- ❖ Capturar otro tipo de variables mecánicas implícitas en los motores, como por ejemplo la velocidad, ya que con esta se puede hacer un análisis más exhaustivo del funcionamiento del motor.
- ❖ Capturar otras variables de tipo eléctrico y que se encuentren estrechamente relacionadas con el cálculo de parámetros físico-mecánicos presentes en los motores.

## BIBLIOGRAFÍA

- **SISNIEGAS, G. & MULLER, HANS.** Efecto Hall en Silicio. SOPERFI, Revista Peruana de Física. Vol. III. Nº 2. 1991.
  
- **DOEBELIN, ERNEST O.** Sistemas de Medición e Instrumentación: Diseño y Aplicación. 5a.Edicion. Editorial McGraw-Hill, 2005.
  
- **RAMÓN PALLÁS ARENY.** Sensores y Acondicionadores de Señal. 4ª Edición. Editorial MARCOMBO.
  
- **RAMÓN PALLÁS ARENY.** Adquisición y Distribución de Señales. Editorial MARCOMBO.
  
- **FITZGERALD, A. E., CHARLES KINGSLEY, STEPHEN D. UMANS.** Máquinas Eléctricas. 6ª Edición. Editorial MC GRAW HILL
  
- **CAMPBELL, JOE.** El libro del RS-232. 2ª Edición. Editorial Anaya Multimedia, 1993.
  
- **DORF, R.C Y SVOBODA, J.A.** Circuitos Eléctricos, 5ª Edición. Editorial Alfaomega, 2003.
  
- **HAYT, W.H. Jr. KEMMERLY J.E Y DURBIN, S.M.** Análisis de Circuitos en Ingeniería. 6ª Edición. Editorial Mc Graw Hill, 2003.

- **HUBERT, C.I.** Circuitos Eléctricos CA/CC. Enfoque Integrado. Editorial Mc Graw Hill, 1985.
  
- **SOLIMAN, SAMIR S. Y SRINATH, MANDYAM.** Señales y Sistemas Continuos y Discretos. 2ª Edición. Editorial Prentice Hall, 1999
  
- **ROBERTS, MICHEL J.** Señales y Sistemas: Análisis Mediante Métodos de Transformada y MATLAB. Editorial McGraw-Hill, 2005.
  
- **ANGULO MARTÍNEZ, JOSÉ MARÍA ANGULO USATEGUI, GARCÍA ZAPIRAIN, BEGOÑA.** Microcontroladores Avanzados dsPIC: Controladores Digitales de Señales. Arquitectura, Programación y Aplicaciones. Editorial Thompson, 2006.
  
- **VILLAMIZAR RINCÓN, JUAN CARLOS.** Laboratorio de Máquinas Eléctricas. Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.
  
- **VILLAMIZAR RINCÓN, JUAN CARLOS.** Máquinas Eléctricas. Sic Editorial, 2008.
  
- **WILLIAMS, ARTHUR B.** Amplificadores Operacionales. Teoría y Aplicaciones. Editorial McGraw-Hill, 1988.
  
- **FAULKENBERRY, LUCES M.** Introducción a los Amplificadores Operacionales con Aplicaciones a CI Lineales. Editorial Limusa, 1996.
  
- **TOMASI, WAYNE.** Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 2ª Edición. Editorial Prentice Hall, 1996.

➤ **VEGA URIBE, JESÚS ANTONIO.** Matlab para Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, 2005.

➤ <http://www.fwbell.com/>

➤ <http://www.microchip.com/>

➤ <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010345>

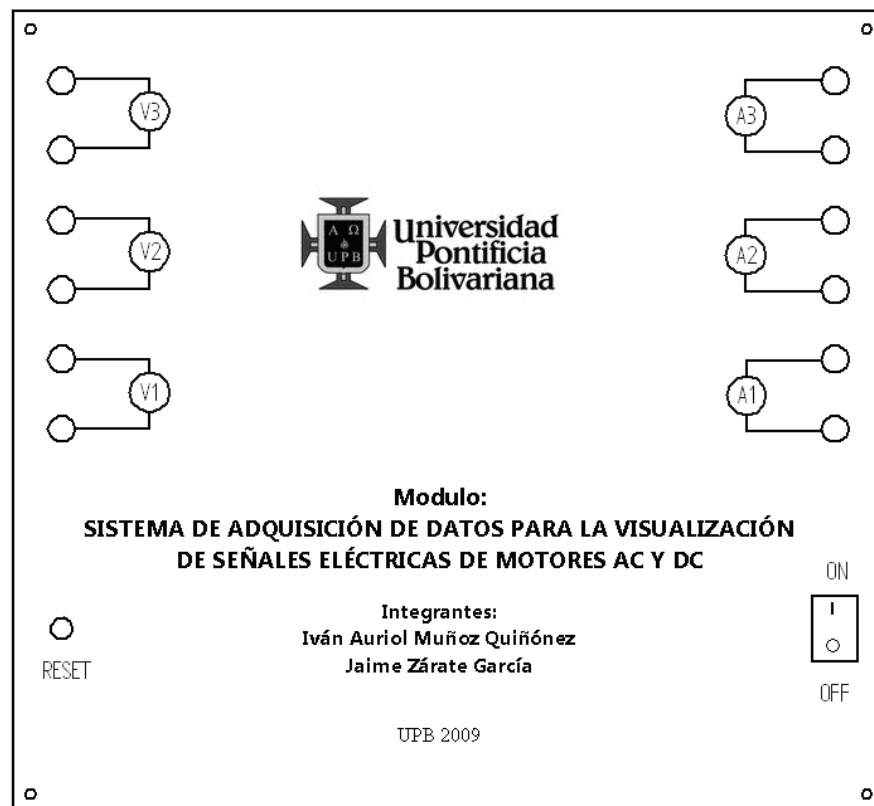
➤ [http://www.sypris.com/filemanager/library/PI-350\\_600%20datasheet.pdf](http://www.sypris.com/filemanager/library/PI-350_600%20datasheet.pdf)

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### MANUAL DE INSTRUCCIONES

#### MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA VISUALIZACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS DE MOTORES AC Y DC



**ADVERTENCIA:** PARA REDUCIR EL RIESGO DE INCENDIO O DE DESCARGA ELÉCTRICA, NO EXPONGA ESTE APARATO A LA LLUVIA Y/O HUMEDAD.

**PRECAUCIÓN:** PARA EVITAR DESCARGAS ELÉCTRICAS, INTRODUCIR TOTALMENTE TODOS LOS CONECTORES.

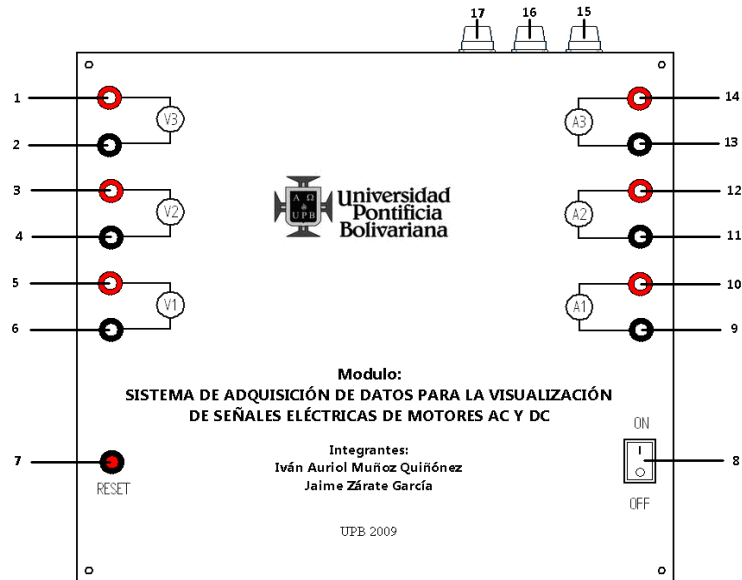


## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO	175
2. SOFTWARE ADICIONAL	177
3. CONEXIÓN DEL MÓDULO	177
4. INTERFAZ DE LA APLICACIÓN	179
5. PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	185
6. OPERACIÓN SEGURA	186
7. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	187
8. RECOMENDACIONES Y LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS	188

## DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

Figura 117. Panel Superior



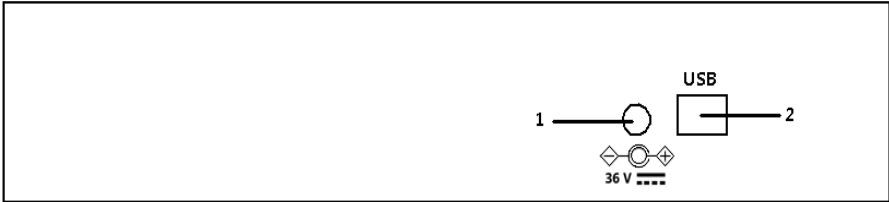
Fuente: Diseño Autor

Tabla 37. Descripción de Partes

1	Terminal positivo del Voltímetro tres (+V3)
2	Terminal negativo del Voltímetro tres (-V3)
3	Terminal positivo del Voltímetro dos (+V2)
4	Terminal negativo del Voltímetro dos (-V2)
5	Terminal positivo del Voltímetro uno (+V1)
6	Terminal negativo del Voltímetro uno (-V1)
7	Botón de restablecimiento del sistema
8	Interruptor de encendido o apagado del modulo
9	Terminal negativo del Amperímetro uno (-A1)
10	Terminal positivo del Amperímetro uno (+A1)
11	Terminal negativo del Amperímetro uno (-A2)
12	Terminal positivo del Amperímetro uno (+A2)
13	Terminal negativo del Amperímetro uno (-A3)
14	Terminal positivo del Amperímetro uno (+A3)
15	Porta fusible del Amperímetro 1 (A1FU)
16	Porta fusible del Amperímetro 2 (A2FU)

17	Porta fusible del Amperímetro 3 (A3FU)
----	--

**Figura 118. Panel Frontal del Módulo**



Fuente: Diseño Autor

**Tabla 38. Panel Frontal**

1	Conector del adaptador de 110AC/36DC
2	Conector mini USB

**Figura 119. Adaptador de voltaje AC/DC 120VAC/36VDC**



Fuente: Diseño Autor

**Figura 120. Cable USB-mini USB**



Fuente: Diseño Autor

## 2. SOFTWARE ADICIONAL

**Tabla 39. Lista de Software Recomendado**

Software	Nombre	Ubicación
Controlador del módulo de comunicación USB/UART	CDM 2.04.16	<ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="http://www.ftdchip.com/Drivers/CDM/CDM%202.04.16%20WHQL%20Certified.zip">http://www.ftdchip.com/Drivers/CDM/CDM%202.04.16%20WHQL%20Certified.zip</a></li><li>• CD Adjunto</li></ul>
Paquete de instalación “Matlab Component Runtime”	MCRInstaller	<ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="http://www.mathworks.com/matlabcentral/forums/5268/1/mcr_release14_automatic_installer.zip">http://www.mathworks.com/matlabcentral/forums/5268/1/mcr_release14_automatic_installer.zip</a></li><li>• CD Adjunto</li></ul>
Ejecutable de la aplicación	SEM.exe	<ul style="list-style-type: none"><li>• CD Adjunto</li></ul>

Este software debe ser instalado en el ordenador desde el cual ejecutarán las pruebas, sin este, es posible que el sistema funcione de manera incorrecta.

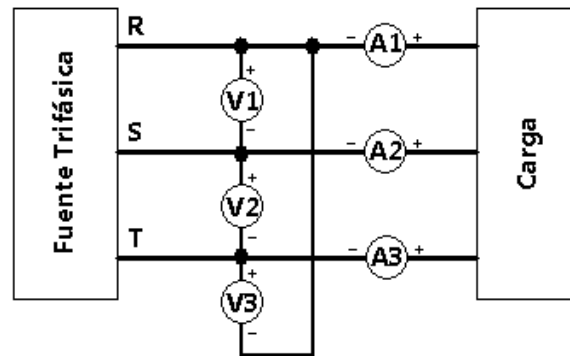
## 3. CONEXIÓN DEL MÓDULO

Con el Módulo pueden realizarse diferentes pruebas, las cuales son:

- Arranque, frenado ó inversión de giro, en motores de inducción trifásicos.
- Arranque, frenado ó inversión de giro, en motores DC.

