



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRADOR
UNIVERSAL DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS PARA EL
LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL INAMHI”**

ECHEVERRÍA SOLANO FELIPE SEBASTIÁN

LALALEO SALTOS KLEBER FABIÁN

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

2012

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por el Sr. Echeverría Solano Felipe Sebastián junto al Sr. Lalaleo Saltos Kleber Fabián, bajo nuestra supervisión.

Ing. Wilson Trávez

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Marco Pilatasig

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Felipe Sebastián Echeverría Solano

Kleber Fabián Lalaleo Saltos.

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRADOR UNIVERSAL DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS PARA EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL INAMHI” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 14 de noviembre de 2012

Felipe Sebastián Echeverría Solano

C.I: 180262269-4

Kleber Fabián Lalaleo Saltos

C.I: 180351922-0

DEDICATORIA

A Dios.

Por haber sido el autor y consumidor de todo lo soy y de todo lo que he obtenido. Por haberme amado antes que yo a El. Por haber sido mi refugio y mi pronto auxilio. Por eso y muchas cosas más, solo a El sea la gloria por siempre y para siempre. Te amo.

A mi Padres.

Por haber sido los artífices, y consejeros, por haberse esforzado para sacarme adelante, esto es para Uds. Les amo demasiado.

A mi Hermano.

Porque tú eres el motivo de mi esfuerzo, de cada noche larga de estudio, de cada gota de sudor por el esfuerzo. Esto es para ti.

A mi familia.

Por haberse mostrado fieles, y oportunos ante cada necesidad. Esto es por Uds también.

Sebastián Echeverría

DEDICATORIA

Para mis padres.

A mi madre Eliza, el ser más importante en mi vida, ejemplo de mujer y fortaleza, quien con su esfuerzo y trabajo abnegado ha inculcado en mí valores de responsabilidad, constancia y honradez; este proyecto es el fruto de su sacrificio.

A mi ángel, mi padre, quien desde mis nueve años está en un lugar designado por Dios. Día a día me bendice y siempre supo enseñarme el valor de lealtad y sencillez.

Fabián Lalaleo S.

AGRADECIMIENTO

Esta tesis representa un parteaguas entre una etapa muy enriquecedora y el camino que el tiempo obliga. En toda mi experiencia universitaria ha habido personas a las cuales debo mucho de lo que ahora estoy obteniendo, y que merecen las Gracias por todo lo que han aportado a mi vida y mi camino.

A mis Padres Fabián y Nelly, por su amor, esfuerzo, apoyo incondicional; los honro y los amo. Esta tesis es Suya. A mi hermano Jonathan, por haber sido uno de los motivos principales por los cuales he luchado por conseguir esto; Te amo Bro.

A (sin estricto orden) Enri, Marco, Iván, Rubén, Daniel, Miriam, por haber estado pendientes de todas mis necesidades y haber tenido siempre la palabra oportuna de aliento, Los amo a todos.

Al Instituto Nacional de Meteorología y Hidrología (INAMHI), al Ing Marcelo por haber creído en mi capacidad y haberme confiado tan importante proyecto. A (sin estricto orden) Lore, Jorge, Diego, Eli, Eri, Moni por la inmensa amistad y el apoyo que me han brindado.

A mis profesores directores de Tesis, por cada uno de sus aportes y observaciones valiosas para poder culminar con éxito este proyecto.

A Fabián, gracias por haberte mostrado un gran amigo, gracias por la paciencia, por tantos años de amistad, de momentos y experiencias que hemos pasado juntos. Dios te bendiga y te guarde siempre en cada paso de tu vida, AMIGO.

Dejo para el final, por ser el más importante de los agradecimientos, a lo que me fue enseñado como la Fuerza Invisible, a lo que unos llaman el Big Bang, otros el Paradigma de Hawking, y que yo simplemente lo llamo Jesucristo, Redentor, Rey, Salvador, el humilde Carpintero de Galilea, por trazar el camino por los que mis pies avanzan y en el que mi mente y corazón viven la felicidad.

Sebastián Echeverría

AGRADECIMIENTO

A mi madre gracias por demostrar que todo es posible fomentando en mí el deseo de superación, por compartir mis penas y alegrías recibiendo día a día palabras de aliento para seguir adelante y poder cumplir mis metas.

A mis tías Susy, Gloria por su apoyo incondicional. Gracias a mi abuelita Rosita por su cariño y haber hecho que me sienta como en casa durante mi estadía en Quito.

A Pily, Ray, Franklin, Germy que han estado junto a mí en todo momento aportando con su granito de arena para mi formación con su amistad, consejos, ánimo y gratos momentos.

A los ingenieros Wilson Trávez y Marco Pilatasig por su colaboración, apertura constante y acertada dirección durante el desarrollo del proyecto.

A Sebas mi compañero en este proyecto, con quién se ha superado cada adversidad presentada durante la ejecución del mismo.

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología por confiar en mí para realizar este proyecto, en especial a los miembros del Departamento de Innovación y Desarrollo Tecnológico Ing. Marcelo Ayabaca, Lore, Wlady, Jorge, Ely, Eri, Cristian, Moni, puesto que sin su colaboración no hubiese sido posible el desarrollo del mismo.

Fabián Lalaleo S.

AUTORÍA

Latacunga, Noviembre de 2012

ELABORADO POR

Felipe Sebastián Echeverría Solano

C.I: 180262269-4

Kleber Fabián Lalaleo Saltos

C.I: 180351922-0

APROBADO POR

Ing. Nancy Guerrón

DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICADO POR

Dr. Eduardo Vásquez

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

Resumen

En la actualidad, conocer sobre el comportamiento de los fenómenos hidrometeorológicos es de gran importancia, ya que, al estar al tanto de la variación de los parámetros ambientales, se estará alerta a los efectos tanto positivos como negativos que pueden afectar el entorno de desarrollo de los seres vivos. Consecuentemente, con el rápido avance de la tecnología en el campo de la electrónica, se está en la capacidad de monitorear los fenómenos ambientales independientemente de dónde y cuándo se presenten.

Para el cumplimiento de este objetivo, el INAMHI es el organismo rector de la meteorología e hidrología en el Ecuador, el mismo que tiene como una de sus principales responsabilidades la provisión de información veraz y confiable de las variables hidrometeorológicas monitoreadas a lo largo del territorio nacional. Por esta razón, el propósito de este proyecto es el desarrollo e implementación de un registrador de datos universal, versátil y flexible para la adquisición y almacenamiento de las variables eléctricas de los sensores electrónicos, incorporando la respuesta gráfica, transformación a variables hidrometeorológicas y cálculo de coeficientes de ajuste de sensores en base a un sensor patrón permitiendo la manipulación simultánea de sensores con dife-

rentes principios de funcionamiento.

Para el efecto, el registrador está basado en tecnología reciente aplicada en el sistema embebido sb-RIO modelo 9631 de National Instruments. Sin embargo, al tener el sistema embebido sb-RIO limitaciones de conectividad directa con los sensores, también se plantea, dentro de este proyecto, el diseño y desarrollo de circuitos de acondicionamiento para la conexión de los diferentes tipos de sensores hacia la tarjeta.

Finalmente, para la presentación e interacción con el usuario se utilizó una Pc cuya interfaz (HMI) fue desarrollada en LabVIEW. Dicha HMI dispone de una pantalla, en la cual, se indicará al operador todas las funciones a las cuales puede acceder desde el registrador.

Summary

Currently, learning about the behavior of hydrometeorological phenomena is of great importance due to being aware of the variation of environmental parameters will allow one to be alert to both positive and negative effects that may affect living beings' development. Consequently, the rapid advancement of technology in the field of electronics has permitted to monitor environmental phenomena regardless of where and when they arise.

In order to accomplish this objective, the INAMHI, which is the governing body of meteorology and hydrology in Ecuador, has as one of its primary responsibilities the provision of accurate and reliable hydrometeorological information, which is monitored throughout the national territory. Therefore, the purpose of this project is the development and implementation of a flexible and universal data recorder for the acquisition and storage of the electrical variables from electronic sensors. This recorder will also incorporate graphics and transformation to hydrometeorological variables, adjustment coefficients calculating sensors based on a pattern sensor which will allow simultaneous manipulation of sensors with different operating principles.

For this purpose, the recorder is based on recent technology applied in the sb-RIO embedded system, model 9631 from National Instruments. However, the SB-RIO embedded system shows limitations on direct connectivity to the sensors, whereby it has also considered the design and development of conditioning circuits in order to connect this card with different kinds of sensors.

Finally, to present and interact with users, it has been designed a Pc interface using LabVIEW's tools. This HMI has a screen that will tell the operator all the functions that can be accessed from the recorder.

Índice general

Resumen	XI
Summary	XIII
Índice general	XV
Índice de figuras	XXVI
Lista de figuras	XXXII
Índice de tablas	XXXIII
Lista de tablas	XXXVI
1. GENERALIDADES DE SENSORES HIDROMETEOROLÓGI- COS	1
1.1. Variables hidrometeorológicas	1
1.1.1. Introducción	1
1.1.2. Historia	2
1.1.3. Tipos de variables hidrometeorológicas	3
1.2. Sistemas de adquisición de datos (SAD)	4

1.2.1.	Registrador de datos	5
	a. Introducción	5
	b. Beneficios	6
	c. Formato de almacenamiento de datos	6
	d. Protocolos de comunicación	6
	e. Usos comunes	7
1.2.2.	Tratamiento y acondicionamiento de las señales eléctricas	7
	a. Introducción	7
	b. Instrumentación virtual	8
	c. Acondicionamiento de señales	9
1.3.	Sensores utilizados	10
1.3.1.	Sensor de temperatura y humedad relativa VAISALA	
	HMP45X y HMP155	10
	a. Definición	10
	b. Principio de funcionamiento	11
	c. Especificaciones técnicas	11
1.3.2.	Sensor de temperatura NTC Logotronic	13
	a. Definición	13
	b. Principio de funcionamiento	14
	c. Especificaciones técnicas	14
	d. Distribución de cables	15
1.3.3.	Sensor de humedad relativa Rotronic Hicroclip1	15
	a. Definición	15
	b. Principio de funcionamiento	16
	c. Especificaciones técnicas sensor de humedad	
	relativa Rotronic Hicroclip	16

	d. Distribución de cables del sensor de humedad relativa Rotronic Hicroclip1	17
1.3.4.	Sensor de temperatura del suelo MET ONE 063-1	17
	a. Definición	17
	b. Principio de funcionamiento	18
	c. Especificaciones técnicas	18
	d. Conexión de cables	19
1.3.5.	Sensor de presión Vaisala PTB101C y PTB110	19
	a. Definición	19
	b. Principio de funcionamiento	20
	c. Especificaciones técnicas	20
	d. Conversión de voltaje a presión	21
1.3.6.	Sensor de viento Vaisala WMS302	22
	a. Definición	22
	b. Principio de funcionamiento	22
	c. Especificaciones técnicas	23
	d. Conectores	25
1.3.7.	Sensor de viento MET ONE 034B	25
	a. Definición	25
	b. Principio de funcionamiento	26
	c. Especificaciones técnicas	26
	d. Distribución de cables sensor de viento Met One 034B	27
1.3.8.	Sensor de irradiancia Kipp & Zonen CM3	28
	a. Definición	28
	b. Principio de funcionamiento	28

c.	Especificaciones técnicas sensor de irradiancia	
	CM3	29
	d.	Distribución de cables 29
	e.	Uso y aplicaciones 30
1.3.9.	Sensor de precipitación YOUNG 52203	30
	a.	Definición 30
	b.	Principio de funcionamiento 31
	c.	Especificaciones técnicas 31
1.3.10.	Sensor de precipitación Texas Electronics TR-525M-R3	32
	a.	Definición 32
	b.	Principio de funcionamiento 33
	c.	Especificaciones técnicas 33
1.3.11.	Sensor de evaporación Novalynx 255-100	34
	a.	Definición 34
	b.	Principio de funcionamiento 35
	c.	Especificaciones técnicas 35
1.3.12.	Sensor de viento Windsonic 4	36
	a.	Definición 36
	b.	Principio de funcionamiento 37
	c.	Especificaciones técnicas 37
2.	SISTEMA EMBEBIDO	39
2.1.	Sistemas embebidos	39
2.1.1.	Introducción	39
2.1.2.	Bloques funcionales de un sistema embebido	41
2.1.3.	Características principales de un sistema electrónico embebido	44

2.1.4.	Principales aplicaciones de un sistema embebido	45
2.1.5.	Ventajas del uso de sistemas embebidos	46
2.2.	FPGA-Field programmable gate array	47
2.2.1.	Flip-Flops	51
2.2.2.	Tabla de referencia LUT	52
2.2.3.	Beneficios de la tecnología FPGA	53
2.3.	NI SINGLE BOARD RIO 9631	54
2.3.1.	Introducción	54
2.3.2.	Distribución del sistema embebido en LabVIEW	57
2.3.3.	Módulo LabVIEW Real-Time	58
2.3.4.	Módulo LabVIEW FPGA	59
2.3.5.	Ventajas de usar una sb-RIO 9631	59
2.3.6.	Especificaciones y periféricos	60
2.3.7.	FPGA en la sb-RIO 9631	61
2.3.8.	Procesador en tiempo real en la sb-RIO 9631	61
2.3.9.	Ejemplos de aplicación	61
3.	DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE	63
3.1.	Estructura física (capa contenedora)	63
3.2.	Dispositivos electrónicos utilizados	65
3.2.1.	Convertor SDI-12 a RS-232	65
	a. Características.	66
3.2.2.	Adaptador de energía	66
	a. Características.	67
3.2.3.	Adaptador jack rj45 - jack rj45	67
3.3.	Diseño de pantalla informativa	68
3.4.	Circuitos de acondicionamiento	69

3.4.1.	Circuito de acondicionamiento para pluviómetros	69
3.4.2.	Circuito de acondicionamiento para sensor de temperatura MET ONE 063-1	70
3.4.3.	Circuito de acondicionamiento para sensor de viento vaisala WMS302	71
3.5.	Acoplamiento de sistemas electrónicos	72
3.6.	Desarrollo del programa de control	73
3.6.1.	Programación del FPGA	73
a.	Diagrama de flujo	73
3.6.2.	Programación del módulo real time	74
a.	Diagrama de flujo	74
3.6.3.	Programa de control en la PC	75
a.	Diagrama de flujo para sensores con salidas analógicas	75
b.	Diagrama de flujo para sensores con salidas digitales	76
c.	Diagrama de flujo para sensores con salidas SDI-12	77
d.	Diagrama de flujo del programa de calibración	78
3.7.	Visualización de programas implementados en la PC.	79
4.	DESARROLLO, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
4.1.	Escalamiento de los sensores utilizados	83
4.1.1.	Escalamiento de los sensores HMP de humedad relativa y temperatura de marca Vaisala	84
a.	Sensores HMP155 y HMP45A	84
a.1.	Temperatura con sensores HMP155 y HMP45A	84

a.2. Mediciones de los sensores HMP155 y HMP45A con el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática	86
a.3. Pruebas realizadas con los sensores de tem- peratura HMP155 y HMP45A	89
a.4. Comparación de las medidas a diferente set- point de los sensores HMP155 y HMP- 45A	89
b. Humedad Relativa con los sensores HMP155 y HMP45A	91
b.1. Mediciones de los sensores HMP155 y HMP45A con el patrón de humedad relativa Dew point mirror 473 en la cámara climática	94
b.2. Pruebas realizadas con los sensores de humedad relativa HMP155 y HMP45A	96
b.3. Comparación de las medidas a diferente set- point de los sensores HMP155 y HMP- 45A	96
4.1.2. Escalamiento de los sensores de presión Vaisala PTB 110 y PTB 101C	98
a. Sensores PTB 110 y PTB 101C	98
b. Ajuste de la ecuaciones de salida de los sensores PTB110 y PTB101C	100
c. Mediciones del sensor PTB 110 y PTB101C con el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 en la cámara de presión	101

d.	Pruebas realizadas con los sensores de presión PTB110 y PTB101C	103
e.	Comparación de las medidas a diferente set- point de los sensores Vaisala PTB110 Y PTB101	104
4.1.3.	Sensores de Precipitación Texas TR-525M-R3 y Young 52203	106
a.	Pruebas realizadas con los sensores de precipi- tación marca YOUNG 52203 y Texas TR-525M-R3	106
4.1.4.	Sensor MET ONE 063-1	109
a.	Escalamiento del sensor MET ONE 063-1 de temperatura del suelo	109
b.	Mediciones del sensor MET ONE 063-1 y el pa- trón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática	110
c.	Gráfica de la salida del sensor MET ONE 063-1	110
d.	Ecuación característica del sensor	111
e.	Pruebas realizadas con el sensor MET ONE 063-1	111
f.	Comparación de las medidas a diferente set- point del sensor MET ONE 063-1	112
4.1.5.	Sensor de viento vaisala VWS302	114
a.	Dirección de viento	114
a.1.	Variación de tensión de los potenciómetros	114
a.2.	Escalamientos para determinar la dirección de viento	115

b. Velocidad de viento	118
b.1 Mediciones de cambios de flanco con varias velocidades	119
4.1.6. Sensor de viento Windsonic sdi-12	120
a. Comandos a ser utilizados para la adquisición de datos	121
4.1.7. Sensor de temperatura NTC Logotronic	121
a. Escalamiento del sensor de temperatura NTC Logotronic	121
b. Mediciones con 5V de alimentación y el patrón de temperatura PRT marca Fluke mo- delo 5626	121
c. Gráfica de la salida del sensor NTC Logotronic con 5V de alimentación	122
d. Pruebas realizadas con el sensor NTC Logotronic	123
e. Comparación de las medidas a diferente set- point del sensor NTC Logotronic.	123
4.1.8. Sensor de irradiancia CM3	125
4.1.9. Sensor de viento Met One 034B	125
a. Dirección de viento	125
b. Velocidad de viento	126
b.1 Mediciones de cambios de flanco con varias velocidades	127
4.1.10. Sensor de humedad relativa Higróplip1	129

5. Conclusiones y Recomendaciones 130

5.1. Conclusiones	130
-----------------------------	-----

5.2. Recomendaciones	134
Bibliografía	136
Anexos	1
A. Anexo A. Conexión de la Tarjeta sb-RIO con la Pc	2
A.1. Encendido de la tarjeta sb-RIO	2
A.2. Configuración inicial de la tarjeta sb-RIO	3
A.3. Configuración de la PC	8
B. Anexo B. Creación de un proyecto en LabVIEW y la Tarjeta sb-RIO	1
B.1. Pasos para crear un proyecto con la tarjeta sb-RIO	1
C. Anexo C. Código del programa implementado en el PIC - 16F877A	1
D. Anexo D. Manual de usuario del registrador de datos universal	1
D.1. Encendido del registrador de datos universal	2
D.2. Entradas analógicas	4
D.3. Entradas digitales	8
D.4. Entrada SDI-12	12
D.5. Ventana de calibración	16
D.6. Pines en las borneras	20
D.6.1. Bornera para sensores con salida analógica	21
D.6.2. Bornera para sensores con salida digital	22
D.7. Distribución de la placa electrónica	22
E. Anexo E. Formato de los reportes de ajuste de sensores	1

F. Anexo F. Diagramas de bloques de programación	1
G. Anexo G. Características Técnicas	1

Índice de figuras

1.1. Sistema de adquisición de datos	5
1.2. Instrumentación virtual	9
1.3. Sensores de humedad relativa y temperatura HPP155 y HMP45X	10
1.4. Sensor de temperatura de aire NTC logotronic	14
1.5. Sensor de humedad relativa Rotronic Hicroclip1	16
1.6. Sensor de temperatura MET ONE 063-1	18
1.7. Estructura con resistencia externa del sensor MET ONE 063-1 .	19
1.8. Sensores de presión Vaisala PTB101C y PTB110	20
1.9. Sensor de viento WMS302	22
1.10. Conector anemómetro VMS302	25
1.11. Sensor de viento Met One 034B	26
1.12. Sensor de irradiancia Kipp & Zonen CM3	28
1.13. Pluviómetro marca YOUNG 52203	31
1.14. Pluviómetro marca TEXAS TR-525M-R3	33
1.15. Sensor Novalynx 255-100	34
1.16. Partes internas sensor Novalynx 255-100	35
1.17. Sensor de viento Windsonic 4	37

2.1. Bloque de la estructura interna de un sistema embebido en general	42
2.2. Partes de una FPGA	48
2.3. Pequeña sección de un diagrama de bloques de LabVIEW con la lógica booleana simple	50
2.4. Circuito correspondiente a la lógica booleana	50
2.5. Símbolo de un Flip-flop	51
2.6. Esquema con el flip-flop resultados en rojo	51
2.7. LUT de cuatro entradas	52
2.8. Operación booleana AND	52
2.9. sb-RIO 9631	55
2.10. Partes de la sb-RIO 9631	56
2.11. Esquemático de la sb-RIO	57
2.12. Control FPGA	58
3.1. Vista isométrica de la carcasa del registrador universal de datos	64
3.2. Vista frontal de la carcasa del registrador universal de datos . .	64
3.3. Vista lateral de la carcasa del registrador universal de datos . .	64
3.4. Vista superior de la carcasa del registrador universal de datos .	65
3.5. Conversor Vegetronix SDI-12 a Serial	66
3.6. Adaptador de voltaje (12V)	67
3.7. Adaptador Jack RJ45 - Jack RJ45	67
3.8. Circuito esquemático de la pantalla LCD informativa	69
3.9. Placa del LCD de información	69
3.10. Circuito de acondicionamiento para pluviómetros	70
3.11. Circuito de acondicionamiento para sensor de temperatura MET ONE 063-1	71

3.12. Circuito de acondicionamiento para sensor de viento Vaisala WMS302	72
3.13. Diagrama de bloques general del sistema	73
3.14. Diagrama de flujo implementado en el FPGA	74
3.15. Diagrama de flujo implementado en el Modulo Real Time	75
3.16. Diagrama de flujo de adquisición para sensores de salidas analógicas	76
3.17. Diagrama de flujo del programa de adquisición para sensores de salidas digitales	77
3.18. Diagrama de flujo de adquisición para sensores de salidas SDI-12	78
3.19. Diagrama de flujo del programa de calibración	79
3.20. Pantalla de arranque	79
3.21. Pantalla principal del programa de control de sensores con salidas analógicas	80
3.22. Pantalla principal del programa de control de sensores con salidas digitales	81
3.23. Pantalla principal del programa de control de sensores con salidas SDI-12	81
3.24. Pantalla de calibración de sensores	82
4.1. Respuesta del sensor Vaisala de temperatura HMP45A con rangos de operación	85
4.2. Respuesta del sensor Vaisala de temperatura HMP155 con rangos de operación	85
4.3. Respuesta del sensor HMP155	88
4.4. Respuesta del sensor HMP45A	88

4.5. Respuesta del sensor Vaisala de humedad relativa HMP45A con rangos de operación	92
4.6. Respuesta del sensor Vaisala de temperatura HMP155 con rangos de operación	92
4.7. Respuesta del sensor Vaisala de humedad relativa HMP155 . . .	95
4.8. Respuesta del sensor Vaisala de humedad relativa HMP45A . . .	95
4.9. Respuesta del sensor de presión PTB110 con rangos de operación	99
4.10. Respuesta del sensor de presión PTB101C con rangos de operación	100
4.11. Respuesta del sensor PTB110	102
4.12. Respuesta del sensor PTB101C	102
4.13. Gráfica de salida del sensor MET ONE 063-1	111
4.14. Respuesta de cambio de flancos vs velocidad de viento sensor vaisala VWS302	120
4.15. Gráfica de salida del sensor NTC Logotronic	122
4.16. Respuesta de dirección de viento del sensor Met One 034B . . .	126
4.17. Respuesta de cambio de flancos vs velocidad de viento sensor Met One 034B	128
A.1. Conector de la fuente de alimentación	3
A.2. Led de aviso de inicialización de la sb-RIO	3
A.3. Reconocimiento de la tarjeta en el Max	4
A.4. Configuración de parámetros de red	5
A.5. Opciones de instalación de software	6
A.6. Ventana de elección de forma de instalación	6
A.7. Ventana de selección de paquetes	7
A.8. Despliegue y visualización de paquetes instalados	8
A.9. Centro de redes y recursos compartidos	9

A.10.Cambiar configuración del adaptador	9
A.11.Conexión área local	10
A.12.Introducir IP	10
B.1. Reconocimiento de la sb-RIO	2
B.2. Tarjeta lista para ser utilizada	2
B.3. Módulos FPGA y REAL TIME presentes en LabVIEW	3
B.4. Seleccionar proyecto vacío	4
B.5. Selección de la tarjeta para interactuar con LabVIEW	4
B.6. Selección sbRIO 9631 previamente configurada	5
B.7. Ruta de creación VI FPGA	5
B.8. Activación de entradas en el VI FPGA	6
B.9. Asignación entradas analógicas y digitales	7
B.10.Proceso de compilación	8
B.11.Creación del VI Real Time	9
B.12.Módulos FPGA a utilizar	10
B.13.VI Real Time cargado con VI FPGA	10
B.14.Ejemplo VI Real Time completado	11
B.15.Creación VI en la computadora	11
D.1. Conexión de cables de alimentación y comunicación	2
D.2. Botón de encendido del registrador de datos universal	2
D.3. LCD de información del estado del registrador de datos universal	3
D.4. Archivo ejecutable del programa de control	3
D.5. Ingreso de parámetros para el archivo de registro de datos	4
D.6. Entradas para sensores con salida de voltaje	4
D.7. Ventana de entradas para sensores con salida de voltaje	5
D.8. Ingreso del orden de la ecuación de respuesta de los sensores	5