El diagrama de conexiones básico para un motor de inducción trifásico se presenta a continuación:

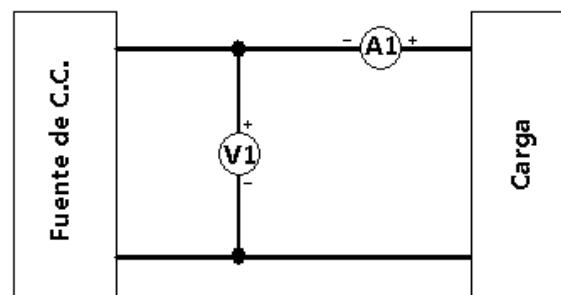
### **Figura 121. Diagrama de Conexión para Motor de Inducción**



Fuente: Diseño Autor

El diagrama de conexiones básico para un motor DC se presenta a continuación:

**Figura 122. Diagrama de Conexión para Motor DC.**



Fuente: Diseño Autor

Al realizar las conexiones tenga en cuenta la polaridad de los dispositivos, ya que esto afecta la medición y los resultados posteriores.

#### 4. INTERFAZ DE LA APLICACIÓN


Al ejecutar el archivo **SEM.exe** se abre la siguiente ventana, la cual nos indica que vamos a iniciar una nueva prueba (ver figura 7).

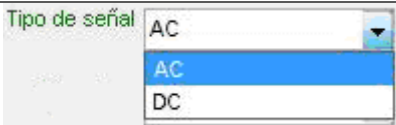





**Figura 123. Ventana de Inicio de la Interfaz**



Fuente: Diseño Autor

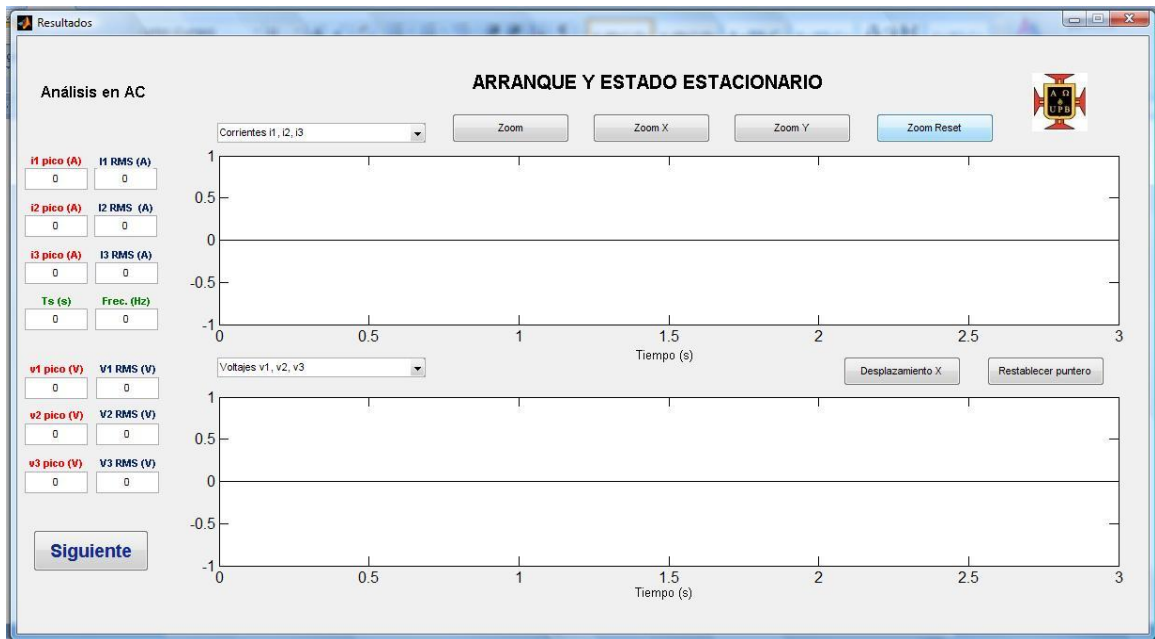
Una explicación de cada unidad se presenta a continuación:

Sección	Explicación
	En este cuadro se debe introducir el puerto COM con el cual va a trabajar el módulo, el numero de este puerto se puede ubicar en el "Administrador de dispositivos" del OS con el nombre de "USB Serial Port (COMx)"

	<p>En este cuadro se debe indicar el tipo de señal a medir, ya sea AC o DC.</p>
	<p>En este cuadro se debe indicar el tipo de prueba a realizar. El Módulo puede operar de dos formas, la primera es una prueba sencilla, como un arranque ó un frenado y la segunda es una prueba doble, como un arranque y frenado, y/o arranque e inversión de giro y sus posibles combinaciones.</p>
	<p>En esta casilla se debe ingresar el tiempo de captura. Este tiempo debe ser mayor que un segundo ó como máximo 60 segundos. Una recomendación para todas la pruebas es la de establecer 20 s, el cual es el tiempo promedio en la mayoría de las pruebas, aunque existan pruebas en las cuales solo sea necesario capturar cinco segundos.</p>
	<p>Indicador del estado de la comunicación, inicialmente se visualiza el color rojo, lo cual indica que aún no se debe iniciar la prueba, una vez cambie a color verde se procede a iniciar la prueba.</p>
	<p>Botón con el cual el módulo comienza a operar, al oprimir este botón el dispositivo comienza inicialmente un proceso de auto ajuste, una vez hecho esto el indicador de estado cambia a color verde, posteriormente se inicia la captura de datos por el tiempo estipulado por el usuario.</p>
	<p>Este botón es la salida del sistema, al dar clic sobre éste, se cerrarán todas las ventanas que fueron abiertas procedentes del software.</p>

Una vez realizado el proceso de adquisición de datos se procede automáticamente a publicar los resultados de la captura, los cuales se visualizan en la siguiente ventana:

**Figura 124. Ventana Resultados**



Fuente: Diseño Autor

En esta ventana se muestran los valores numéricos de las señales y la representación gráfica capturada. La grafica superior muestra las corrientes instantáneas y la inferior muestra los voltajes instantáneos capturados.

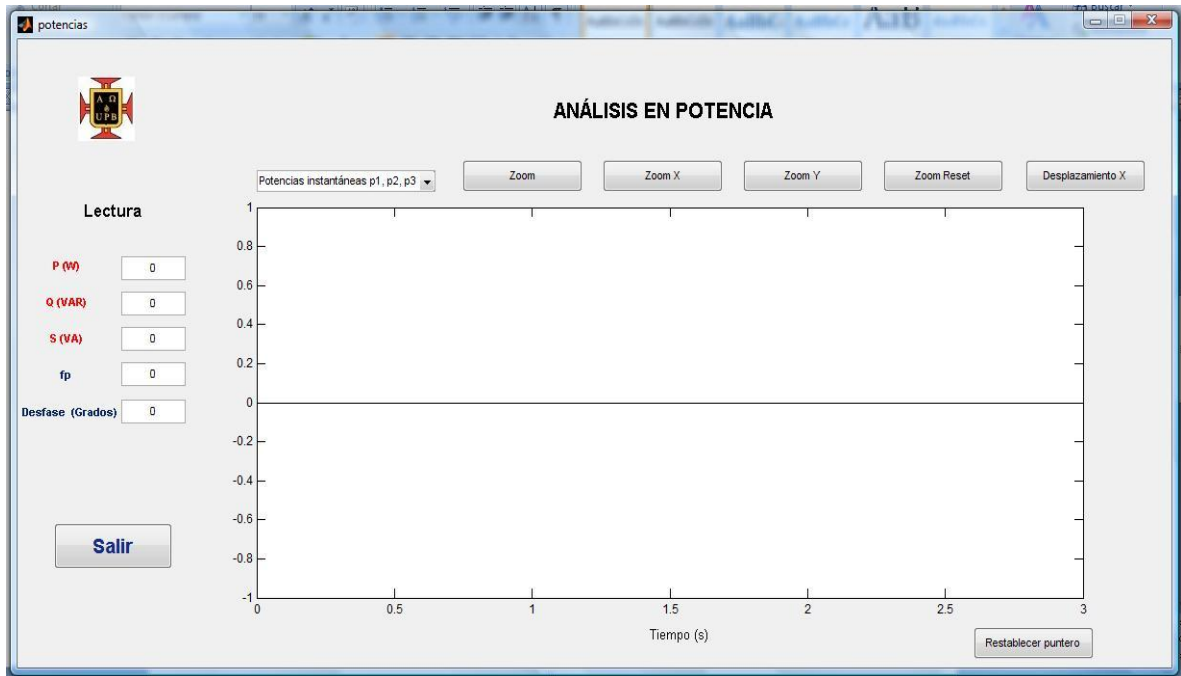
A continuación se describen los ítems que conforman la ventana:



Sección	Explicación
	<p>En esta sección de la pantalla se visualizan diversos parámetros de las señales capturadas, tales como los valores pico de las corrientes y los voltajes, los valores RMS respectivos, el tiempo de establecimiento del sistema T(s) y la frecuencia del sistema.</p>
	<p>Estos botones permiten manipular las gráficas mostradas en pantalla, con respecto a los ejes vertical y horizontal.</p>
	<p>Botones de reestablecimiento de puntero y desplazamiento en X, su funcionamiento es similar a los botones de <i>Zoom</i>.</p>
	<p>Listado que muestra las graficas mostradas en pantalla, seleccionando alguna de las opciones se procederá a la publicación de la misma.</p>
	<p>Este icono conlleva a la segunda etapa de resultados de la interfaz, una vez seleccionado permite ver la ventana del análisis en potencia de las señales capturadas.</p>

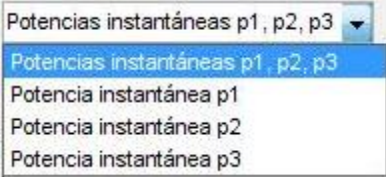

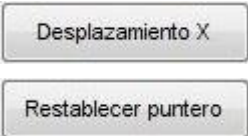

Al oprimir el botón siguiente se da paso a la visualización del análisis en potencia de las señales capturadas, cuya ventana es la siguiente (ver figura 9):

**Figura 125. Ventana Potencias**



Fuente: Diseño Autor

En esta ventana se muestra el análisis en potencia de las señales capturadas y se grafican las señales de potencia instantánea del sistema.

Sección	Explicación
<p><b>P (W)</b> <input type="text" value="0"/></p> <p><b>Q (VAR)</b> <input type="text" value="0"/></p> <p><b>S (VA)</b> <input type="text" value="0"/></p> <p><b>fp</b> <input type="text" value="0"/></p> <p><b>Desfase (Grados)</b> <input type="text" value="0"/></p>	<p>En esta sección de la pantalla se visualizan diversos parámetros del sistema medido, tales como la potencia activa, la potencia reactiva, la potencia aparente, el factor de potencia y el desfase del sistema.</p>
	<p>Listado que muestra las gráficas mostradas en pantalla, seleccionando alguna de las opciones se procederá a la publicación de la misma.</p>
	<p>Estos botones permiten manipular las gráficas mostradas en pantalla, con respecto a los ejes vertical y horizontal.</p>
	<p>Botones de reestablecimiento de puntero y desplazamiento en X, su funcionamiento es similar a los botones de <i>Zoom</i>.</p>
	<p>Estos iconos cambian dependiendo de la prueba realizada, si es una prueba sencilla finaliza la aplicación, pero si es un prueba doble continua mostrando datos referentes a la segunda parte de la prueba y al final de toda la prueba muestra la opción de la salida.</p>

Un caso particular es cuando se realiza una prueba doble, es necesario que el usuario indique el tiempo en el cual el programa debe dividir la señal capturada, en otras palabras suministrar un tiempo intermedio entre las secciones de la prueba. Para realizar dicho proceso se muestra toda la captura del sistema, luego el usuario debe asignar un valor en el tiempo, de esta manera determina cuando la señal está estable, lo cual sucede generalmente al finalizar el arranque. En la figura 10 se muestra de forma predeterminada el valor de 5s.