D.9. Ventana con especificaciones técnicas de sensores	6
D.10.Registro de medidas en Excel	7
D.11.Botón de apertura del archivo de registro en Excel	7
D.12.Archivo de registro en Excel	8
D.13.Ingreso a entradas digitales	8
D.14.Ventana inicial de entradas digitales	9
D.15.Pestaña de sensores con salidas digitales	9
D.16.Ventana de anemómetros	10
D.17.Ventana de pluviómetros	10
D.18.Ayuda, registro y apertura del registro para entradas digitales .	11
D.19.Botones para generar reporte de sensores	12
D.20.Ventana para guardar el reporte de sensores	12
D.21.Ingreso a entradas SDI-12	13
D.22.Ventana principal de entradas SDI-12	13
D.23.Interfaz de entradas SDI-12	14
D.24.Menú de secuencia de adquisición	14
D.25.Menú de ayuda	15
D.26.Ingreso a ventana de calibración	16
D.27.Ventana principal de calibración	16
D.28.Cronómetro	17
D.29.Menú de opciones	17
D.30.Botón para insertar datos	17
D.31.Ventana con mediciones adquiridas	18
D.32.Ventana de respuesta gráfica del sensor patrón y sensor a calibrar	19
D.33.Polinomio de ajuste del sensor	19
D.34.Menú de generación de reporte	20

D.35.Distribución de placa electrónica para acondicionamientos de señal de salida de sensores	23
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Índice de tablas

1.1. Especificaciones generales sensor HMP45X	11
1.2. Especificaciones de temperatura y humedad relativa del sensor HMP45X	12
1.3. Especificaciones generales sensor HMP155	12
1.4. Especificaciones de temperatura y humedad relativa del sensor HMP155	13
1.5. Especificaciones del sensor de temperatura NTC Logotronic	15
1.6. Conexión del sensor de temperatura NTC Logotronic	15
1.7. Especificaciones técnicas del sensor de humedad relativa Rotro- nic Hicroclip1	17
1.8. Conectores del sensor de humedad relativa Rotronic Hicroclip1	17
1.9. Especificaciones sensor MET ONE 063-1	18
1.10. Especificaciones sensores de presión Vaisala PTB110 y PTB101C	21
1.11. Especificaciones generales del sensor de viento Vaisala WMS302	23
1.12. Especificaciones de la veleta del sensor de viento Vaisala VMS302	24
1.13. Especificaciones para velocidad en el sensor de viento Vaisala VMS302	24

1.14. Especificaciones técnicas de velocidad de viento de sensor Met One 034B	27
1.15. Especificaciones técnicas de dirección de viento de sensor Met One 034B	27
1.16. Disposición de pines sensor Met One 034B	28
1.17. Especificaciones piranómetro Kipp & Zonen CMP3	29
1.18. Conectores piranómetro Kipp & Zonen CMP3	30
1.19. Especificaciones técnicas sensor de precipitación YOUNG 52203	32
1.20. Especificaciones técnicas Texas Electronics TR-525M-R3	34
1.21. Especificaciones generales sensor Novalynx 255-100	35
1.22. Especificaciones de potenciómetro sensor Novalynx 255-100	36
1.23. Especificaciones generales del sensor de viento Windsonic 4	38
1.24. Sensor Windsonic 4 dirección de viento	38
1.25. Sensor Windsonic 4 velocidad de viento	38
2.1. Tabla de verdad para operación booleana AND	53
2.2. La aplicación de la LUT tabla de verdad para operación booleana AND	53
4.1. Rango de temperatura del sensor HMP45A	84
4.2. Rango de temperatura del sensor HMP155	84
4.3. Mediciones del sensor HMP155 y el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática	87
4.4. Mediciones del sensor HMP45A y el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática	87
4.5. Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor HMP155	90

4.6. Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor HMP45A	90
4.7. Rango de humedad relativa del sensor HMP45A	91
4.8. Rango de humedad relativa del sensor HMP155	92
4.9. Mediciones del sensor HMP155 y el patrón de humedad relativa Dew point mirror 473 con la cámara climática	94
4.10. Mediciones del sensor HMP45A y el patrón de humedad relativa Dew point mirror 473 en la cámara climática	94
4.11. Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor HMP155	97
4.12. Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor HMP45A	97
4.13. Rangos de presión y voltaje del sensor PTB110	99
4.14. Rangos de presión y voltaje del sensor PTB101C	99
4.15. Mediciones del sensor PTB110 con el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 en la cámara de presión	101
4.16. Mediciones del sensor PTB101C y el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 con la cámara de presión	102
4.17. Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor PTB110	104
4.18. Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor PTB101C	105
4.19. Prueba de pluviómetro YOUNG 52203	107
4.20. Prueba de pluviómetro TEXAS TR-525M-R3	108
4.21. Puntos para obtener la ecuación característica del sensor MET ONE 063-1	110

4.22. Puntos para obtener la ecuación característica del sensor NTC	
Logotronic	113
4.23. Variación de tensión en los potenciómetros de dirección del sensor VWS302	115
4.24. Ecuaciones de escalamiento para dirección de viento sensor Vaisala VWS302	118
4.25. Cambios de flanco a determinada velocidad	119
4.26. Voltaje de salida de sensor NTC Logotronic alimentado con 5V	122
4.27. Puntos para obtener la ecuación característica del sensor NTC	
Logotronic	124
4.28. Cambios de flanco a determinada velocidad	128
D.1. Pines en la bornera para sensores con salida analógica	21
D.2. Pines en la bornera para sensores con salida digital	22

1

GENERALIDADES DE SENSORES HIDROMETEOROLÓGICOS

1.1. Variables hidrometeorológicas

1.1.1. Introducción

El estilo de vida actual depende, en gran medida, de las condiciones ambientales óptimas y de la disponibilidad de suficientes recursos que faciliten y aseguren la supervivencia de los seres vivos. Las denominadas condiciones

ambientales obedecen a la intervención de factores tanto físicos como químicos, los cuales, han sido catalogados como variables hidrometeorológicas. En este sentido, las variables hidrometeorológicas son todos aquellos fenómenos físicos cuyo comportamiento permite conocer y definir el estado del tiempo en un determinado sector.

1.1.2. Historia

[1] Los fenómenos hidrometeorológicos siempre han sido de interés para el desarrollo del hombre tanto para su protección como para beneficio a través de aplicaciones útiles que el tiempo ofrece cada día. Siendo así, la verdadera riqueza de un país se fundamenta tanto en sus recursos humanos como naturales, por tanto, una buena utilización de estos últimos proporcionará el máximo beneficio a la comunidad.

[1] Con el paso del tiempo es el clima el que determina la vegetación natural, permite una adecuada planificación de la agricultura, de los recursos hídricos, así como de la demanda de electricidad, industria, etc. En este contexto, el clima se define como el estado medio de las condiciones atmosféricas caracterizado por la evolución del tiempo atmosférico de un área determinada, aduciendo que el clima no es algo fijo, siendo su naturaleza cambiante. Entretanto, el tiempo atmosférico se define como el estado de la atmósfera en un instante dado, definido por los diversos elementos meteorológicos. La diferencia entre tiempo atmosférico y clima se establece porque el primero es el acontecer diario de la atmósfera, y el clima, como las manifestaciones más frecuentes de éste a largo plazo.

1.1.3. Tipos de variables hidrometeorológicas

[2] Todas y cada una de las variables hidrometeorológicas que intervienen en el comportamiento climático de la Tierra tienen múltiples aspectos que deben ser analizados cuidadosamente para interpretar correctamente la incidencia de cada una de ellas en éste. Las variables hidrometeorológicas están todas relacionadas entre si, siendo las principales:

- **Evaporación.-** [2] Cantidad de agua evaporada desde una superficie abierta de agua o desde el suelo.
- **Humedad relativa.-**[2] Relación porcentual entre la presión de vapor observada y la saturación de la presión de vapor respecto al agua a la misma temperatura y presión.
- **Precipitación.-**[2] Son los productos líquidos o sólidos de la condensación de vapor de agua que caen de las nubes o se depositan del aire en la tierra. Incluye lluvia, granizo, nieve, rocío, escarcha, heladas y niebla.
- **Presión Atmosférica.-**[2] La presión atmosférica sobre una superficie dada es la fuerza por unidad de área ejercida por virtud del peso de la atmosfera superior. La presión es así, igual al peso de la columna vertical del aire sobre la superficie, tomada horizontalmente, y extendida hasta el límite de la atmósfera.
- **Temperatura.-**[2] Temperatura es la condición que determina la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos.
- **Radiación Solar.-**[2] Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidos por el sol.

- **Viento.**-[2] Es considerada como una cantidad vectorial bidimensional especificada por dos números que representan dirección y velocidad.

1.2. Sistemas de adquisición de datos (SAD)

[3] En la actualidad, el vertiginoso desarrollo de la electrónica ha motivado a que todas las esferas de la vida humana se estén automatizando, sean éstas la industria, el hogar, el comercio, las comunicaciones, etc. Esto ha permitido la expansión de sistemas inteligentes que resuelven los más diversos problemas, los denominados sistemas de adquisición de datos.

[4] Un sistema de adquisición de datos no es más que un equipo electrónico cuya función es el control, o en este caso, el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera. De forma general, como se aprecia en la Figura 1.1 un sistema de este tipo puede estar compuesto de las siguientes etapas:

- I. Sensores o transductores que convierte un fenómeno físico en una magnitud o señal eléctrica;
- II. Sistema de acondicionamiento de señal que va a aislar, filtrar, convertir y/o amplificar la señal;
- III. Un sistema de adquisición de datos que convierte una señal analógica a digital;
- IV. Un sistema de tratamiento que va a transformar la información digital presentada por el bloque interno, en información útil al usuario; y

V. Un sistema de visualización que se encarga de mostrar la información y los datos procesados.



Figura 1.1: Sistema de adquisición de datos [4]

En el campo de la hidrometeorología, el dispositivo comunmente usado para la adquisición de datos es el llamado Registrador de datos (Datalogger), puesto que, la mayoría de empresas necesitan en sus sistemas diferentes tipos de almacenamiento de datos teniendo como alternativa la obtención de datos históricos y la posibilidad de realizar predicciones y proyecciones.

1.2.1. Registrador de datos

a. Introducción

[5] El registrador de datos es la parte central de un sistema de medición, en el cual, se conectan los diferentes sensores. Dependiente del sensor, la señal de información es analógica como voltaje, corriente etc, o digital como frecuencia o impulso. A base de la curva de calibración de cada sensor, el registrador interpreta la señal y la transforma en un valor que representa el estado actual de la variable (velocidad del viento, dirección, temperatura, etc.).

La mayoría de registradores son diseñados para operar con los sensores del mismo fabricante. Sin embargo, algunos son versátiles y pueden trabajar con diferentes instrumentos que cumplen las especificaciones de la entrada (rango de frecuencia, rango de voltaje, etc).

En la actualidad, los registradores de datos electrónicos han remplazado a los registradores de carta en muchas aplicaciones, gracias a su confiabilidad, manejo masivo de datos y demás ventajas propias de la tecnología.

b. Beneficios

[6] El beneficio fundamental del uso de estos dispositivos es la gran capacidad para coleccionar datos de forma autónoma y en tiempo real, las 24 horas del día sin importar condiciones externas. Tras su activación, los registradores normalmente se dejan sin vigilancia para medir y registrar los datos durante todo el período de seguimiento. Esto permite una visión global y precisa de las condiciones a las que están expuestas las variables monitoreadas.

c. Formato de almacenamiento de datos

[6] Todos los fabricantes, en su mayoría, han optado por sistemas de adquisición y almacenamiento que generen archivos que puedan ser leídos y ejecutados desde aplicaciones de gran acogida en el mercado como Excel. Estos archivos, generalmente, tienen extensiones como .txt, .lvm, .xml (archivo de documentos electrónicos), .xlsx entre otros.

d. Protocolos de comunicación

[6] Hoy en día, varios protocolos han sido normalizados, incluyendo el protocolo inteligente SDI-12. Por otro lado, algunas compañías fabricantes de registradores de datos también apoyan el estándar MODBUS, el cual, ha sido utilizado tradicionalmente para control industrial. De igual manera, otro protocolo que empieza a ser más ampliamente utilizado se basa en Can bus (ISO 11898). Para adaptarse a estos diversos protocolos estándar, algunos registradores utilizan un entorno de programación flexible.

e. Usos comunes

[7] Entre las principales aplicaciones se puede enumerar las siguientes:

- Estación meteorológica supervisada;
- Registro hidrológico;
- Boyas marinas para registro meteorológico;
- Registradores de investigación de fauna salvaje;
- Análisis de perfil de carga de consumo a la red eléctrica de industrias;
- Caja negra de los aviones que registran innumerables variables de vuelo;
- Controlador de motor de los vehículos, en donde se registra eventos para identificar posibles fallas; y
- Registrador de datos de travesía utilizado en barcos de mediano y gran calado.

1.2.2. Tratamiento y acondicionamiento de las señales eléctricas

a. Introducción

[4] El ser humano tiene la capacidad de percibir condiciones del entorno que lo rodea como temperatura, cantidad de luz, formas, etc. por medio de los diferentes sentidos que posee. No obstante, esta apreciación es limitada por ser cualitativa. Cuando se requiere una apreciación cuantitativa, los elementos llamados sensores son los garantes de esta apreciación, pudiendo ser éstos eléctricos, mecánicos etc. Cada sensor se basa en un principio que le permite transformar una magnitud física, obtenida de la naturaleza, en una magnitud

eléctrica que posibilitará el análisis de forma detallada y científica de los procesos naturales.

Con el paso de los años, esta instrumentación electrónica ya no fue suficiente, pues sus capacidades se limitan a la obtención de señales eléctricas proporcionales a magnitudes físicas. Así, se desarrolló la instrumentación virtual, que realiza la tarea antes mencionada incluyendo el almacenamiento y procesamiento de información en una computadora. Gracias a la instrumentación virtual y a los avances en el ámbito de las comunicaciones electrónicas, los datos obtenidos pueden ser procesados remotamente permitiendo monitorear y controlar diversos procesos desde prácticamente cualquier lugar.

b. Instrumentación virtual

[4] Un instrumento virtual es aquel que fusiona todos los elementos de un instrumento electrónico físico, implementando mayores y mejores capacidades gracias al uso de una interfaz (GPIB, USB, Firewire, Ethernet, SCSI, ASCII, Bluetooth, etc.) entre el sistema físico de acondicionamiento de señal y la computadora. El instrumento virtual tiene capacidad ilimitada, ya que cuenta con el sustento de un procesador y la característica de robustez de las aplicaciones de un computador. Una de las ventajas más importantes es que es de bajo costo, ya que, se lo puede implementar en una computadora personal de uso común.

De forma general, como se aprecia en la Figura 1.2, la estructura de un instrumento virtual cuenta con los siguientes elementos:

- Sensor;
- Sistema de acondicionamiento de señal;

- Conversor análogo/digital (ADC);
- Interfaz;
- Procesador; e
- Interfaz de comunicación con el sistema de control, de visualización o de enlace con otro proceso.

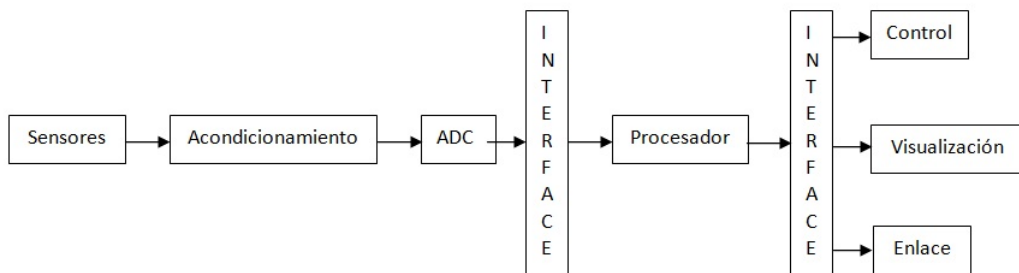


Figura 1.2: Instrumentación virtual [4]

c. Acondicionamiento de señales

[8] En muchas ocasiones, cuando se trabaja con señales eléctricas, éstas no se encuentran en condiciones apropiadas para su tratamiento y posterior análisis, siendo necesario la manipulación y la utilización de técnicas que permitan obtener señales en mejores condiciones (señal pura). Así se evita pérdida de datos o aún peor, información alterada. Los siguientes son algunos de los procesos que se pueden presentar en el acondicionamiento de una señal:

- Protección para evitar el daño al siguiente elemento;
- Conversión de una señal en un tipo de señal adecuado. Sería el caso de cuando es necesario convertir una señal a un voltaje de CD, a una corriente o presión;

- Obtención del nivel adecuado de la señal. En muchos casos es necesario amplificar una señal para que esta pueda ser leída;
- Eliminación o reducción de ruido. La forma más común es utilizar filtros; y
- Manipulación de la señal. Por ejemplo, convertir una variable en una función lineal.

1.3. Sensores utilizados

1.3.1. Sensor de temperatura y humedad relativa VAISALA HMP45X y HMP155

a. Definición

[9], [10] Sensores con salida analógica de voltaje cuya función es determinar tanto la temperatura ambiente y la humedad relativa a través de una PT100 y un sensor HUMICAPÆ 180, respectivamente, colocados en su interior. Entregan a su salida una respuesta lineal siendo el voltaje proporcional a la temperatura en grados centígrado y la humedad relativa en porcentaje. En la Figura 1.3 se muestran los sensores.



Figura 1.3: Sensores de humedad relativa y temperatura HMP155 y HMP45X [10] y [9]

b. Principio de funcionamiento

[11], [10] El sensor de humedad relativa de los sensores HMP45X y HMP155 incorpora un detector capacitivo de polímero de película delgada. El polímero de película delgada absorbe o libera vapor de agua a medida que la humedad relativa del aire del entorno aumenta o disminuye. Las propiedades dieléctricas de la película del polímero dependen de la cantidad de agua que contenga: a medida que la humedad relativa cambia, las propiedades dieléctricas de la película cambian, y consecuentemente la capacitancia del detector cambia también. Los componentes electrónicos del instrumento miden la capacitancia del detector y la convierten en una lectura de humedad.

[12] Por otro lado el sensor de temperatura incorpora un detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Al calentarse un metal existe una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.1: Especificaciones generales sensor HMP45X [9]

Rango de operación	-40...+60 °C
Voltaje de alimentación	7...35 VDC
Tiempo de establecimiento	500 ms
Consumo de energía	< 4 mA

Tabla 1.2: Especificaciones de temperatura y humedad relativa del sensor HMP45X [9]

Rango de medición RH(%)	0.8 á 100 % RH
Salida	0...100 % RH equivalente a 0...1 VDC
Precisión	± 1 % RH
Calibración en campo	± 2 %RH(0...90 %RH) ± 3 %RH (90...100 %RH)
Estabilidad a largo plazo	< 1 %RH / año
Sensor de humedad	HUMICAP® 180
Rango de medición (°)	-39.2...+60 °C
Salida	-40...60 °C equivalente a 0...1 VDC
Precisión a +20 °C	± 0.2 °C
Sensor de temperatura	Pt100 IEC 751 1/3 Class B

Tabla 1.3: Especificaciones generales sensor HMP155 [10]

Rango de operación	-80...+60 °C
Voltaje de alimentación	7...28 VDC
Temperatura de almacenamiento	-80...+60 °C
Consumo de energía	< 4 mA

Tabla 1.4: Especificaciones de temperatura y humedad relativa del sensor HMP155 [10]

Rango de medición RH(%)	0 á 100 % RH
Salida	0...100 % RH equivalente a 0...1 VDC
Precisión	± 1 % RH
Calibración en campo	± 1 %RH(0...90 %RH) ± 1.7 %RH (90...100 %RH)
Sensor de humedad	HUMICAP® 180
Rango de medición (°C)	-80...60°C
Salida	-80...60°C equivalente a 0...1 VDC
Sensor de temperatura	Pt100 RTD 1/3 Clase B IEC 751

1.3.2. Sensor de temperatura NTC Logotronic

a. Definición

[13] El sensor NTC Logotronic es un dispositivo electrónico orientado a la medición de temperatura del aire, capaz de responder a pequeñas variaciones de la temperatura ambiental a muy alta velocidad y con excelente precisión. Este sensor también es utilizado para la medición de temperatura del suelo, mostrando la misma confiabilidad que al medir temperatura ambiental. Su diseño se muestra en la Figura 1.4.



Figura 1.4: Sensor de temperatura de aire NTC Logotronic [13]

b. Principio de funcionamiento

[13] Logotronic a utilizado, en este sensor, dos termistores conectados en paralelo, a fin de ampliar el rango de medición obteniendo una amplia resolución (infinito) y respuestas en el menor tiempo posible.

[14] Al ser un termistor un sensor resistivo de temperatura, su funcionamiento se basa en la variación de resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura, debido al cambio en la concentración de portadores. De esta forma, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que, la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.5: Especificaciones del sensor de temperatura NTC Logotronic [13]

Rango de medición estándar	-50°C a 60°C
Rango de medición ampliado	-60°C a 80°C
Incertidumbre	$\pm 0,1K\Omega$
Resolución	Infinita
Tiempo de respuesta:	
Temperatura de aire	<10sg
Temperatura del suelo	< 60sg
Termistor	3 hilos

d. Distribución de cables

Tabla 1.6: Conexión del sensor de temperatura NTC Logotronic [13]

Num	Señal	Color de cable
1	Referencia	Café
2	NTC	Verde
3	Tierra	Blanco
4	Masa	Amarillo/Verde

1.3.3. Sensor de humedad relativa Rotronic Higrclip1

a. Definición

[15] Sensor con salida analógica de voltaje cuya función es determinar la humedad relativa en el ambiente a través de un sensor capacitivo Hygromer-AC1. Entrega a su salida una respuesta lineal siendo la variación de voltaje proporcional a la humedad relativa en porcentaje. En la Figura 1.5 se muestra

el sensor.



Figura 1.5: Sensor de humedad relativa Rotronic Higrclip1 [15]

b. Principio de funcionamiento

[15] La marca rotronic ha desarrollado este dispositivo utilizando el sensor de humedad realtiva Hygromer AC1, formado por una película delgada capacitiva (polímero orgánico capacitivo) y con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios de nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad.

El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad, este tipo de sensor es especialmente apropiado para ambiente de alta temperatura porque el coeficiente de temperatura es bajo y el polímero dieléctrico puede soportar altas temperaturas.

c. Especificaciones técnicas sensor de humedad relativa Rotronic Higrclip

Tabla 1.7: Especificaciones técnicas del sensor de humedad relativa Rotronic Higrclip1 [16]

Humedad Relativa operativa	0...100 %HR
Resolución	0.1 %
Rango de Medida	0...100 %HR = 0...1V
Alimentación	(3,5...50)V
Señal de salida	Serial
Carga a la salida	>10KOhm
Precisión a 23°C.	Humedad: $\pm 1,5$ %HR

d. Distribución de cables del sensor de humedad relativa Rotronic Higrclip1

Tabla 1.8: Conectores del sensor de humedad relativa Rotronic Higrclip1 [17]

Verde	GND
Café	5VDC
Blanco	Señal humedad relativa

1.3.4. Sensor de temperatura del suelo MET ONE 063-1

a. Definición

[18] El MET ONE 063-1 es un sensor que mide con alto grado de precisión la temperatura del aire, agua y suelo en rangos amplios. Funciona a través de un termistor que se encuentra encapsulado dentro de aceite de silicona rodeado de una capa de acero inoxidable, la cual, permite su uso óptimo en aplicaciones de campo. Debido a su alta sensibilidad resistiva elimina problemas asociados

con la longitud de la línea principal, entornos ruidosos, malas conexiones y robustez asociada a su manipulación. En la Figura 1.6 se indica la forma del sensor.



Figura 1.6: Sensor de temperatura MET ONE 063-1 [18]

b. Principio de funcionamiento

[18] Este sensor está constituido por un termistor de estado sólido que produce grandes cambios de resistencia de una forma inversamente proporcional a los cambios de temperatura generados, lo que permite el uso de una señal de voltaje normal como salida. Además, este sensor está montado dentro de una carcasa blindada la misma que minimiza los errores causados por la radiación solar y terrestre.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.9: Características de rendimiento sensor MET ONE 063-1 [18]

Rango de medición	-50°C a +50°C
Linealidad	$\pm 0.15^\circ\text{C}$
Precisión	$\pm 0.1^\circ\text{C}$
Constante de tiempo	60 segundos

d. Conexión de cables

[18] En la Figura 1.7, se muestra la conexión de cables junto con el circuito externo del sensor:

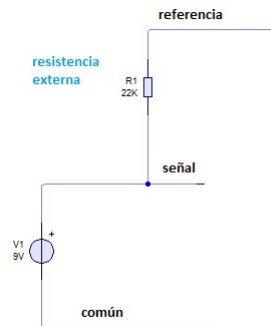


Figura 1.7: Estructura con resistencia externa del sensor MET ONE 063-1 [18]

1.3.5. Sensor de presión Vaisala PTB101C y PTB110

a. Definición

[19] Los instrumentos Vaisala de la serie PTB son barómetros analógicos construidos con la utilización del sensor BAROCAP en su interior, el cual, es un sensor de presión absoluta fabricado con silicio capacitivo. El modelo de estos sensores es compacto como se muestra en la Figura 1.8 y su señal de salida es un voltaje que puede variar de 0 a 2.5V.