**Figura 126. Ventana de Tiempo de Establecimiento**



Fuente: Diseño Autor

## **5. PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

Los pasos presentados a continuación representan el proceso en general, para la captura de datos con el Módulo de Adquisición:

1. Instale el software necesario en el ordenador, expuesto anteriormente.
2. Energice el Módulo (verificando previamente que el Módulo este apagado), para esto conecte el adaptador de voltaje AC/DC.
3. Encienda el Módulo.
4. Conecte el Módulo con el ordenador, para esto utilice el cable USB - mini USB.
5. Realice las conexiones de potencia necesarias, teniendo en cuenta todas las recomendaciones de seguridad.
6. Ejecute el software del Módulo.

7. Estipule el puerto COM, el tipo de señal a medir, el tipo de prueba y el tiempo a capturar.
8. Energice el tablero donde se encuentra el montaje (previamente cableado).
9. De clic en el botón de Iniciar.
10. Espere que el indicador de estado muestre un color verde, una vez publicado dicho color inicie la prueba en el tablero.
11. Espere que en el ordenador se publique la información y luego apague el tablero respectivo.
12. Tome los datos necesarios.
13. Cierre la aplicación.
14. Desconecte el Módulo.

## **6. OPERACIÓN SEGURA**

Para lograr una operación segura del módulo de medición es necesario seguir éstas recomendaciones

- ✓ Velar por que cualquiera que utilice el dispositivo haya leído y comprendido el manual de operación y las instrucciones de seguridad.
- ✓ El dispositivo puede ser usado sólo bajo ciertas condiciones ambientales. Para esto es necesario garantizar que estas se ajusten a las admisibles de los laboratorios respectivamente, las cuales están detalladas en este manual.
- ✓ Antes de usar el módulo, inspeccionar si el mismo presenta daños o irregularidades.
- ✓ Revisar o solicitar asistencia por un monitor para verificar si las conexiones realizadas están correctas.
- ✓ Antes de utilizar el instrumento inspeccione las sondas de tensión, los cables de prueba y los accesorios, para garantizar de que no presenten daños físicos; si están dañados, informe al docente y realice los cambios necesarios.

- ✓ Conecte de forma adecuada y prudente los dispositivos de alimentación y comunicación del módulo.
- ✓ Si detecta cualquier daño en el módulo, cable de alimentación o los conductores de conexión de potencia, proceda inmediatamente a la desconexión de todas las fuentes de alimentación, tanto del módulo como del circuito de potencia. Igualmente retire el cable USB del ordenador.
- ✓ Si tiene dudas sobre el funcionamiento seguro del dispositivo, apague inmediatamente el módulo y consulte el manual o al personal pertinente.
- ✓ Desconecte todas las sondas, cables de prueba y accesorios que no esté utilizando.
- ✓ No aplique tensiones de entrada superiores a la tensión nominal del instrumento.
- ✓ No introduzca objetos metálicos en los conectores.
- ✓ Utilice siempre el instrumento de medida únicamente de modo especificado por el presente manual.

## **7. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA**

Voltaje de Alimentación Externa	120VAC a 60Hz
Tensión de entrada	36 a 50VDC
Temperatura de operación	-20°C a 85°C
Potencia	Valor típico 4W
Aislamiento de voltaje	6kV
Aislamiento de corriente	3kV

## 8. RECOMENDACIONES Y LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS

### Solución de Errores en la Comunicación

La comunicación de RS-232 puede ocasionar problemas. Si la comunicación experimenta problemas, intente las siguientes soluciones:

- Asegúrese de que el cable de interfaz está conectado al puerto correcto del módulo y del ordenador.
- Asegúrese de haber instalado tanto los *drivers* del módulo de comunicación, así como el software de la interfaz gráfica en el ordenador.
- Asegúrese de que ha seleccionado el puerto COM correcto (lo cual se verifica en el “Administrador de dispositivos” de su ordenador).

Si presenta fallas al ejecutar el programa del módulo en el ordenador proceda de la siguiente forma:

**Tabla 40. Localización de Averías**

Problema	Solución
No logro comunicar mi ordenador con el Módulo.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Desconecte el cable USB del ordenador.</li><li>2. Apague y encienda el Módulo.</li><li>3. Oprima el botón de Reset</li><li>4. Conecte el cable USB al ordenador.</li><li>5. Proceda con el proceso de captura nuevamente.</li></ol>
Cuando estoy haciendo la prueba se apaga el módulo.	Encienda el tablero (Laboratorio de Máquinas Eléctricas) y reinicie la prueba.
No enciende el módulo	Asegúrese que el módulo este energizado.
El software no muestra una de las señales tomadas.	Revise que los conductores de potencia estén bien conectados y que presenten continuidad.
El software no muestra ninguna señal ó dato.	El Módulo falló, repita la prueba.
El módulo no me captura toda la prueba.	Repita la prueba, teniendo en cuenta que el tiempo de captura de datos debe ser mayor que el tiempo que dura la prueba. Consulte este tiempo con el docente.





**ANEXO  
B**

# PI and PI-600

# Open Loop Hall Effect

### Description

The PI and PI-600 Hall effect current sensors accurately measure DC and AC currents and provide electrical isolation between the output of the sensor and the current carrying conductor.



### Features

- High accuracy
- Wide frequency range
- Excellent linearity
- Safety isolation
- P.C. board mount

### Applications

- Industrial • Automotive • Appliances
- Ideal Replacement for Shunt or CT
- Battery Monitoring
- Load Monitoring at the point of Distribution process control on PCB, the back plane or fuse
- U.P.S. (Uninterruptable Power Supply)

### Measuring Circuit

	Units	PI	PI-600
Full Scale (FS) DC or AC peak.....	± A	350	600
Full Scale output (1) .....	± mV	175 to 385	150 to 330
AC Bandwidth (+3 dB of reading) (2) .....	kHz	DC to 1	
Response time .....	µs	< 50	

### Excitation Circuit

Maximum excitation current (Ic) .....	mA	40	
Input resistance .....	ohms	30 to 120	

### Output

Sensitivity .....	mV/A	0.5 to 1.1	0.25 to 0.55
Linearity .....	0-100 A	±1.5 A	
	100-350 A	±5.25 A	
	0-600 A		±12 A
Typical zero current offset .....	± mV	3	
Maximum zero current offset .....	± mV	16	
Maximum hysteresis of offset (3) .....	± mV	2	1.4
Minimum load resistance .....	k ohms	>10	
Output resistance .....	ohms	70 to 300	

### Influences On Accuracy

Typical offset drift with temperature .....	±µV/°C	0	
Maximum offset drift with temperature .....	±µV/°C	0	
Excitation change of ±1% - Max. sensitivity change .....	± %	1	
Typical sensitivity drift with temperature .....	% /°C	0.05	
Maximum sensitivity drift with temperature .....	% /°C	0.07	

### Withstand Capabilities

Dielectric test (4) .....	kV	6	
Output short or open .....		No Damage	

### General Information

Operating temperature range.....	°C	-40 to +100	
Storage temperature range.....	°C	-40 to +110	
Package .....		Potted, flame retardant plastic case	
Aperture opening.....	inches(mm)	0.8 (20.3)	
Weight .....	grams	17	
Mounting .....		Hold down tabs secure sensor to PCB	
Output reference .....		To obtain a differentially positive output on pin marked +V <sub>H</sub> , positive conventional current must flow as per the direction of arrow marked on sensor.	



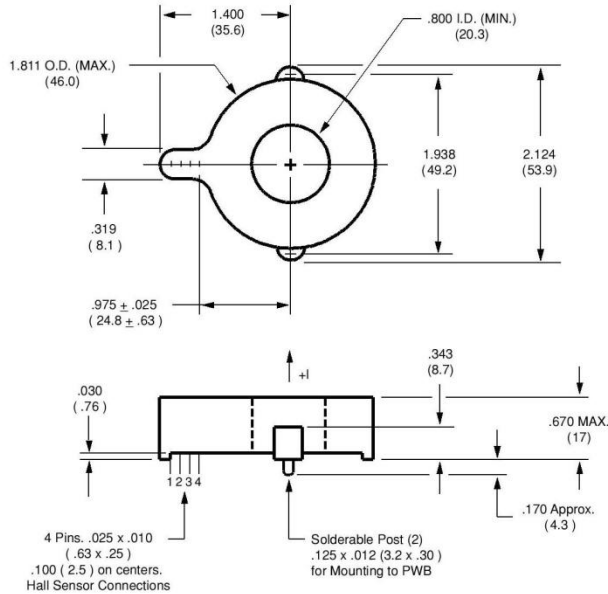
**SYPRIS**  
TEST & MEASUREMENT

6120 Hanging Moss Road • Orlando, Florida 32807 • [www.fwbell.com](http://www.fwbell.com)  
Phone (407) 678-6900 • Fax (407) 677-5765 • Toll Free (800) 778-6117

## Mechanical Dimensions

All dimensions are in inches (millimeters)

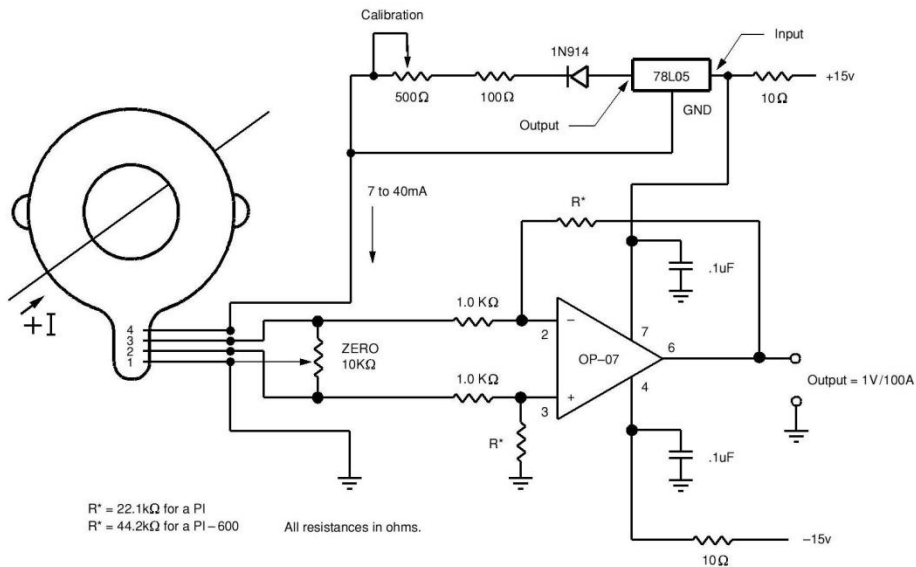
### Models PI and PI-600



#### Pin Identification

- 1 -IC Negative Control Current
- 2 +VH Positive Output Voltage
- 3 -VH Negative Output Voltage
- 4 +IC Positive Control Current

#### Typical Amplifier Circuit for Current Measurements



#### Notes

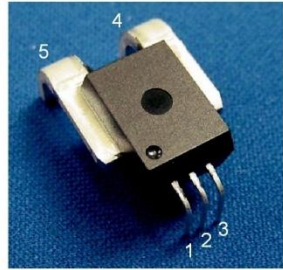
1. All specifications are given with a control current ( $I_c$ ) of 40 mA.
2. Consult F.W. Bell if the product of the aperture current and frequency exceeds 400 ampere-kilohertz.
3. Hysteresis specifications given for Full Scale aperture current remnant.
4. The dielectric test consist of 6 kV ac at 60 Hz for one minute between a bare 0.750 inch diameter conductor. (located concentrically through the aperture) and the output of the sensor.
5. Due to continuous process improvement, all specifications are subject to change without notice.



**SYPRIS**  
TEST & MEASUREMENT

6120 Hanging Moss Road • Orlando, Florida 32807 • [www.fwbell.com](http://www.fwbell.com)  
Phone (407) 678-6900 • Fax (407) 677-5765 • Toll Free (800) 778-6117

# Current Sensor: ACS752SCA-050



Pin 1:  $V_{CC}$       Terminal 4:  $I_{p+}$   
 Pin 2: Gnd        Terminal 5:  $I_{p-}$   
 Pin 3: Output

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Operating Temperature	
S	-20 to +85°C
Supply Voltage, $V_{CC}$	16 V
Output Voltage	16 V
Output Current Source	3 mA
Output Current Sink	10 mA
Maximum Storage Temperature	170°C
Maximum Junction Temperature	165°C

Always order by complete part number:

**ACS752SCA-050**



ACS75250-DS Rev. 3

The Allegro ACS752 family of current sensors provides economical and precise solutions for current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows easy implementation by the customer. Typical applications include: motor control, load detection and management, switched mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The sensor consists of a precision linear Hall IC, which is optimized to an internal magnetic circuit to increase device sensitivity. The combination of a precisely controlled self-aligning assembly process (patents pending), and the factory programmed precision of the linear Hall sensor, result in high-level performance and product uniformity.