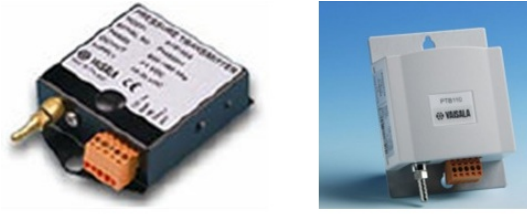


Figura 1.8: Sensores de presión Vaisala PTB101C y PTB110 [19]

b. Principio de funcionamiento

[20] El BAROCAP está basado en tecnología de silicio donde evalúa el cambio capacitivo de una membrana de cerámica, ocasionado por la flexión en relación con un contra electrodo paralelo, lo que significa que la membrana hace las veces de placa de condensador. En estos sensores de presión capacitivos con membrana cerámica y procesamiento de señales, se utilizan las siguientes microtecnologías:

- Técnica de películas delgadas para los electrodos;
- Técnica de películas gruesas para el híbrido de procesamiento de señales;
- Técnica de micromontaje para la membrana de cerámica; y
- Circuitos integrados para aplicaciones específicas para el procesamiento de señales.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.10: Especificaciones sensores de presión Vaisala PTB110 y PTB101C [19], [20]

SENSOR	PTB110	PTB101C
Rango de Presión	500...1100 hPa	900...1100hPa
Rango de temperatura de funcionamiento	-40...60°C	-40...60°C
Linealidad	±0.25 hPa	±0.3 hPa
Histéresis	±0.03 hPa	±0.03 hPa
Repetibilidad	±0.03 hPa	±0.03hPa
Voltaje de alimentación	10...30VDC	10...30VDC
Voltaje de salida	0...2.5VDC ó 0...5VDC	0... 2.5VDC
Resolución	0,1hPa	0,1hPa
Tiempo de establecimiento	1s para llegar a la máxima precisión	1s para llegar a la máxima precisión
Tiempo de respuesta	500ms para llegar a máxima precisión	300 ms para llegar a máxima precisión

d. Conversión de voltaje a presión

[19] La transformación sencilla de magnitud eléctrica a magnitud física es una ventaja que brinda este sensor, ya que, simplemente se aplica una fórmula conociendo los rangos de presión de la siguiente manera:

$$P = P_{min} \frac{P_{rango}}{V_{rango}} V_{out} \quad (1.1)$$

Donde:

P_{min} = Presión mínima del rango

P_{rango} = Rango de presión

V_{rango} = Rango de variación de voltaje

V_{out} = Voltaje de salida

1.3.6. Sensor de viento Vaisala WMS302

a. Definición

[21] El anemómetro WMS302 es un dispositivo destinado a medir la velocidad del viento por medio del giro de tres cazoletas, y la dirección a través de una veleta. Su estructura es compacta, como se aprecia en la Figura 1.9, teniendo los sensores de velocidad y dirección integrados en una sola unidad. La parte electrónica se halla al interior de un compartimiento impermeable, lo que, provee protección total contra el agua, polvo e interferencia electromagnética.

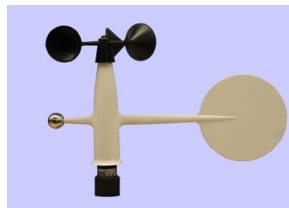


Figura 1.9: Sensor de viento WMS302 [21]

b. Principio de funcionamiento

[21] El WMS302 está constituido por una base giratoria construida sobre un eje junto a un par de rodamientos y un imán. Sobre estos elementos se

localiza la parte electrónica conjuntamente con un relé encargado de convertir la rotación de las cazoletas en pulsos; de esta manera, la lectura de velocidad del sensor se la realiza contando el número de pulsos en un periodo de tiempo.

La veleta, que se encarga de indicar la dirección de viento, se encuentra acoplada a un dispositivo giratorio que actúa conjuntamente con dos potenciómetros lineales y de bajo arranque que al moverse varían su resistencia indicando así la posición angular de la veleta.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.11: Especificaciones generales del sensor de viento Vaisala WMS302 [21]

Propiedad	Descripción/Valor
Alimentación	3...15VDC
Temperatura de funcionamiento	- 40...+55°C
Temperatura de almacenamiento	- 60...+65°C

Tabla 1.12: Especificaciones de la veleta del sensor de viento Vaisala VMS302 [21]

Propiedad	Descripción/Valor
Sensor/Tipo de transductor	potenciómetro
Rango de medida	0...360°
Inicio de umbral	< 1.0 m/s
Factor de amortiguamiento	0.3
Rebasamiento de relación	0.4
Retraso de la distancia	0.6m
Precisión	Mayor de $\pm 3^\circ$

Tabla 1.13: Especificaciones para velocidad en el sensor de viento Vaisala VMS302 [21]

Propiedad	Descripción/Valor
Sensor/Tipo de transductor	Interruptor de dos láminas
Rango de medida	0.5...60 m/s
Inicio de umbral	< 0.4 m/s
Distancia constante	2m
Transductor de salida	1 Hz \sim 0.7 m/s
Precisión	≤ 10 m/s) ± 0.3 m/s > 10 m/s) error < 2%
Función de transferencia, donde: U=velocidad de viento [m/s] F=salida de frecuencia [Hz]	$U = - 0.24 + F * 0.699$

d. Conectores

[21] En la Figura 1.10 se indica el tipo de conector con el que cuenta estos anemómetros.

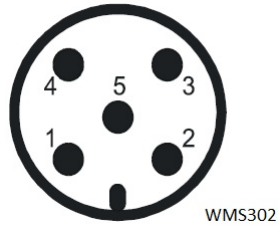


Figura 1.10: Conector anemómetro WMS302 [21]

Donde:

1. +Vref, voltaje de entrada;
2. DIR1, Dirección de viento (señal de salida);
3. GND, tierra;
4. DIR2, Dirección de viento (señal de salida);
5. SPD, velocidad de viento (señal de salida).

1.3.7. Sensor de viento MET ONE 034B

a. Definición

[22] Es un anemómetro como se indica en la Figura 1.11, formado por tres cazoletas y una veleta, destinado a medir la velocidad y dirección de viento que incide sobre él.

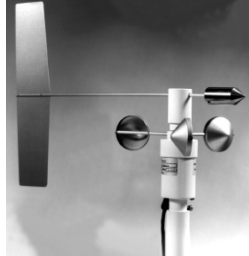


Figura 1.11: Sensor de viento Met One 034B [22]

b. Principio de funcionamiento

[22] La velocidad del viento se mide con un anemómetro de tres copas. La rotación de la rueda de copa abre y cierra un interruptor de láminas a una velocidad proporcional a la velocidad del viento.

La dirección de viento se da a través de la posición de la aleta juntamente con una tensión de excitación aplicada, la señal resultante es transmitida por un potenciómetro de 10K ohmios, siendo la tensión de salida proporcional a la dirección del viento.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.14: Especificaciones técnicas de velocidad de viento de sensor Met One 034B [22]

Rango de operación	0 a 75 m.s^{-1}
Umbral	0.4 m.s^{-1}
Precisión	$\pm 0.12 \text{ m.s}^{-1}$ para velocidad de viento $< 10.1 \text{ m.s}^{-1}$
Señal de salida	Contacto cerrado (interruptor)
Resolución	0.7998 m.s^{-1} velocidad de lectura en segundos
Función de transferencia	$U = 0.7989F + 0.28$ Donde: $U = \text{velocidad de viento [m/s]}$ $F = \text{salida de frecuencia [Hz]}$

Tabla 1.15: Especificaciones técnicas de dirección de viento de sensor Met One 034B [22]

Rango de medida	0 a 360 grados
Umbral	0.4 m.s^{-1}
Precisión	$\pm 4^\circ$
Resolución	0.5°
Potenciómetro	0 a $10 \text{ k}\Omega$
Rango de operación de temperatura	-30° a $+70^\circ\text{C}$

d. Distribución de cables sensor de viento Met One 034B

En la Tabla 1.16 se indica la disposición de pines del sensor junto con el color de cable que le corresponde.

Tabla 1.16: Disposición de pines sensor Met One 034B [22]

Señal de velocidad	Rojo
Común de velocidad	Negro
Referencia dirección de viento	Blanco
Común dirección de viento	Verde
Señal dirección de viento	Amarillo
Masa	Blanco/Negro

1.3.8. Sensor de irradiancia Kipp & Zonen CM3

a. Definición

[23] El piranómetro CM3 es un instrumento para la medición de irradiancia solar. La construcción de este sensor posibilita la medida de la energía solar que es recibida desde el hemisferio completo (180 grados de vista). Su salida se expresa en W/m^2 (vatio por metro cuadrado) y de acuerdo a la clasificación ISO 9060, el CM3 es un piranómetro de segunda clase. En la Figura 1.12 se indica en forma física el piranómetro.



Figura 1.12: Sensor de irradiancia Kipp & Zonen CM3 [24]

b. Principio de funcionamiento

[24] El piranómetro CM3 está diseñado en su interior con un sensor de tipo termopila, un alojamiento en forma de una caja, la cúpula y un cable.

El sensor de tipo termopila se encuentra recubierto con una capa negra que actúa como absorbente, es decir, esta capa absorbe la radiación para posteriormente convertir este tipo de energía en calor. La diferencia de temperatura resultante es transformada a voltaje por un material constituido por una aleación de metales como el cobre-constantan, siendo el voltaje de la termopila la respuesta del sensor. Por otra parte, la ubicación de la termopila tiene un campo de visión suficiente y características angulares necesarias para cumplir con los requerimientos para una respuesta óptima del sensor.

c. Especificaciones técnicas sensor de irradiancia CM3

Tabla 1.17: Especificaciones piranómetro Kipp & Zonen CM3 [24]

Tiempo de respuesta 95 %	18s
Precisión esperada	$\pm 10\%$
Rango Espectral (50 puntos %, nm)	305 a 2800 nm
Sensibilidad	10 a 35 $\mu\text{V}/\text{Wm}^2$
Señal de salida típica	0 a 50 mV
Impedancia	79 a 200 ohm
Temperatura de Operación	-40° a +80°C
Máxima Irradiación	2000 Wm^{-2}
Longitud de cable	34 pies (10 m)
Nivel de Precisión	1 grado

d. Distribución de cables

[25] Los piranómetros de la gama CM3 son de fácil instalación, pues, cuentan con un cableado muy intuitivo a fin de que el usuario no haga un mal uso del mismo, es así que para su conexión el cableado se distribuye como se indica en la Tabla 1.18:

Tabla 1.18: Conectores piranómetro Kipp & Zonen CMP3 [24]

Tierra	Blanco
Alimentación	Azul
Señal de salida	Rojo
Masa	Transparente

e. Uso y aplicaciones

[24] Debido al diseño del sensor, éste puede ser utilizado en ambientes externos. Además al contar con una sensibilidad espectral plana de 300 a 3000nm, tiene un buen rendimiento con luz natural y con varios tipos de luz artificial, como lámparas de Xenón y Alógenas

En su aplicación más frecuente, el piranómetro es usado para medir la radiación que cae sobre la superficie horizontal. Sin embargo, también puede ser usado en posición invertida o inclinada. Si se desea medir el albedo simplemente se debe combinar dos piranómetros de tipo CM3.

1.3.9. Sensor de precipitación YOUNG 52203

a. Definición

[26] El sensor Young 52203 es un dispositivo utilizado para la recolección y medición de precipitación a través de un mecanismo de balancín sencillo y

eficaz, el cual, se muestra en la Figura 1.13. La forma del pluviómetro, es decir su geometría y material, brinda una salida eficiente de agua, la cual, elimina el índice de contaminación y error. En su estructura cuenta con tres tornillos que junto a un nivel de burbuja sirven para la nivelación del sensor en campo. Finalmente, el agua recogida tiene un desfogue a través de un tubo pudiendo así realizar la verificación de la precipitación total recolectada.



Figura 1.13: Pluviómetro marca YOUNG 52203 [26]

b. Principio de funcionamiento

[26] Durante la recolección de agua, ésta ingresa a un colector con una superficie de 200cm^2 . Posteriormente, el agua viaja a través de la estructura del sensor llegando a un elemento de inflexión que espera que llegue una cantidad determinada de agua para vaciarla de ese lado y esperar la llegada de agua por el otro. Internamente, el pluviómetro posee un interruptor de láminas que es el detector del procedimiento de inflexión permitiendo al sensor presentar una salida de pulsos.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.19: Especificaciones técnicas sensor de precipitación YOUNG 52203 [26]

Area del orificio	200cm ²
Resolución	1 pulse=0.1 mm Precipitación
Capacidad de precipitaciones	Ilimitada
Incertidumbre	2 % sobre 25mm/hr 3 % sobre 50mm/hr
Alimentación	24VDC
Temperatura de operación	0...60°C
Salida eléctrica	Contacto libre de potencial (interruptor de láminas magnético)
Calibre del cable	0,5mm ²
Resistencia del cable	39 Ohms por km

1.3.10. Sensor de precipitación Texas Electronics TR-525M-R3

a. Definición

[27] Al igual que el sensor de precipitación Young, el pluviómetro TR-525M, el cual, se muestra en la Figura 1.14 es un sensor de tipo balancín que mide la cantidad de precipitación líquida. En su estructura cuenta con un nivel de burbuja que sirve para la nivelación del sensor en campo. Finalmente, el agua recogida cae por un desfogue, con lo cual se puede realizar la verificación de la precipitación total recolectada.