The primary conductor used for current sensing (terminals 4 and 5) is designed for extremely low power loss. These power terminals also are electrically isolated from the sensor leads (pins 1, 2, and 3). This allows the ACS752 family of sensors to be used in applications requiring electrical isolation, without using optoisolators or other costly isolation techniques.

The output of this device has a positive slope ( $>V_{CC}/2$ ) when an increasing current flows from terminal 4 to terminal 5.

The ACS752 family is lead-free. All leads are coated with 100% matte tin, and there is no lead inside the package. The heavy gauge leadframe is made of oxygen-free copper.

## Features and Benefits

- Monolithic Hall IC for high reliability
- Single +5 V supply
- High isolation voltage
- Lead-free
- UL recognized
- End-of-line factory-trimmed for gain and offset
- Ultra-low power loss: low resistance of primary conductor
- Ratiometric output from supply voltage
- Low thermal drift of offset voltage
- On-chip transient protection
- Small package size, with easy mounting capability

## Applications

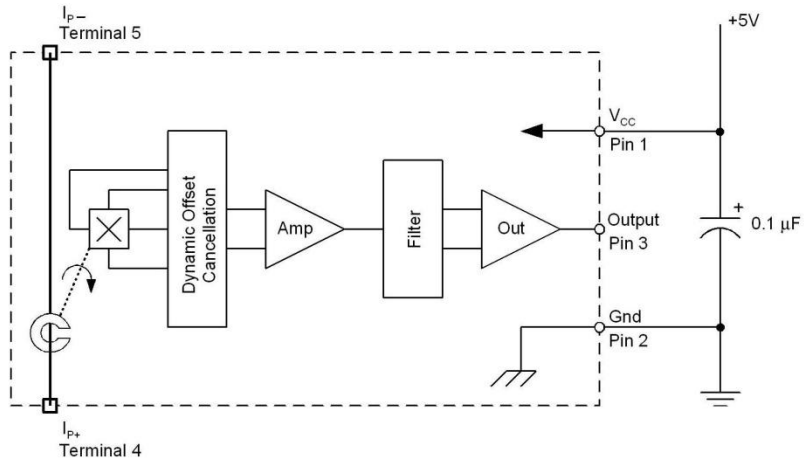
- Industrial systems
- Motor control
- Power distribution
- Battery powered systems
- Electric vehicles



Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000  
 Copyright © 2003, Allegro MicroSystems, Inc.

# Current Sensor: ACS752SCA-050

Functional Block Diagram



# Current Sensor: ACS752SCA-050

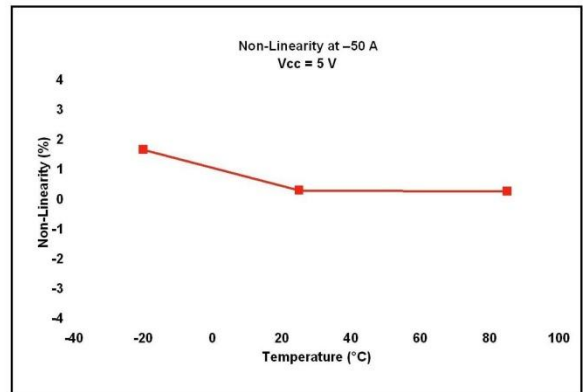
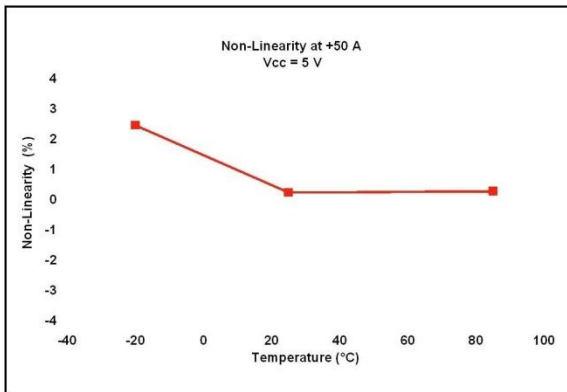
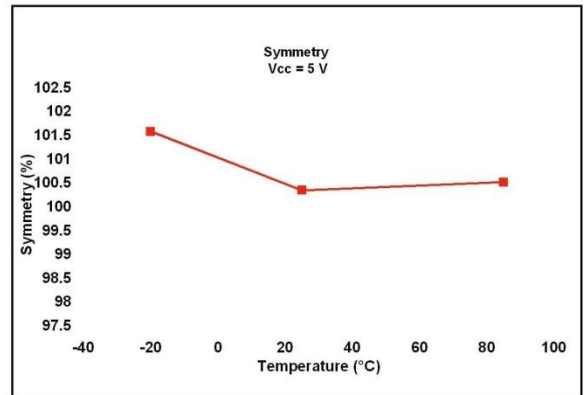
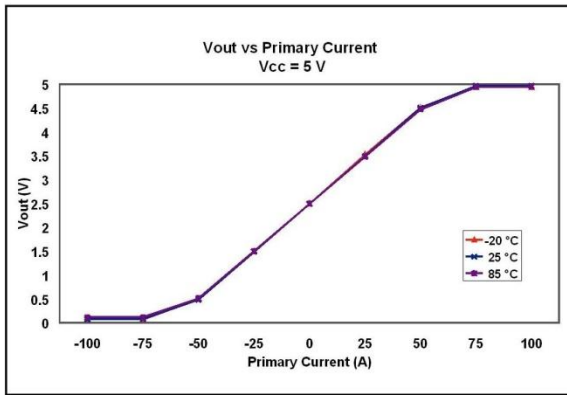
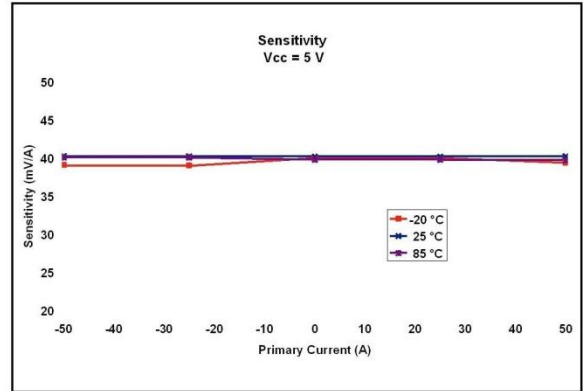
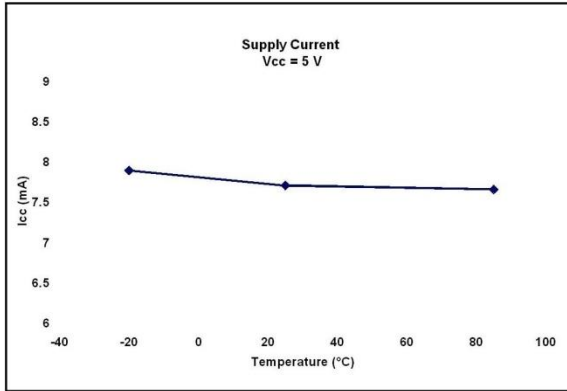
## ELECTRICAL CHARACTERISTICS, over temperature unless otherwise stated

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Primary Sensed Current	$I_P$		-50	-	50	A
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	-	7	10	mA
Output Resistance	$R_{OUT}$	$I_{OUT} = 1.2$ mA	-	1	2	$\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$I_P = \pm 100$ A, $T_W = 25^\circ\text{C}$	-	130	-	$\mu\Omega$
Isolation Voltage	$V_{ISO}$	Pins 1-3 and 4-5, 60 Hz, 1 minute	3.0	-	-	kV
<b>PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -20°C to +85°C, <math>V_{CC} = 5</math> V unless otherwise specified</b>						
Propagation time	$t_{PROP}$	$I_P = \pm 50$ A, $T = 25^\circ\text{C}$	-	4	-	$\mu\text{s}$
Response time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = \pm 50$ A, $T = 25^\circ\text{C}$	-	8	-	$\mu\text{s}$
Rise time	$t_r$	$I_P = \pm 50$ A, $T = 25^\circ\text{C}$	-	7	-	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	f	-3 dB, $T = 25^\circ\text{C}$	-	50	-	kHz
Sensitivity	Sens	$\pm I_P$ , $T = 25^\circ\text{C}$	38.0	40.0	42.0	mV/A
		$\pm I_P$	37.0	-	42.5	mV/A
Noise	$V_{NOISE}$	Peak-to-peak, $T = 25^\circ\text{C}$ , no external filter	-	75	-	mV
Nonlinearity	$E_{LIN}$	$\pm I_P$	-	-	$\pm 4$	%
Symmetry	$E_{SYM}$	$\pm I_P$	97.5	100	102.5	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	$I = 0$ A, $T = 25^\circ\text{C}$	-	2.5	-	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	$V_{OE}$	$I = 0$ A, $T = 25^\circ\text{C}$	-40	-	40	mV
		$I = 0$ A	-60	-	60	mV
Magnetic Offset Error	$V_{OM}$	$I = 0$ A, after excursion of 100 A	-	$\pm 0.3$	$\pm 0.65$	A
Total Output Error (Including all offsets)	$E_{TOT}$	$\pm I_P$ , $T = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1$	-	%
		$\pm I_P$	-	-	$\pm 7.5$	%

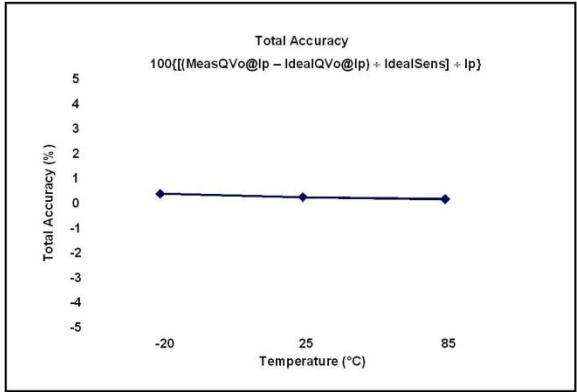
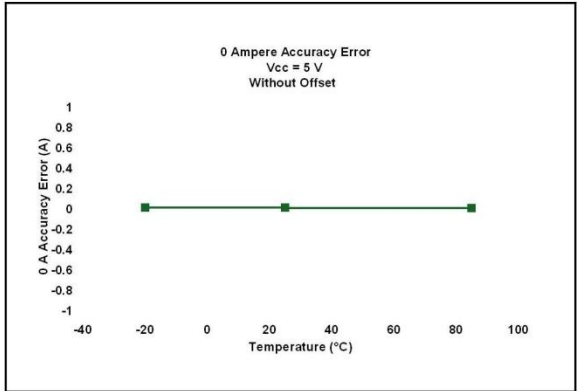
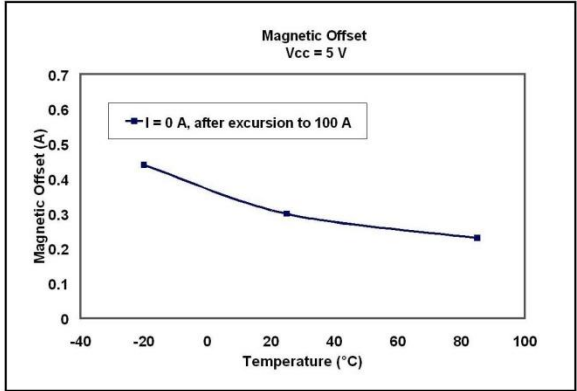


# Current Sensor: ACS752SCA-050

## Typical Performance Characteristics



# Current Sensor: ACS752SCA-050





# Current Sensor: ACS752SCA-050

## Definitions of Accuracy Characteristics

**Sensitivity (Sens):** The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is trimmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

**Noise ( $V_{\text{NOISE}}$ ):** The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC ( $\approx 1$  G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

**Linearity ( $E_{\text{LIN}}$ ):** The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Linearity reveals the maximum deviation from the ideal transfer curve for this transducer. Nonlinearity in the output can be attributed to the gain variation across temperature and saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ \left[ \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (V_{\text{out\_full-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}})}{2 (V_{\text{out\_half-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where

$\Delta$  gain = the gain variation as a function of temperature changes from 25°C,

% sat = the percentage of saturation of the flux concentrator, which becomes significant as the current being sensed approaches full-scale  $\pm I_p$ , and

$V_{\text{out\_full-scale amperes}}$  = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale  $\pm I_p$ .