Figura 1.14: Pluviómetro marca TEXAS TR-525M-R3 [27]

b. Principio de funcionamiento

[26] Durante la recolección de agua, ésta ingresa a un colector con una superficie de 245cm^2 . Posteriormente el agua viaja a través de la estructura del sensor llegando a un elemento de inflexión que espera que llegue una cantidad determinada de agua para vaciarla de ese lado y esperar la llegada de agua por el otro. Internamente, el pluviómetro posee un interruptor de láminas que es el detector del procedimiento de inflexión permitiendo al sensor presentar una salida de pulsos.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.20: Especificaciones técnicas Texas Electronics TR-525M-R3 [27]

Resolución	0.1mm
Precisión	1.0 % hasta el 2" /hr
Diámetro del colector	245mm
Profundidad del embudo	183mm
Temperatura de operación	(0 á 50)°C
Temperatura de almacenamiento	(-40 á 70)°C
Límites de humedad	(0 á 100) %
Tiempo medio de cierre del interruptor	135 ms
Rebote máximo tiempo de establecimiento	0.75ms
Capacidad de conmutación máxima	30 VDC á 2 A, 115 VAC á 1 A

1.3.11. Sensor de evaporación Novalynx 255-100

a. Definición

[28] Sensor de evaporación con salida analógica cuya función es medir el nivel cambiante del agua en un tanque de evaporación. Entrega a su salida una señal eléctrica proporcional al nivel cambiante de agua, la cual, es de fácil adquisición para su uso. En la Figura 1.15 se muestra el sensor.

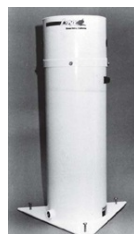


Figura 1.15: Sensor Novalynx 255-100 [28]

b. Principio de funcionamiento

[28] Este dispositivo funciona a través de un flotador plástico acoplado a una cadena que gira alrededor de una rueda dentada como se muestra en la Figura 1.17. El flotador permanece en la superficie del agua, y a medida que el líquido se evapora el flotador a través de la cadena mueve la rueda dentada y ésta provoca la rotación de un potenciómetro interno, variando de esta manera la resistencia. Al ser alimentado el sensor con un voltaje de referencia de 5V, este potenciómetro responde como un divisor de tensión teniendo una señal de salida dependiente del nivel de agua de 0 a 5V.

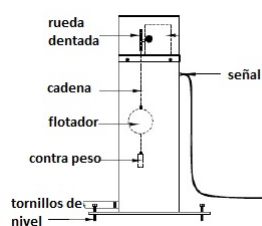


Figura 1.16: Partes internas sensor Novalynx 255-100 [28]

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.21: Especificaciones generales sensor Novalynx 255-100 [28]

Cable	50' de 3-conductores, 24 AWG, blindado
Conector de señal	3 pines
Flotador	4" de diámetro, de plástico
Contrapeso	4 oz (114 g), acero inoxidable
Puerto de entrada de agua	1/2" NPT acoplamiento, hembra
Resolución total	0.03" (0.76 mm)

Tabla 1.22: Especificaciones de potenciómetro sensor Novalynx 255-100 [28]

Precisión	0.25 %
Rotación	360° continuos
Angulo eléctrico	340°, $\pm 1^\circ$ (20° desfase)
Resistencia	1,000 ohms, $\pm 10\%$
Temperatura de funcionamiento	-40 to +140° F (-40 to +60° C)
Linealidad	0.25 %
Rango mecánico	0 to 10" (0 to 254 mm)
Rango eléctrico	0 to 9.44" (0 to 240 mm)

1.3.12. Sensor de viento Windsonic 4

a. Definición

[29] El Windsonic 4 es un anemómetro ultrasonico robusto, compacto, ligero y sin partes móviles, el cual se muestra en la Figura 1.17. Este instrumento posee dos ejes con sensores ultrasónicos de estado sólido, los que entregan la medición de velocidad y dirección del viento. Dichos datos, junto con un código de estado, son enviados como mensaje por medio de una salida serial SDI-12. El formato del mensaje puede ser Polar, cantidades escalares de velocidad y dirección de viento, ó UV, donde U representa un valor en el eje sur-norte y V corresponde al eje este-oeste.

Respecto a la comunicación SDI 12 es el acrónimo para “Serial data interface at 1200 baud”, protocolo que se ha desarrollado especialmente para el monitoreo de datos ambientales con la posibilidad de conectar hasta 62 sensores a un solo puerto de lectura. Para ello se requiere que cada dispositivo en

la red serial se identifique con una dirección única, que está representada con un caracter ASCII.



Figura 1.17: Sensor de viento Windsonic 4 [29]

b. Principio de funcionamiento

[29] El Windsonic 4 utiliza dos pares de transductores dispuestos ortogonalmente con el objetivo de medir el tiempo tomado por un pulso ultrasónico en viajar desde el transductor del lado Norte hacia el transductor del lado Sur, y comparado con el tiempo que le toma a un pulso viajar desde el Sur hacia el Norte. De igual forma, los tiempos son comparados entre los transductores Oeste y Este, y viceversa. Luego, la velocidad y dirección del viento son calculadas con base en las diferencias de tiempo de vuelo en cada eje. Este cálculo es independiente de factores como la temperatura.

c. Especificaciones técnicas

Tabla 1.23: Especificaciones generales del sensor de viento Windsonic 4 [29]

Señal de salida	SDI 12
VARIABLES de salida	Velocidad y dirección de viento
Corriente de consumo	23mA
Rango de temperatura operativa	-35°C to +70°C
Alimentación	12VDC

Tabla 1.24: Sensor Windsonic 4 dirección de viento [29]

Rango de operación	0 a 360 grados
Precisión	± 3 grados
Resolución de la salida	1 grado

Tabla 1.25: Sensor Windsonic 4 velocidad de viento [29]

Rango de Operación	0 a 60 m/s
Precisión	$\pm 2\%$ de la lectura
Resolución de la salida	0.01 m/s

2

SISTEMA EMBEBIDO

2.1. Sistemas embebidos

2.1.1. Introducción

[30] Un sistema embebido (SE) es un conjunto de elementos electrónicos, informáticos y en algunos casos mecánicos diseñado para la realización de una función, aplicación o tarea específica. Estos sistemas son implementados en la rama de Robótica y Domótica, y destaca su presupuesto debido a que pueden ser diseñados y fabricados por decenas, centenas, millares, etc, según sean las

necesidades. Los sistemas embebidos utilizan memoria, puertos de entrada y salida, procesadores relativos a sus funciones, los cuales, pueden ser de medidas variables con el fin de reducir tamaño, costos y consumo eléctrico.

Al contrario de lo que ocurre con los ordenadores de propósito general, que están diseñados para cubrir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en una denominada placa base y muchas veces los dispositivos resultantes no tienen el aspecto de lo que se suele asociar a una computadora. Por lo general, estos sistemas se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microcontrolador o microprocesador incorporado sobre el mismo, o también, utilizando compiladores específicos, para lenguajes como C o C++. En algunos casos, cuando el tiempo de respuesta de la aplicación no es un factor crítico, también pueden usarse lenguajes interpretados como JAVA.

En el presente caso, el sistema embebido utilizado tiene la posibilidad de ser programado en un lenguaje propio, gráfico y asimilable como lo es LabVIEW, utilizando compiladores propios para la traducción a lenguaje de máquina de las instrucciones desarrolladas.

Los programas de sistemas embebidos se enfrentan normalmente a tareas de procesamiento en tiempo real. Un sistema de tiempo real debe responder, dentro de un intervalo restringido de tiempo, a eventos externos mediante la ejecución de la tarea asociada con cada evento. Los sistemas de tiempo real se pueden caracterizar como blandos o duros. Si un sistema de tiempo real blando no cumple con sus restricciones de tiempo, simplemente se degrada el

rendimiento del sistema, pero si el sistema es de tiempo real duro y no cumple con sus restricciones de tiempo, el sistema fallará. Este fallo puede tener posiblemente consecuencias catastróficas.

Un sistema embebido complejo puede utilizar un sistema operativo como apoyo para la ejecución de sus programas, sobre todo cuando se requiere la ejecución simultánea de los mismos. Cuando se utiliza un sistema operativo lo más probable es que se trate de un sistema operativo de tiempo real (RTOS), que es un sistema operativo diseñado y optimizado para manejar fuertes restricciones de tiempo asociadas con eventos en aplicaciones de tiempo real. En una aplicación de tiempo real compleja la utilización de un sistema operativo de tiempo real multitarea puede simplificar el desarrollo del software.

2.1.2. Bloques funcionales de un sistema embebido

[30] Los sistemas embebidos se pueden estructurar como una unión de bloques funcionales, en los que se agrupan las sub-funciones internas del sistema. En la Figura 2.1, se puede ver en detalle la estructura general de un sistema embebido.

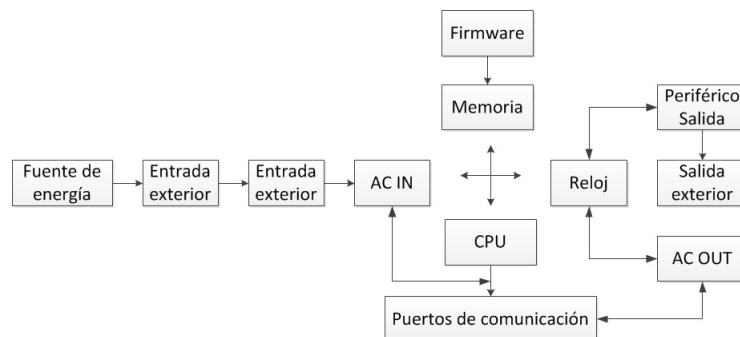


Figura 2.1: Bloque de la estructura interna de un sistema embebido en general [30]

En la estructura presentada se puede apreciar que un sistema embebido, debe estar compuesto por bloques específicos, cada uno formado por elementos electrónicos. A continuación, se describen brevemente cada uno de los bloques vistos en el diagrama anterior.

- **Periféricos de entrada:** Los periféricos de entrada permiten que el usuario se comunice con el sistema embebido, mediante dispositivos que ayudan al ingreso de información desde el exterior.
- **Acondicionamiento de señal de entrada:** Es el tratamiento que se realiza a la señal, el cual, puede ser linealización, filtrado, amplificación de la salida eléctrica, etc. Dependiendo del tipo de sensor en uso y de la tecnología del mismo se enfoca en una u otra solución.
- **Firmware:** En los sistemas embebidos se cuenta con un controlador por órdenes programadas, los cuales, al ser específicas se convierten en un sistema operativo de bajo nivel diseñado para una marca o modelo. Este programa de aplicación puede estar escrito en cualquier lenguaje de programación compatible con el procesador a utilizarse.

- **Memoria:** La memoria es un elemento incorporado en los microcontroladores cuya capacidad debe calcularse en base a la finalidad del dispositivo, ya que así será el tamaño del firmware que se descargará en ella. Este bloque puede estar formado por memoria de tipo RAM y/o ROM.
- **Unidad central de proceso CPU:** El bloque de CPU es el encargado de interpretar las instrucciones contenidas en el firmware, procesar los datos obtenidos de sus periféricos de entrada y ejecutar las acciones requeridas. Esta unidad puede aportar mayor capacidad al sistema teniendo la opción de incluir memoria interna o adaptando una externa.
- **Puertos de comunicación:** Estos dispositivos son parte esencial en el circuito, ya que, proveen al sistema embebido de comunicación bidireccional con otros sistemas.
- **Fuente de potencia:** En este bloque se utiliza una fuente (corriente alterna), o baterías alcalinas (corriente directa), los cuales, deben proveer la energía necesaria a todo el circuito electrónico y a los elementos que convergen en el dispositivo, con la finalidad que el sistema embebido logre ejecutar las tareas, manejando los dispositivos de salida sin limitaciones de potencia.
- **Reloj del sistema (CLK ó clock):** El reloj en un sistema embebido encargado de sincronizar las acciones que se ejecutan en el sistema. Los cambios dependen del control de una sola señal aplicada a todos los registros, la señal de reloj; la misma que es una onda cuadrada o rectangular. Los registros que funcionan con esta señal, solo pueden cambiar cuando la señal de reloj hace una transición marcada en tiempo real. Generalmente la frecuencia del reloj es en MHz, y se genera con un cristal externo, el

cual, le permite adoptar su rendimiento al tiempo externo.

- **Acondicionamiento de señal de salida:** En este bloque se encuentran los actuadores, encargados de interactuar con el entorno exterior, para que sea posible mostrar el funcionamiento del sistema embebido.