**Symmetry ( $E_{\text{SYM}}$ ):** The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following equation is used to derive symmetry:

$$100 \left[ \frac{V_{\text{out\_+full-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}}}{V_{\text{OUT(Q)}} - V_{\text{out\_full-scale amperes}}} \right]$$

**Quiescent output voltage ( $V_{\text{OUT(Q)}}$ ):** The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at  $V_{\text{CC}}/2$ . Thus,  $V_{\text{CC}} = 5$  V translates into  $V_{\text{OUT(Q)}} = 2.5$  V. Variation in  $V_{\text{OUT(Q)}}$  can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim, magnetic hysteresis, and thermal drift.

**Electrical offset voltage ( $V_{\text{OE}}$ ):** The deviation of the device output from its ideal quiescent value of  $V_{\text{CC}}/2$  due to nonmagnetic causes.

**Magnetic offset error ( $V_{\text{OM}}$ ):** The magnetic offset is due to the residual magnetism (remnant field) of the core material. The magnetic offset error is highest when the magnetic circuit has been saturated, usually when the device has been subjected to a full-scale or high-current overload condition. The magnetic offset is largely dependent on the material used as a flux concentrator. The larger magnetic offsets are observed at the lower operating temperatures.

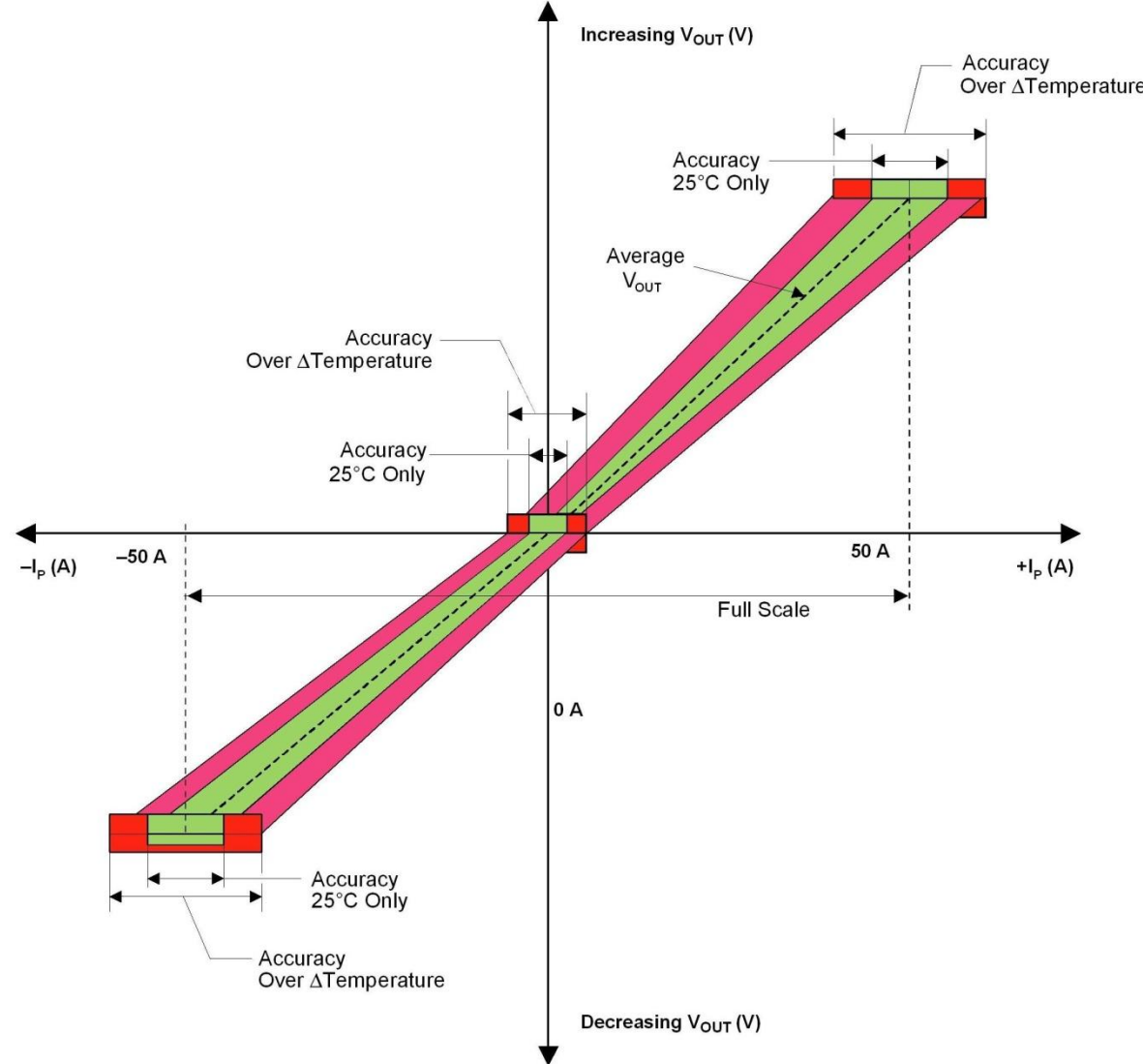
**Accuracy ( $E_{\text{TOT}}$ ):** The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the Output Voltage versus Current chart on the following page.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C:** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over temperature:** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C:** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over  $\Delta$  temperature:** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

# Current Sensor: ACS752SCA-050

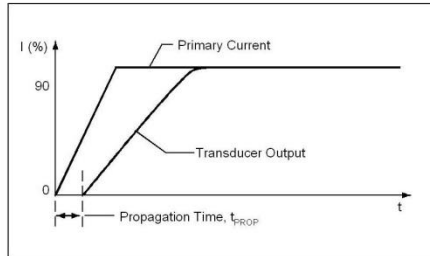
Output voltage vs. current, illustrating sensor accuracy at 0 A and at full-scale current



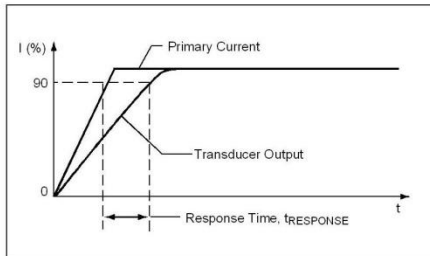
# Current Sensor: ACS752SCA-050

## Definitions of Dynamic Response Characteristics

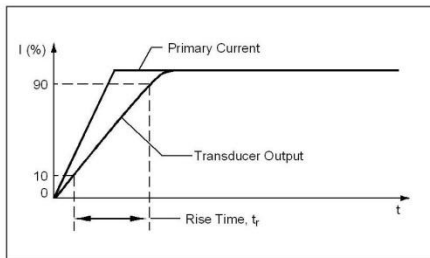
**Propagation delay ( $t_{PROP}$ ):** The time required for the sensor output to reflect a change in the primary current signal. Propagation delay is attributed to inductive loading within the linear IC package, as well as in the inductive loop formed by the primary conductor geometry. Propagation delay can be considered as a fixed time offset and may be compensated.



**Response time ( $t_{RESPONSE}$ ):** The time interval between a) when the primary current signal reaches 90% of its final value, and b) when the sensor reaches 90% of its output corresponding to the applied current.



**Rise time ( $t_r$ ):** The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which  $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$ . Both  $t_r$  and  $t_{RESPONSE}$  are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane and, to varying degrees, in the ferrous flux concentrator within the current sensor package.

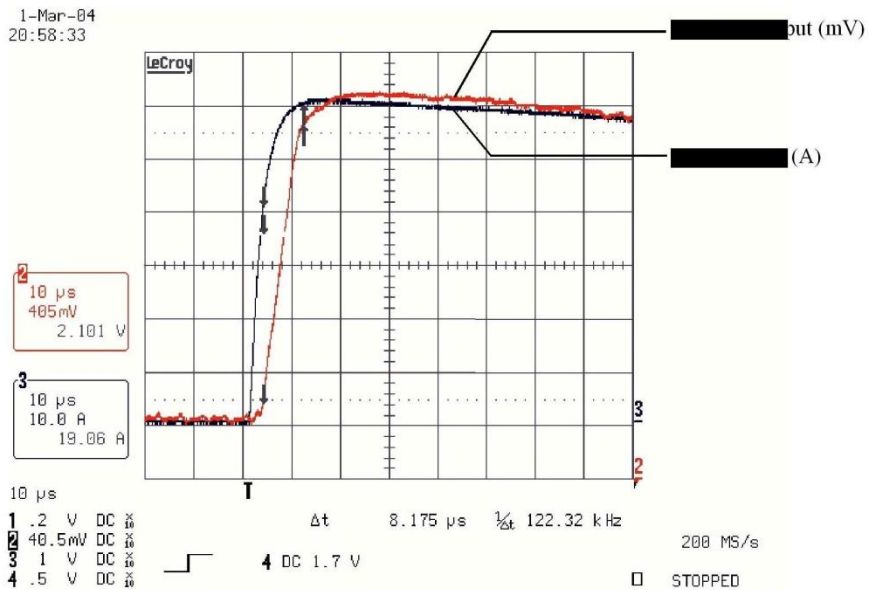


# Current Sensor: ACS752SCA-050

Standards and Physical Specifications

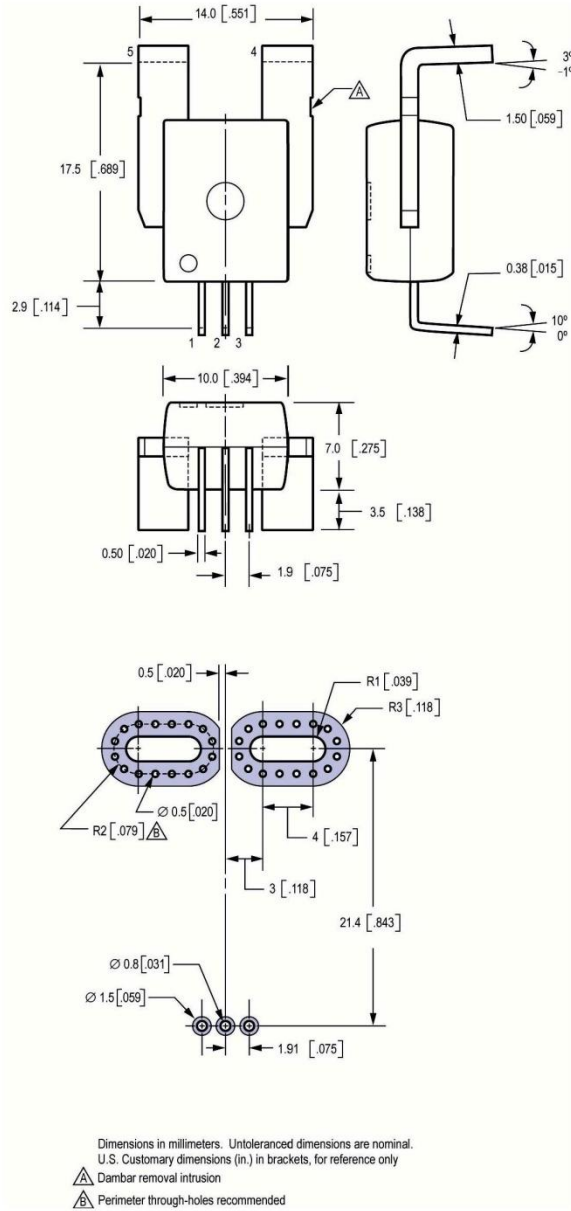
Parameter	Specification
Flammability (package molding compound)	UL recognized to UL 94V-0
Creepage distance, current terminals to sensor pins	7.25 mm
Clearance distance, current terminals to sensor pins	7.25 mm
Package mass	4.18 g typical

Step Response,  $I_{PRIMARY} = 0$  to 30 A



# Current Sensor: ACS752SCA-050

## Package CA



# Current Sensor: ACS752SCA-050

*The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.*

*Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.*

*Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.*

*The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.*



## ANEXO C

### FUNCIONES IMPLEMENTADAS EN MATLAB

Algoritmo del programa GUIDE desarrollado en MATLAB para la aplicación de la interfaz gráfica.