2.1.3. Características principales de un sistema electrónico embebido

[30] Por su naturaleza, los sistemas electrónicos embebidos deben contar con características específicas que le permitan cumplir con las acciones para las que se ha diseñado. Dichas características se detallan a continuación:

- **Diseñado para una tarea específica.-** El sistema embebido debe ser diseñado para realizar una única tarea (mono tarea), por lo que, son sistemas eficaces y dedicados que pueden integrarse dentro de otros sistemas de mayor escala. Estos elementos son usados para controlar y operar equipos, dispositivos, máquinas, aparatos académicos, aparatos domésticos, equipos móviles, automóviles, elementos electrónicos, etc.
- **Integrado por hardware y software.-** Los sistemas embebidos integran un firmware o software, el cual, es un código de programa que se descarga a la memoria del dispositivo. Dicho programa debe estar diseñado específicamente para responder al hardware electrónico, ya que, de él depende el buen funcionamiento del algoritmo lógico del dispositivo. Este firmware debe ser escrito en cualquier lenguaje de programación compatible con la CPU o procesador central del sistema embebido.
- **Se ejecuta en tiempo real.-** El algoritmo o programa está en constante ejecución y cualquier cambio en sus entradas realiza funciones específicas,

por ejemplo, sistemas de iluminación, sistemas de seguridad, sistemas de diagnóstico y control, en los que, el dispositivo es capaz de responder instantáneamente ejecutando algún proceso en su entorno.

- **Manejan entradas.-** Todo sistema necesita entradas que procesar para decidir cómo actuar según el estado de éstas. En el caso de los sistemas embebidos es común el uso de sensores, los cuales, son capaces de captar las señales físicas y enviarlas al bloque de control de dispositivos para que este reaccione de acuerdo a su funcionamiento. Estas entradas pueden provenir del entorno del sistema, por ejemplo, un sensor de temperatura, un sensor de presión, etc.
- **Costo económico.-** Debido a sus características y a que los sistemas embebidos combinan tanto software como hardware electrónico, su costo de construcción es relativamente bajo, ya que, son sistemas para realizar tareas específicas, por lo que, la selección de los materiales puede ser adaptable, lo que ayuda a lograr un accesible presupuesto.
- **Eficiencia y consumo de energía.-** Para el diseño de estos sistemas se toma en cuenta el consumo de energía y la eficiencia de esta, debido a que son sistemas dedicados a tareas específicas independientes de una constante intervención del usuario. Puesto a la arquitectura en su diseño, son dispositivos eficientes y de consumo energético generalmente bajo, ya que, los materiales que se utilizan son apegados a sus dimensiones.

2.1.4. Principales aplicaciones de un sistema embebido

[31] Entre las aplicaciones de los sistemas embebidos se tiene:

- Sistemas de telefonía fija o móvil, por ejemplo, un terminal telefónico móvil;
- Automatización de procesos de producción;
- Equipos e instrumentación industrial;
- Electrodomésticos de todo tipo, como microondas, lavadoras, frigoríficos, lavavajillas, etc;
- Industria juguetera y de entretenimiento;
- Sistemas periféricos de un PC, como los MODEMS, ruteadores, teclados, ratones de nueva generación, equipos multimedia, etc;
- Máquinas de revelado automático de fotos;
- Cajeros automáticos;
- Sistemas radar de aviones. El procesamiento de la señal recibida o reflejada del sistema radar embarcado en un avión requiere alta potencia de cálculo además, de ocupar poco espacio, pesar poco y soportar condiciones físicas extremas de funcionamiento;
- Equipos de medicina en hospitales y ambulancias UVI-móvil.

2.1.5. Ventajas del uso de sistemas embebidos

[31] Los sistemas embebidos proporcionan un valor agregado que los diferencian de los demás productos al brindar las siguientes ventajas:

- Solución más precisa y rápida en su especialidad;

- Se puede encontrar herramientas de desarrollo, diversidad de software y programadores debido a la extensión mundial de las aplicaciones compatibles para PC;
- Costo reducido, por lo tanto, reducción de costos en el proceso de fabricación.
- Brinda la posibilidad del uso de sistemas operativos ya que realizan tareas de comunicación por redes de datos, soporte gráfico, etc. Los sistemas operativos pueden ser los mismos de Pc o, simplemente, una versión reducida de éstos con características orientadas a los Pc embebidos.

2.2. FPGA-Field programmable gate array

[32] Al más alto nivel, las FPGAs son chips reprogramables de silicio. Estos conjuntos de bloques lógicos programables prediseñados con recursos de enrutamiento, permiten implementar la funcionalidad de hardware a la medida sin tener que rediseñar una placa. Además desarrollan tareas de computación digital en el software y permiten compilarlas bajo un archivo de configuración o flujo de bits que contiene información acerca de como los componentes se deben conectar entre sí.

Los FPGAs son completamente reconfigurables y de inmediato toman una nueva personalidad cuando se vuelva a compilar una configuración diferente de los circuitos. En el pasado, la tecnología FPGA era utilizada sólo por los ingenieros con un profundo conocimiento de diseño de hardware digital. El auge de las herramientas de diseño de alto nivel, sin embargo, está cambiando las reglas de programación de FPGAs con nuevas tecnologías que convierten

diagramas de bloques gráficos o incluso de código C en circuitos de hardware digital.

La adopción de chips FPGA en todas las industrias es impulsado por el hecho de que los FPGAs combinan las mejores partes de los sistemas de ASIC (Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas) basados en el procesador, junto con, el silicio reprogramable que tiene flexibilidad de software para el desarrollo de aplicaciones.

[33] A diferencia de los procesadores, los FPGAs son verdaderamente paralelos en su naturaleza, por lo que, las diferentes operaciones de elaboración, no tienen que competir por los mismos recursos. En la Figura 2.2 se muestran las partes de una FPGA, cada tarea de procesamiento independiente es asignada a una sección específica del chip, y puede funcionar de manera autónoma sin ninguna influencia de otros bloques lógicos. Como resultado, el rendimiento de una parte de la solicitud no se ve afectado cuando se agrega más capacidad de procesamiento. Cada chip FPGA se compone de un número finito de recursos predefinidos con interconexiones programables para implementar un circuito digital reconfigurable.

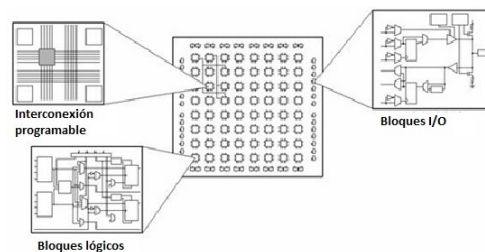


Figura 2.2: Partes de una FPGA [33]

[33] Las especificaciones de chips FPGA incluyen la cantidad de bloques lógicos configurables, el número de bloques de función lógica fijos, tales como multiplicadores, y el tamaño de los recursos de memoria integrado al bloque de memoria RAM. Hay muchas otras partes a un chip FPGA, pero éstas son típicamente las más importantes al seleccionar y comparar FPGAs para una aplicación particular.

En el nivel inferior, los bloques configurables lógicos, como divisiones o celdas lógicas, se componen de dos elementos básicos: flip-flops y tablas de referencia (LUT). Esta característica importante debido a que las familias de FPGAs se diferencian en la forma en que flip-flops y LUTs son empacados.

Para entender mejor estas especificaciones, se debe tener en cuenta la forma del código al sintetizarse en circuitos digitales. La síntesis es el proceso de traducción de lenguajes de alto nivel de programación en las implementaciones de hardware reales. Para cualquier segmento de código sintetizable, ya sea gráfico o textual, no hay un esquema de circuito correspondiente que describe cómo los bloques lógicos deben estar conectados entre sí. Al examinar una pequeña sección de código de diagrama de bloques, como la que se muestra en la Figura 2.3, la cual muestra cinco señales booleanas, pasando a través de una agrupación de funciones de Boole para calcular gráficamente un valor binario. Se genera el correspondiente circuito esquemático de la Figura 2.4, bajo condiciones normales (en un ciclo temporizado).

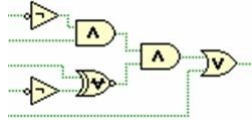


Figura 2.3: Pequeña sección de un diagrama de bloques de LabVIEW con la lógica booleana simple [33]

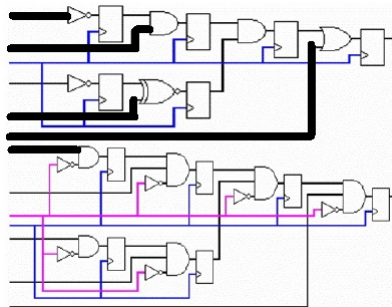


Figura 2.4: Circuito correspondiente a la lógica booleana [33]

Se puede apreciar que existen dos ramas paralelas de los circuitos que se crean. Los cinco cables negros más anchos en la primera rama, agregan un flip-flop entre cada operación booleana. Los cinco cables negros más delgados pasan a una segunda cadena de la lógica para con el mismo número de flip-flops, se mantenga un registro del número de ciclos de reloj necesarios para propagar datos a través del circuito digital. En total, 12 flip-flops y 12 LUTs se utilizan para aplicar este esquema.

2.2.1. Flip-Flops

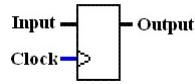


Figura 2.5: Símbolo de un Flip-flop [33]

[33] Los flip-flops son registros de desplazamiento binario utilizados para sincronizar y guardar los estados lógicos entre ciclos de reloj cuyo símbolo se indica en la Figura 2.5. En cada flanco de reloj, un flip-flop captura el valor 1 ó 0 (verdadero o falso) en su entrada, y mantiene el valor constante hasta el final del ciclo. En esta estructura de bucle especial, los flip-flops se agregan sólo al principio y al final de la iteración del bucle, y corresponde al programador entender las consideraciones de tiempo. La Figura 2.6. muestra la rama superior de la Figura 2.4, con los flip-flops en rojo.

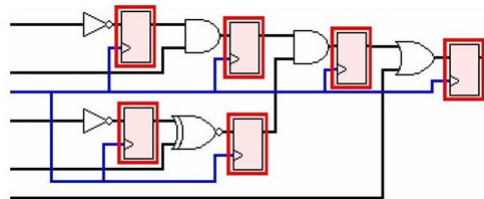


Figura 2.6: Esquema con el flip-flop resultados en rojo [33]

2.2.2. Tabla de referencia LUT

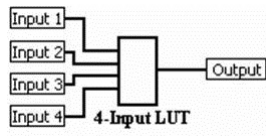


Figura 2.7: LUT de cuatro entradas [33]

[33] La lógica que se muestra en la Figura 2.7 se implementa utilizando cantidades muy pequeñas de RAM en forma de tablas de búsqueda. Es fácil suponer que el número de compuertas del sistema en un FPGA se refiere al número de puertas NAND y NOR en un chip especial, pero, en realidad, toda la lógica combinatoria (AND, OR, NANDS y XORS, etc) se implementa como tablas de verdad dentro de la memoria LUT. Una tabla de verdad es una lista predefinida de salidas para cada combinación de entradas. Por ejemplo, la operación booleana AND que se muestra en la Figura 2.8.

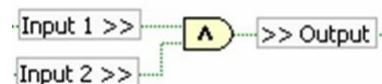


Figura 2.8: Operación booleana AND [33]

Genera la tabla de verdad, mostrada en la Tabla 2.1, la misma que corresponde a dos entradas de una operación AND.

Tabla 2.1: Tabla de verdad de una AND [33]

Entrada 1	Entrada 2	Salida
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

También, se puede pensar en las entradas como el índice numérico para todas las salidas posibles, como se aprecia en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Tabla de verdad de una AND [33]

Índice de LUT	Salida
0(00)	0
1(01)	0
2(10)	0
3(11)	1

2.2.3. Beneficios de la tecnología FPGA

- **[32] Rendimiento** Aprovechando el paralelismo de hardware, las FPGAs superan la potencia de cálculo de los procesadores de señal digital (DSP), rompiendo el paradigma de la ejecución secuencial y logrando más por cada ciclo de reloj.
- **[32] Tiempo en el Mercado** Ahora la tecnología FPGA en el mercado ofrece una gran flexibilidad y capacidad de prototipado rápido permite probar una idea o concepto y verificar el hardware, sin pasar por el

proceso de fabricación a largo del diseño de ASIC (Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas), luego, puede implementar los cambios incrementales e iterar sobre un diseño de FPGA en cuestión de horas en lugar de semanas.

- **[32] Confiabilidad:** Los circuitos FPGA son un verdadero poderío en la aplicación de la ejecución del programa. Los FPGAs, al no utilizar sistema operativo, minimizan los problemas de fiabilidad con la ejecución paralela, con el hardware determinista dedicados a cada tarea.
- **[32] Mantenimiento a largo plazo:** Los chips FPGA son actualizables en el campo y no requieren el tiempo y los gastos relacionados con el rediseño ASIC. Al ser reconfigurable, los chips FPGA pueden mantenerse al día con las futuras modificaciones que pudieran ser necesarias.

2.3. NI SINGLE BOARD RIO 9631

2.3.1. Introducción

[34] El NI-9631 sbRIO mostrado en la Figura 2.9 es un dispositivo embebido de control y adquisición que integra un procesador en tiempo real, la capacidad que el usuario dispone para reconfigurar el campo de arreglo de compuertas programables (FPGA), integrada por módulos de Entrada y Salida en una sola placa de circuito impreso (PCB).