➤ **function** varargout = ventana1(varargin)

Permite visualizar la ventana de inicio de la aplicación. En esta ventana se encuentran dispuestas las casillas de ingreso de puerto serial, tipo de señal, tipo de prueba y tiempo de captura.

```
function varargout = ventana1(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ventana1_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @ventana1_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
```

```
function ventana1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
boton=importdata('boton_rojo.jpg');
image(boton);
axis off
aux1={'Arranque ó Frenado';'Arranque y Frenado'};
set(handles.ingresar_tipoprueba,'String',aux1);

function varargout = ventana1_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;
```

```
function ingresar_puerto_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function ingresar_puerto_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),...  
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
function ingresar_tiempo_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function ingresar_tiempo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),...  
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
function ingresar_tipo_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
aux1={'Arranque ó Frenado';'Arranque y Frenado'};  
set(handles.ingresar_tipoprueba,'String',aux1);
```

```
function ingresar_tipo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),...  
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
function boton_iniciar_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
set(handles.figure1,'pointer','watch');
```

```
pause(0.05);
```

```
switch get(handles.ingresar_tipo,'Value')
```

```
    case 1
```

```
        tipo=0;
```

```
    case 2
```

```
        tipo=1;
```

```
    otherwise
```

```
end
```

```
com=get(handles.ingresar_puerto,'String');
```

```
tiempo=get(handles.ingresar_tiempo,'String');
```

```
if str2double(tiempo)>60 || str2double(tiempo)<=0
```

```
    msgbox('Ingrese un valor de tiempo entre 1 y 60 segundos','ERROR','error');
```

```
else
```

```
    p_serial=com;
```

```
    s=serial(['COM',p_serial]);
```

```
    s.BaudRate=400000;
```

```
    set(s,'DataBits',8);
```

```
    set(s,'Parity','none');
```

```
    set(s,'StopBits',1);
```

```
    set(s,'FlowControl','none');
```

```
    set(s,'timeout',3);
```

```
    set(s,'inputbufferize',2153520);
```

```
    set(s,'requesttosend','off');
```

```
    uni='2';
```



```

dec='0';
cen='0';
fopen(s);
fprintf(s,'%s',uni);
fprintf(s,'%s',dec);
fprintf(s,'%s',cen);
fprintf(s,'%s','E');
trama=fread(s);
fprintf(s,'%s','A');
fclose(s);
acu1=trama';
n=length(acu1);
u=1:2:n;
sup = acu1(u);
inf = acu1(u+1);
sup1 = 256*sup;
acu1 = sup1+inf;
n=length(acu1);
u=1:6:n;
offi3 = mean(acu1(u));
offv3 = mean(acu1(u+1));
offi2 = mean(acu1(u+2));
offv2 = mean(acu1(u+3));
offi1 = mean(acu1(u+4));
offv1 = mean(acu1(u+5));
p_serial=com;
s=serial(['COM',p_serial]);
s.BaudRate=400000;
set(s,'DataBits',8);
set(s,'Parity','none');
set(s,'StopBits',1);
set(s,'FlowControl','none');
set(s,'timeout',str2num(tiempo)+1);
set(s,'inputbufferize',2153520);
set(s,'requesttosend','off');
uni='0';
dec='0';
cen='0';
uni=tiempo;
if length(tiempo)== 2
    uni=tiempo(2);
    dec=tiempo(1);
end
if length(tiempo) == 3
    cen=tiempo(1);
    dec=tiempo(2);
    uni=tiempo(3);
end
fopen(s);
fprintf(s,'%s',uni);
fprintf(s,'%s',dec);
fprintf(s,'%s',cen);
boton=importdata('boton_verde.jpg');

```

```

image(boton);
axis off
pause(0.05);
fprintf(s,'%s','E');
trama=fread(s);
fprintf(s,'%s','A');
fclose(s);
[v1,v2,v3,i1,i2,i3,t]=captura(tipo,trama,offi1,offi2,offi3,...
    offv1,offv2,offv3);
switch get(handles.ingresar_tipo,'value')
    case 1
        switch get(handles.ingresar_tipoprueba,'value')
            case 1
                eleccion=1;
            case 2
                eleccion=2;
            otherwise
            end
        case 2
            switch get(handles.ingresar_tipoprueba,'value')
                case 1
                    eleccion=3;
                case 2
                    eleccion=4;
                otherwise
                end
            otherwise
            end
        end
    save datos_muestreo v1 v2 v3 i1 i2 i3 t eleccion
    if eleccion==1 || eleccion==3
        opcion=2;
    else
        opcion=1;
    end
    set(handles.figure1,'pointer','arrow');
    save auxop opcion
    close all
    arranque_ee
end

```

```

function boton_iniciar_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function ingresar_tipoprueba_Callback(hObject, eventdata, handles)

function ingresar_tipoprueba_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),...
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function boton_salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
close all
clear all

```

```
function ingresar_tipo_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
```

➤ **function varargout = arranque\_ee(varargin)**

Esta función permite acceder a la segunda etapa del sistema de adquisición y acondicionamiento de las señales. A través de su ejecución se logra la visualización de la ventana principal, donde se muestran los diferentes parámetros de las señales adquiridas; también es posible encontrar diferentes ítems de selección tanto de las variables a representar como de las posibles opciones para la modificación de las gráficas y análisis de las mismas.

A su vez, dentro de esta función, se encuentran las funciones de acondicionamiento y de procesamiento de datos, correspondientes a los valores de las señales DC y de estado estable de las señales AC.

```
function varargout = arranque_ee(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @arranque_ee_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @arranque_ee_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
```

```
else
    if eleccion==2
        set(handles.text1,'string','ARRANQUE Y FRENADO')
        if opcion==1
            plot(handles.axes1, t, i1, 'b', t, zeros(1,length(t)),'k')
            ylabel(handles.axes1,'Corriente (A)')
```

```

legend(handles.axes1,'i1');
plot(handles.axes2, t, v1, 'b', t, zeros(1,length(t)), 'k')
ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
legend(handles.axes2, 'v1');
prompt={'Indique el tiempo intermedio:'};
name='Tiempo Intermedio';
numlines=1;
defaultanswer={'5','hsv'};
options.Resize='off';
options.WindowStyle='normal';
options.Interpreter='tex';
tee=(inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer,options));
[i1ini,i2ini,i3ini,v1ini,v2ini,v3ini,i1fin,i2fin,i3fin,v1fin,v2fin,v3fin,tini,tfin] =
separa(v1,v2,v3,i1,i2,i3,t,tee);
save datos_doble i1fin i2fin i3fin v1fin v2fin v3fin tfin
set(handles.text1,'string','ARRANQUE')

```

---

```

[ve1,ve2,ve3,ie1,ie2,ie3,ia1,ia2,ia3,ta,te,imax1,imax2,imax3]=acond(v1ini,v2ini,v3ini,i1ini,i2ini,i3ini,tini);
[Vrms,Arms,Pact1,fsig,vpk,S1,Q1,fp1,Angle1] = calcAC(ve1,ie1,te);
set(handles.mostrar_i1pico,'string',num2str(imax1));
set(handles.mostrar_v1pico,'string',num2str(vpk));
set(handles.mostrar_i1rms,'string',num2str(Arms));
set(handles.mostrar_v1rms,'string',num2str(Vrms));
[Vrms,Arms,Pact2,fsig,vpk,S2,Q2,fp2,Angle2] = calcAC(ve2,ie2,te);
set(handles.mostrar_i2pico,'string',num2str(imax2));
set(handles.mostrar_v2pico,'string',num2str(vpk));
set(handles.mostrar_i2rms,'string',num2str(Arms));
set(handles.mostrar_v2rms,'string',num2str(Vrms));
[Vrms,Arms,Pact3,fsig,vpk,S3,Q3,fp3,Angle3] = calcAC(ve3,ie3,te);
set(handles.mostrar_i3pico,'string',num2str(imax3));
set(handles.mostrar_v3pico,'string',num2str(vpk));
set(handles.mostrar_i3rms,'string',num2str(Arms));
set(handles.mostrar_v3rms,'string',num2str(Vrms));
set(handles.mostrar_ts,'string',num2str(te(1)));
set(handles.mostrar_frecuencia,'string',num2str(fsig));
ti=tini;
i1i=i1ini;
i2i=i2ini;
i3i=i3ini;
v1i=v1ini;
v2i=v2ini;
v3i=v3ini;
save datos_potencia Pact1 S1 Q1 fp1 Angle1 Pact2 S2 Q2 fp2 Angle2...
Pact3 S3 Q3 fp3 Angle3 ti i1i i2i i3i v1i v2i v3i
plot(handles.axes2, tini, v1ini, 'b', tini, v2ini, 'y', tini, v3ini, 'r', tini, zeros(1,length(tini)), 'k')
ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
legend(handles.axes2, 'v1','v2','v3');
plot(handles.axes1, tini, i1ini, 'b', tini, i2ini, 'y', tini, i3ini, 'r', tini, zeros(1,length(tini)), 'k')
ylabel(handles.axes1, 'Corriente (A)')
legend(handles.axes1, 'i1','i2','i3');
t=tini;
i1=i1ini;

```

```

i2=i2ini;
i3=i3ini;
v1=v1ini;
v2=v2ini;
v3=v3ini;
save datos_muestreo v1 v2 v3 i1 i2 i3 t eleccion
else
if opcion==2
set(handles.text1,'string','FRENADO Ó INVERSIÓN DE GIRO')
load datos_doble
plot(handles.axes2, tfin, v1fin, 'b', tfin, v2fin, 'y', tfin, v3fin, 'r', tfin, zeros(1,length(tfin)), 'k')
ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
legend(handles.axes2, 'v1', 'v2', 'v3');
plot(handles.axes1, tfin, i1fin, 'b', tfin, i2fin, 'y', tfin, i3fin, 'r', tfin, zeros(1,length(tfin)), 'k')
ylabel(handles.axes1, 'Corriente (A)')
legend(handles.axes1, 'i1', 'i2', 'i3');
t=tfin;
i1=i1fin;
i2=i2fin;
i3=i3fin;
v1=v1fin;
v2=v2fin;
v3=v3fin;
save datos_muestreo v1 v2 v3 i1 i2 i3 t eleccion
ti=tfin;
i1i=i1fin;
i2i=i2fin;
i3i=i3fin;
v1i=v1fin;
v2i=v2fin;
v3i=v3fin;
i1fin = fliplr(i1fin');
i2fin = fliplr(i2fin');
i3fin = fliplr(i3fin');
v1fin = fliplr(v1fin');
v2fin = fliplr(v2fin');
v3fin = fliplr(v3fin');

[ve1,ve2,ve3,ie1,ie2,ie3,ia1,ia2,ia3,ta,te,imax1,imax2,imax3,ip1,ip2,ip3]=acond(v1fin,v2fin,v3fin,i1fin
,i2fin,i3fin,tfin);
[Vrms,Arms,Pact1,fsig,vpk,S1,Q1,fp1,Angle1] = calcAC(ve1,ie1,te);
set(handles.mostrar_i1pico,'string',num2str(ip1));
set(handles.mostrar_v1pico,'string',num2str(vpk));
set(handles.mostrar_i1rms,'string',num2str(Arms));
set(handles.mostrar_v1rms,'string',num2str(Vrms));
[Vrms,Arms,Pact2,fsig,vpk,S2,Q2,fp2,Angle2] = calcAC(ve2,ie2,te);
set(handles.mostrar_i2pico,'string',num2str(ip2));
set(handles.mostrar_v2pico,'string',num2str(vpk));
set(handles.mostrar_i2rms,'string',num2str(Arms));
set(handles.mostrar_v2rms,'string',num2str(Vrms));
[Vrms,Arms,Pact3,fsig,vpk,S3,Q3,fp3,Angle3] = calcAC(ve3,ie3,te);
set(handles.mostrar_i3pico,'string',num2str(ip3));
set(handles.mostrar_v3pico,'string',num2str(vpk));

```

```

set(handles.mostrar_i3rms,'string',num2str(Arms));
set(handles.mostrar_v3rms,'string',num2str(Vrms));
set(handles.mostrar_ts,'string',num2str(te(1)));
set(handles.mostrar_frecuencia,'string',num2str(fsig));
save datos_potencia Pact1 S1 Q1 fp1 Angle1 Pact2 S2 Q2 fp2 Angle2...
    Pact3 S3 Q3 fp3 Angle3 ti i1i i2i i3i v1i v2i v3i
end
end
end
end
if eleccion==4 || eleccion==3
set(handles.mostrar_i1rms,'visible','off')
set(handles.text8,'visible','off')
set(handles.mostrar_i2rms,'visible','off')
set(handles.text6,'visible','off')
set(handles.mostrar_i3rms,'visible','off')
set(handles.text9,'visible','off')
set(handles.mostrar_frecuencia,'visible','off')
set(handles.text18,'visible','off')
set(handles.mostrar_ts,'visible','off')
set(handles.text10,'visible','off')
set(handles.text7,'string','I1 (A)')
set(handles.text5,'string','Ts (s)')
pos=get(handles.mostrar_i1pico,'position');
pos(1)=8;
set(handles.mostrar_i1pico,'position',pos)
pos=get(handles.mostrar_i2pico,'position');
pos(1)=8;
set(handles.mostrar_i2pico,'position',pos)
pos=get(handles.mostrar_i3pico,'position');
pos(1)=8;
set(handles.mostrar_i3pico,'position',pos)
pos=get(handles.text4,'position');
pos(1)=8.7;
set(handles.text4,'position',pos)
pos=get(handles.text5,'position');
pos(1)=8;
set(handles.text5,'position',pos)
pos=get(handles.text7,'position');
pos(1)=8;
set(handles.text7,'position',pos)
set(handles.popupmenu2,'enable','inactive')
set(handles.popupmenu3,'enable','inactive')
set(handles.popupmenu2,'visible','off')
set(handles.popupmenu3,'visible','off')
pos=get(handles.boton_desplazamiento,'position');
pos(1)=62.6;
pos(2)=40.07;
set(handles.boton_desplazamiento,'position',pos);
set(handles.mostrar_v1rms,'visible','off')
set(handles.text12,'visible','off')
set(handles.mostrar_v2rms,'visible','off')
set(handles.text13,'visible','off')

```

```

set(handles.mostrar_v3rms,'visible','off')
set(handles.text14,'visible','off')
set(handles.mostrar_v2pico,'visible','off')
set(handles.text15,'visible','off')
set(handles.mostrar_v3pico,'visible','off')
set(handles.text16,'visible','off')
set(handles.text10,'visible','off')
set(handles.text7,'string','I1 (A)')
set(handles.text5,'string','Ts (s)')
pos=get(handles.mostrar_v1pico,'position');
pos(1)=8;
pos(2)=11.46;
set(handles.mostrar_v1pico,'position',pos);
set(handles.text11,'string','V1 (V)')
pos=get(handles.text11,'position');
pos(1)=8.1;
pos(2)=13.30;
set(handles.text11,'position',pos);
[v1,i1,t]=acond2DC(v1,i1,t);
save datos_muestreo v1 i1 t eleccion
plot(handles.axes2, t, v1, 'r', t, zeros(1,length(t)), 'k')
ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
legend(handles.axes2, 'v1');
plot(handles.axes1, t, i1, 'r', t, zeros(1,length(t)), 'k')
ylabel(handles.axes1, 'Corriente (A)')
legend(handles.axes1, 'i1');
end
if eleccion==3
set(handles.text1,'string','ARRANQUE Ó FRENADO')
[ve1,ie1,ia1,ta,te,imax1]=acondDC(v1,i1,t);
[Vdc,Adc,Pact1] = calcDC(ve1,ie1);
set(handles.mostrar_i1pico,'string',num2str(imax1));
set(handles.mostrar_i2pico,'string',num2str(Adc));
set(handles.mostrar_i3pico,'string',num2str(te(1)));
set(handles.mostrar_v1pico,'string',num2str(Vdc));
ti=t;
i1i=i1;
v1i=v1;
save datos_potencia Pact1 ti i1i v1i
else
if eleccion==4
set(handles.text1,'string','ARRANQUE Y FRENADO')
load auxop
if opcion==1
prompt={'Indique el tiempo intermedio:'};
name='Tiempo Intermedio';
numlines=1;
defaultanswer={'5','hsv'};
options.Resize='off';
options.WindowStyle='normal';
options.Interpreter='tex';
tee=(inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer,options));
[i1ini,v1ini,i1fin,v1fin,tini,tfin] = separaDC(v1,i1,t,tee);

```

```

save datos_doble i1fin v1fin tfin
set(handles.text1,'string','ARRANQUE')
[ve1,ie1,ia1,ta,te,imax1]=aconDC(v1ini,i1ini,tini);
[Vdc,Adc,Pact1] = calcDC(ve1,ie1);
set(handles.mostrar_i1pico,'string',num2str(imax1));
set(handles.mostrar_i2pico,'string',num2str(Adc));
set(handles.mostrar_i3pico,'string',num2str(te(1)));
set(handles.mostrar_v1pico,'string',num2str(Vdc));
save data ve1 ie1 ia1 ta te imax1
ti=tini;
i1i=i1ini;
v1i=v1ini;
save datos_potencia Pact1 ti i1i v1i
plot(handles.axes2, tini, v1ini, 'r', tini, zeros(1,length(tini)), 'k')
ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
legend(handles.axes2, 'v1');
plot(handles.axes1, tini, i1ini, 'r', tini, zeros(1,length(tini)), 'k')
ylabel(handles.axes1, 'Corriente (A)')
legend(handles.axes1, 'i1');
t=tini;
i1=i1ini;
v1=v1ini;
save datos_muestreo v1 i1 t eleccion
else
if opcion==2
set(handles.text1,'string','FRENADO Ó INVERSIÓN DE GIRO')
load datos_doble
plot(handles.axes2, tfin, v1fin, 'r', tfin, zeros(1,length(tfin)), 'k')
ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
legend(handles.axes2, 'v1');
plot(handles.axes1, tfin, i1fin, 'r', tfin, zeros(1,length(tfin)), 'k')
ylabel(handles.axes1, 'Corriente (A)')
legend(handles.axes1, 'i1');
ti=tfin;
i1i=i1fin;
v1i=v1fin;
i1fin = fliplr(i1fin');
v1fin = fliplr(v1fin');
[ve1,ie1,ia1,ta,te,imax1]=aconDC(v1fin,i1fin,tfin);
[Vdc,Adc,Pact1] = calcDC(ve1,ie1);
set(handles.mostrar_i1pico,'string',num2str(imax1));
set(handles.mostrar_i2pico,'string',num2str(Adc));
set(handles.mostrar_i3pico,'string',num2str(te(1)));
set(handles.mostrar_v1pico,'string',num2str(Vdc));

save datos_potencia Pact1 ti i1i v1i
end
end
end
end
if eleccion==1 || eleccion==2
set(handles.text17,'string','Análisis en AC')
else

```



```

set(handles.text17,'string','Análisis en DC')
end

function varargout = arranque_ee_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function boton_zoom1_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom on

function boton_zoomx1_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom xon

function boton_zoomy1_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom yon

function boton_zoomoff1_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom off
pan off

function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
load datos_muestreo
load datos_potencia
switch get(handles.popupmenu2,'value')
    case 1
        plot(handles.axes1, t, i1, 'b', t, i2, 'y', t, i3, 'r', t, zeros(1,length(t)), 'k')
        ylabel(handles.axes1,'Corriente (A)')
        legend(handles.axes1,'i1','i2','i3');
    case 2
        plot(handles.axes1, t, i1, 'b', t, zeros(1,length(t)), 'k')
        ylabel(handles.axes1,'Corriente (A)')
        legend(handles.axes1,'i1');
    case 3
        plot(handles.axes1, t, i2, 'y', t, zeros(1,length(t)), 'k')
        ylabel(handles.axes1,'Corriente (A)')
        legend(handles.axes1,'i2');
    case 4
        plot(handles.axes1, t, i3, 'r', t, zeros(1,length(t)), 'k')
        ylabel(handles.axes1,'Corriente (A)')
        legend(handles.axes1,'i3');
    otherwise
end

function popupmenu3_Callback(hObject, eventdata, handles)
load datos_muestreo
switch get(handles.popupmenu3,'value')
    case 1
        plot(handles.axes2, t, v1, 'b', t, v2, 'y', t, v3, 'r', t, zeros(1,length(t)), 'k')
        ylabel(handles.axes2,'Voltaje (V)')

```

```

        legend(handles.axes2,'v1','v2','v3');
    case 2
        plot(handles.axes2, t, v1, 'b', t, zeros(1,length(t)), 'k')
        ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
        legend(handles.axes2, 'v1');
    case 3
        plot(handles.axes2, t, v2, 'y', t, zeros(1,length(t)), 'k')
        ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
        legend(handles.axes2, 'v2');
    case 4
        plot(handles.axes2, t, v3, 'r', t, zeros(1,length(t)), 'k')
        ylabel(handles.axes2, 'Voltaje (V)')
        legend(handles.axes2, 'v3');
    otherwise
    end

function popupmenu3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_i1pico_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_i2pico_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_i3pico_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_i1rms_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_i2rms_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_i3rms_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_v1pico_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_v2pico_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_v3pico_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_v1rms_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_v2rms_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_v3rms_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_ts_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function figure1_ResizeFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

function axes4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function mostrar_frecuencia_Callback(hObject, eventdata, handles)

function mostrar_frecuencia_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function boton_desplazamiento_Callback(hObject, eventdata, handles)
pan XON

function boton_potencia_Callback(hObject, eventdata, handles)
potencias

function boton_zoomreset_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom out

```

➤ **function varargout = potencias(varargin)**

Esta función permite acceder a la etapa final del sistema de adquisición y acondicionamiento de las señales. A través de su ejecución se logra la visualización de la ventana de visualización de potencias, también es posible encontrar diferentes ítems de selección tanto de las variables a representar como de las posibles opciones para la modificación de las gráficas y análisis de las mismas.

```

function varargout = potencias(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @potencias_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @potencias_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [], ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

```

```

function potencias_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
escudo=importdata('LogoUpb.jpg');
axes(handles.axes4);
image(escudo);
axis off
load datos_potencia
load datos_muestreo
load auxop
if eleccion<=2
    set(handles.mostrar_p,'string',num2str((Pact1+Pact2+Pact3)));
    set(handles.mostrar_q,'string',num2str((Q1+Q2+Q3)));
    set(handles.mostrar_s,'string',num2str((S1+S2+S3)));
    set(handles.mostrar_fp,'string',num2str((fp1+fp2+fp3)/3));
    set(handles.mostrar_desfase,'string',num2str(180*(acos((fp1+fp2+fp3)/3)/(pi))));
    plot(handles.axes1, ti, v1i.*i1i, 'b', ti, v2i.*i2i, 'y', ti, v3i.*i3i, 'r', ti, zeros(1,length(ti)), 'k')
    ylabel(handles.axes1, 'Potencia (W)')
    legend(handles.axes1, 'p1', 'p2', 'p3');
else
    set(handles.popupmenu2, 'enable', 'inactive')
    set(handles.popupmenu2, 'visible', 'off')
    set(handles.mostrar_q, 'visible', 'off')
    set(handles.mostrar_s, 'visible', 'off')
    set(handles.mostrar_fp, 'visible', 'off')
    set(handles.mostrar_desfase, 'visible', 'off')
    set(handles.text8, 'visible', 'off')
    set(handles.text7, 'visible', 'off')
    set(handles.text6, 'visible', 'off')
    set(handles.text5, 'visible', 'off')
    pos=get(handles.boton_desplazamiento, 'position');
    pos(1)=62.68;
    pos(2)=35.23;
    set(handles.boton_desplazamiento, 'position', pos);
    set(handles.mostrar_p, 'string', num2str(Pact1));
    plot(handles.axes1, ti, v1i.*i1i, 'r', ti, zeros(1,length(ti)), 'k')
    ylabel(handles.axes1, 'Potencia (W)')
    legend(handles.axes1, 'p1');
end
if opcion==1
    set(handles.boton_volver, 'string', 'Siguiente');
else
    set(handles.boton_volver, 'string', 'Salir');
end

function varargout = potencias_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'), get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

```

function boton_zoom1_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom on

function boton_zoomx1_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom xon

function boton_zoomy1_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom yon

function boton_zoomoff1_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom off
pan off

function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
load datos_muestreo
load datos_potencia
switch get(handles.popupmenu2, 'value')
case 1
    plot(handles.axes1, ti, v1i.*i1i, 'b', ti, v2i.*i2i, 'y', ti, v3i.*i3i, 'r', ti, zeros(1,length(ti)), 'k')
    ylabel(handles.axes1, 'Potencia (W)')
    legend(handles.axes1, 'p1', 'p2', 'p3');
case 2
    plot(handles.axes1, ti, v1i.*i1i, 'b', ti, zeros(1,length(ti)), 'k')
    ylabel(handles.axes1, 'Potencia (W)')
    legend(handles.axes1, 'p1');
case 3
    plot(handles.axes1, ti, v2i.*i2i, 'y', ti, zeros(1,length(ti)), 'k')
    ylabel(handles.axes1, 'Potencia (W)')
    legend(handles.axes1, 'p2');
case 4
    plot(handles.axes1, ti, v3i.*i3i, 'r', ti, zeros(1,length(ti)), 'k')
    ylabel(handles.axes1, 'Potencia (W)')
    legend(handles.axes1, 'p3');
otherwise
end

function boton_desplazamiento_Callback(hObject, eventdata, handles)
pan XON

function boton_volver_Callback(hObject, eventdata, handles)
close all
load auxop
if opcion==1
    opcion=2;
    save auxop opcion
    arranque_ee
else
    ventana1
end
clear all

```

```

function mostrar_p_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_q_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_s_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_fp_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function mostrar_desfase_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function axes4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function boton_zoomoff1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

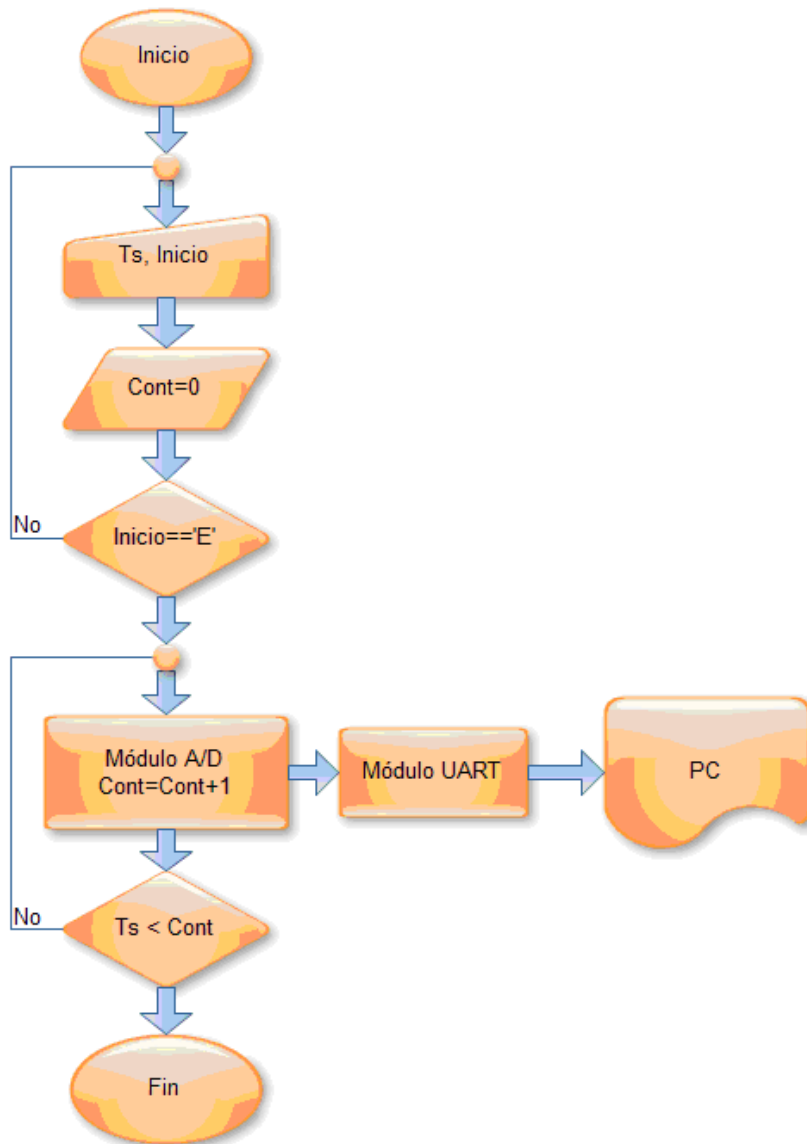
function boton_zoomreset_Callback(hObject, eventdata, handles)
zoom out

```

## ANEXO D

### PROGRAMA INSTALADO EN EL dsPIC30F4013

Figura 127. Diagrama de Flujo del Funcionamiento del Programa del Microcontrolador



Fuente: Diseño Autor



```

.INCLUDE      "P30F4013.INC"
.GLOBAL      __T2Interrupt
.GLOBAL      __ADCInterrupt
.GLOBAL      __U1RXInterrupt
config      __FOSC, CSW_FSCM_OFF & XT_PLL16;4
config      __FWDT, WDT_OFF
config      __FBORPOR, PBOR_OFF & MCLR_EN
.TEXT
.GLOBAL      __reset

__reset:    MOV      #0X0800,W15
            MOV      #0X08FE,W0
            MOV      W0,SPLIM
            MOV      #0B111111,W0
            MOV      W0,TRISB
            CLR      TRISA
            CLR      TRISC
            CLR      TRISF
            CLR      TRISD
            BSET     TRISF,#2
            BCLR     CORCON,#IF
            BCLR     ADCON1,#ADON
            MOV      #0X00E4,W0
            MOV      W0,ADCON1
            MOV      #0X0401,W0
            MOV      W0,ADCON2
            MOV      #0X0F2B,W0;0x012B
            MOV      W0,ADCON3
            MOV      #0X1FC0,W0
            MOV      W0,ADPCFG
            MOV      #0X0001,W0
            MOV      W0,ADCSSL
            MOV      W0,ADCHS
            BSET     PORTD,#1
            MOV      #0X0010,W0
            MOV      W0,T2CON
            MOV      #221,W0
            MOV      W0,PR2
            BCLR     IFS0,#T2IF
            BCLR     IEC0,#T2IE
            BCLR     IFS0,#ADIF
            BCLR     IEC0,#ADIE
            BCLR     CORCON,#IPL3

```

```

BCLR    SR,#IPL2
BSET    SR,#IPL1
BSET    SR,#IPL0
BSET    IPC2,#U1TXIP2
BCLR    IPC2,#U1TXIP1
BCLR    IPC2,#U1TXIP0
CLR     U1BRG
MOV     #4,W0
MOV     W0,U1BRG
MOV     #0X8000,W0
MOV     W0,U1MODE
MOV     #0X0510,W0
MOV     W0,U1STA
MOV     #0X8020,W0
MOV     W0,U1MODE
BCLR    IFS0,#U1RXIF
BSET    IEC0,#U1RXIE
CLR     W14
CLR     W13
CLR     W12
CLR     W11
CLR     W10
CLR     W9
CLR     W8
CLR     W7
MOV     #1,W6
CLR     W5
CLR     W4
CLR     W3
CLR     W2
CLR     W1
CLR     W0
BSET    ADCON1,#ADON
CLR     TMR2
GOTO    PROG

```

\_\_U1RXInterrupt: PUSH.S

```

BCLR    IFS0,#U1RXIF
MOV     U1RXREG,W7
BTSS    W13,#0
GOTO    TIEMPO
MOV     #'E',W0
CP      W7,W0
BRA     Z,ENCENDER
MOV     #'A',W0

```

	CP	W7,W0
	BRA	Z,APAGAR
SALIDAU1:	POP.S	
	RETFIE	
DECO:	BRA	W3
	RETLW	#'0',W2
	RETLW	#'1',W2
	RETLW	#'2',W2
	RETLW	#'3',W2
	RETLW	#'4',W2
	RETLW	#'5',W2
	RETLW	#'6',W2
	RETLW	#'7',W2
	RETLW	#'8',W2
	RETLW	#'9',W2
TIEMPO:	CALL	DECO
	CP	W7,W2
	BRA	Z,MULTI
	INC	W3,W3
	GOTO	TIEMPO
MULTI:	MUL.UU	W3,W6,W0
	ADD	W8,W0,W8
	CLR	W3
	MUL.UU	W6,#10,W6
	MOV	#1000,W0
	CP	W0,W6
	BRA	Z,ENDTIME
	GOTO	SALIDAU1
ENDTIME:	BSET	W13,#0
	GOTO	SALIDAU1
ENCENDER:	CLR	TMR2
	BSET	T2CON,#15
	BCLR	IFS0,#T2IF
	BSET	IEC0,#T2IE
	BCLR	IFS0,#ADIF
	BCLR	IEC0,#ADIE
	CLR	W14
	CLR	W12
	CLR	W11
	CLR	W10
	CLR	W9
	CLR	W7
	CLR	W6

```

        CLR      W5
        CLR      W4
        CLR      W3
        CLR      W2
        CLR      W1
        CLR      W0
        GOTO     SALIDAU1
APAGAR:  RESET

__T2Interrupt: PUSH.S
        INC      W11,W11
        MOV      #18031,W0
        CP       W11,W0
        BRA      Z,SEGUNDOS
CONTI:   MOV      #6,W0
        CP       W4,W0
        BRA      Z,REINICIO
SELEC:  BCLR     ADCON1,#ADON
        CALL     TABLA3
        MOV      W5,ADPCFG
        CALL     TABLA
        MOV      W5,ADCSSL
        CALL     TABLA2
        MOV      W5,ADCHS
        BSET     ADCON1,#ADON
        BSET     ADCON1,#SAMP
        BCLR     IFS0,#ADIF
        BSET     IEC0,#ADIE
SALIR:  BCLR     IFS0,#T2IF
        INC      W4,W4
        POP.S
        RETFIE

SEGUNDOS: MOV     #1,W11
        INC      W10,W10
        CP       W10,W8
        BRA      Z,NO_DATOS
        GOTO     CONTI
NO_DATOS: RESET

REINICIO: CLR     W4
        GOTO     SELEC

TABLA:  BRA      W4
        RETLW    #0B000001,W5

```

```

        RETLW    #0B001000,W5
        RETLW    #0B000010,W5
        RETLW    #0B010000,W5
        RETLW    #0B000100,W5
        RETLW    #0B100000,W5

TABLA2:  BRA     W4
        RETLW    #0,W5
        RETLW    #3,W5
        RETLW    #1,W5
        RETLW    #4,W5
        RETLW    #2,W5
        RETLW    #5,W5

TABLA3:  BRA     W4
        RETLW    #0B111110,W5
        RETLW    #0B110111,W5
        RETLW    #0B111101,W5
        RETLW    #0B101111,W5
        RETLW    #0B111011,W5
        RETLW    #0B011111,W5

__ADCInterrupt: PUSH.S
        BCLR    ADCON1,#DONE
        MOV     ADCBUF0,W12
        MOV     W12,W2
        LSR    W12,#8,W12
        BCLR    W2,#8
        BCLR    W2,#9
        BCLR    W2,#10
        BCLR    W2,#11
TRANSMITE: BTSS   U1STA,#8
        BRA     TRANSMITE
        MOV     W12,U1TXREG
        MOV     W2,U1TXREG
SALTA0:  BSET    IEC0,#T2IE
        BCLR    IFS0,#ADIF
        BCLR    IEC0,#ADIE
        POP.S
        RETFIE

PROG:    GOTO    PROG
.END

```