El NI SINGLE BOARD RIO 9631 es adecuada para aplicaciones que requieren flexibilidad, alto rendimiento y fiabilidad en un factor de forma pequeño, una de las ventajas mas reconocidas con respecto a otras plataformas similares

es que se pueden usar la plataformas grafica de diseño NI LabVIEW para personalizar el hardware NI Single-Board RIO , así como todos los aspectos de su desarrollo interno (software).

La plataforma NI Single-Board RIO ha aumentado su robustez basando su desarrollo lógico integrando un FPGA a su arquitectura compuesta además por un procesador en tiempo real y módulos de E / S.



Figura 2.9: sb-RIO 9631 [34]

[34] Las principales características que ofrece la sbRIO-9631 y en general los sistemas NI SINGLE BOARD RIO se resumen en las siguientes:

- Adquisición y control embebido en una sola tarjeta;
- Programación gráfica mediante LabVIEW y herramientas de drivers para la conexión de programas y aplicaciones con el fin de acelerar el desarrollo;
- Procesador incorporado de tiempo real para un funcionamiento fiable e independiente y el procesamiento de señal;
- Chip incorporado de FPGA para la personalización del procesamiento y de la sincronización de las E/S;
- E/S analógicas y digitales incorporadas;

- Sistemas de bajo costo para el diseño de sistemas embebidos a nivel de tarjeta.

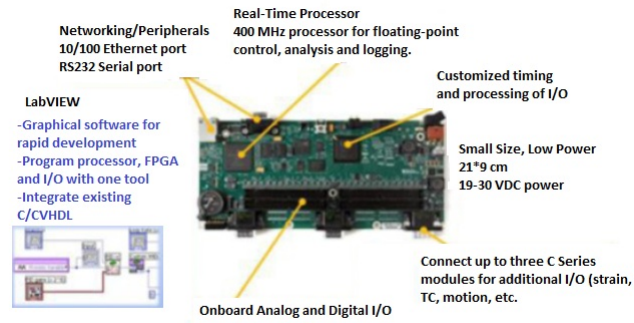


Figura 2.10: Partes de la sb-RIO 9631 [34]

Este dispositivo integra un procesador en tiempo real embebido, una FPGA de alto rendimiento y E/S analógicas y digitales en una sola tarjeta. Al igual que el resto del hardware RIO de NI, las E/S se conectan directamente a la FPGA, proporcionando una personalización a bajo nivel de la temporización y del procesamiento de las señales de las E/S. La FPGA está conectada al procesador embebido de tiempo real a través de un bus PCI de alta velocidad. En la Figura 2.10 se muestra las partes que forman la sb-RIO.

LabVIEW incorpora mecanismos de transferencia de datos para transmitir los datos de las E/S a la FPGA y de la FPGA al procesador embebido para el análisis en tiempo real, el post-procesado, el registro de datos o la comunicación con el PC host conectado en red, en la Figura 2.11 se indica el diagrama esquemático de la sb-RIO.

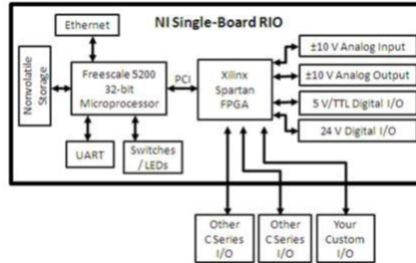


Figura 2.11: Esquemático de la sb-RIO [34]

2.3.2. Distribución del sistema embebido en LabVIEW

[35] LabVIEW puede programar el procesador de tiempo real, la FPGA reconfigurable y las E/S de los sistemas integrados RIO para las aplicaciones de control embebido, monitorización, procesamiento y registro utilizando el mismo proyecto.

Con los módulos especializados de LabVIEW se puede programar el procesador de tiempo real (módulo LabVIEW Real-Time) y la FPGA (módulo LabVIEW FPGA). LabVIEW cuenta con un amplio conjunto de drivers para conectar entre si el software y las aplicaciones lo cual hace que la integración de todos los componentes del hardware del sistema embebido RIO (las E/S analógicas y digitales, la FPGA, el procesador, los periféricos y la memoria) sea un proceso fluido, es así que en la Figura 2.12 se visualiza algunos de los tipos de control que se puede realizar en la FPGA.

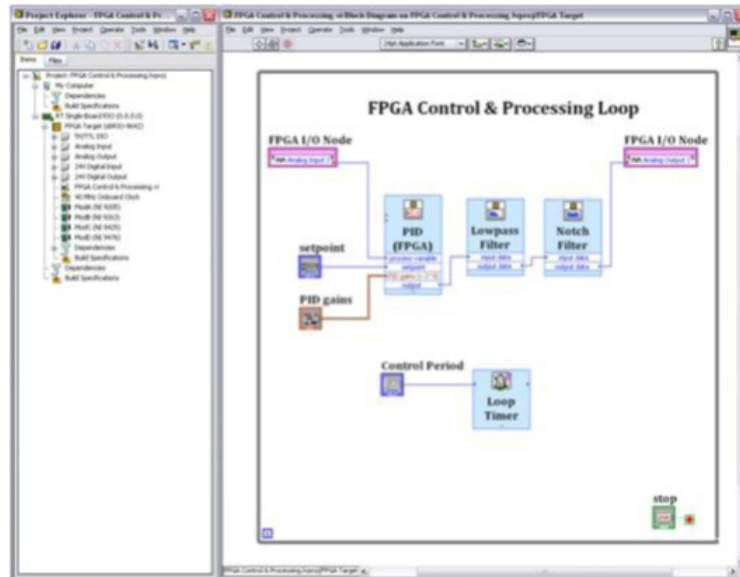


Figura 2.12: Control FPGA [35]

2.3.3. Módulo LabVIEW Real-Time

[35] El procesador embebido de tiempo real dentro de los sistemas está programado con LabVIEW Real-Time Module, que incluye bloques de función incorporados para el control, procesamiento, análisis, registro de datos y comunicaciones en coma flotante. El módulo LabVIEW Real-Time incluye características tales como:

- Tecnología de variables compartidas de LabVIEW para la fácil creación de redes de sistemas distribuidos de tiempo real embebido;
- Software determinístico que permite una temporización con resolución del microsegundo;
- Más de 600 funciones de control avanzado y de procesamiento de señal en coma flotante;

- Integración del código C/C++ existente;
- Herramientas de replicación del sistema para descargar y duplicar rápidamente los sistemas existentes.

2.3.4. Módulo LabVIEW FPGA

[35] La FPGA reconfigurable dentro de los sistemas de hardware RIO se puede programar rápidamente con LabVIEW FPGA Module para realizar la personalización, el control de alta velocidad, la temporización de las E/S y el procesamiento de señales. LabVIEW FPGA Module incorpora las siguientes características:

- Asistente de FPGA para crear rápidamente la arquitectura de tiempo real y el código de la FPGA;
- Asistente de proyectos basados en FPGA para que el comienzo sea más fácil;
- Transformada rápida de Fourier (FFT);
- PID multicanal;
- Generadores de señal;
- Filtro Notch.

2.3.5. Ventajas de usar una sb-RIO 9631

- Una solución de control y adquisición embebida en una sola tarjeta;
- Herramientas de programación gráfica de NI LabVIEW para realizar los desarrollos con rapidez;

- Un procesador en tiempo real para un funcionamiento y procesamiento de señales fiable y autónomo;
- Un chip de FPGA para la personalización del procesamiento y la temporización de las E/S;
- E/S analógicas y digitales incorporadas en la tarjeta;
- Un sistema de bajo costo para el diseño embebido a nivel de tarjeta.

2.3.6. Especificaciones y periféricos

- Rango de temperatura de almacenamiento: -20°C a 70°C ;
- Rango de temperatura de funcionamiento: -20°C a 55°C ;
- Rango de entrada de la alimentación: 19V_{cc} a 30V_{cc} ;
- Puerto serie RS232 para conexión a periféricos y dispositivos;
- Puerto Ethernet 10/100 para la conexión a redes;
- Reloj en tiempo real con batería de respaldo.
- 110 líneas de E/S digitales de $5\text{V}/\text{TTL}$;
- Hasta 32 entradas analógicas de $\pm 10\text{ V}$, 16 bits y 250 kmuestras/seg;
- Hasta 4 salidas analógicas de $\pm 10\text{ V}$, 16 bits y 100 kmuestras/seg;
- Hasta 32 líneas de entrada digitales industriales de 24 V ;

2.3.7. FPGA en la sb-RIO 9631

Tradicionalmente, los diseñadores de FPGAs se veían obligados a aprender y a utilizar lenguajes complejos de diseño, tales como VHDL, para programar las FPGAs, ahora, gracias a LabVIEW se puede programar y personalizar las FPGAs en su entorno gráfico, permitiendo, la temporización, disparo, sincronización, control y procesamiento de las señales para sus entradas/salidas (E/S) analógicas y digitales.

2.3.8. Procesador en tiempo real en la sb-RIO 9631

[34] La NI Single-Board RIO 9631 ofrecen un procesador industrial MPC5200 de Freescale a 266 MHz o 400 MHz que ejecuta de forma determinística aplicaciones de LabVIEW Real-Time sobre el fiable sistema operativo en tiempo real. Se puede elegir entre más de 600 funciones incorporadas en LabVIEW para construir sistemas embebidos multi-hilo destinados a aplicaciones de control en tiempo real, análisis, registro de datos y comunicaciones. También se puede integrar el código ya existente de C/C++ con el código de LabVIEW Real-Time para ahorrar tiempo de desarrollo.

2.3.9. Ejemplos de aplicación

[34] Gracias al bajo costo y la fiabilidad de las NI Single-Board RIO 9631, así como a su idoneidad para las aplicaciones embebidas de medida y control de gran volumen, es posible adaptarlo para resolver una amplia variedad de desafíos de la industria y de las aplicaciones. Algunos ejemplos son:

- Control de dispositivos médicos;
- Robótica y control de vehículos no tripulados;

- Protección y monitorización del estado de maquinaria;
- Registro de datos embebido;
- Monitorización de potencia eléctrica y control de electrónica de potencia;
- Análisis móvil/portátil de NVH (ruido, Vibración, Dureza).

3

DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE

3.1. Estructura física (capa contenedora)

En su mayoría, en el desarrollo de este proyecto se han involucrado dispositivos previamente ensamblados, lo que, ha requerido ajustarse a medidas, formas y otras especificaciones ya establecidas. Para el registrador de datos universal y su protección, se ha recurrido al diseño y construcción de una caja en acrílico, el cual, es un material robusto y de buena presentación. Basándose

en la forma de registradores meteorológicos de varias marcas se optó por la forma final que se muestra en la Figura 3.1 en su vista isométrica.

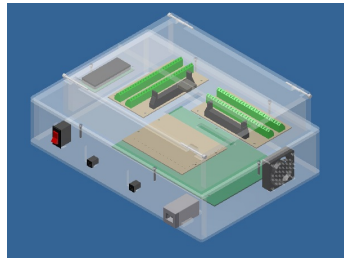


Figura 3.1: Vista isométrica de la carcasa del registrador universal de datos

Para el diseño se tomaron en cuenta las perforaciones para entradas de adaptadores de alimentación, cables de red, borneras de conexión para sensores y circuitos de acoplamiento externo, en la Figura 3.2 se muestra la vista frontal de la carcasa, mientras que en la Figura 3.3 se indica la vista lateral.

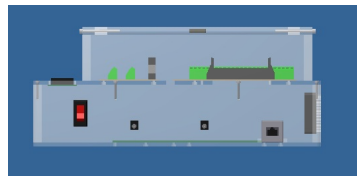


Figura 3.2: Vista frontal de la carcasa del registrador universal de datos

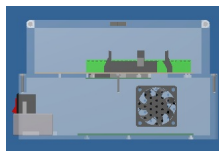


Figura 3.3: Vista lateral de la carcasa del registrador universal de datos

Las dimensiones de la caja contenedora son (380x145)mm. En la base de

la misma se encuentra: la tarjeta sb-RIO 9631, el conversor SDI-12 a serial y ventilador, mientras que, la bornera de alimentación y entradas digitales, bornera de conexión de sensores analógicos, circuitos de acondicionamiento y LCD informativo se encuentran en la parte superior de la carcasa, en la Figura 3.4 se indica la carcasa del registrador de datos universal en su vista superior.

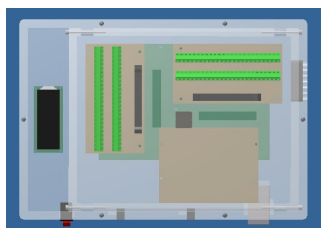


Figura 3.4: Vista superior de la carcasa del registrador universal de datos

3.2. Dispositivos electrónicos utilizados

A más de la tarjeta sb-RIO 9631, que es el componente esencial en el diseño del registrador universal, se han empleado otros elementos electrónicos necesarios para el funcionamiento óptimo de este dispositivo, los cuales, se detallan a continuación:

3.2.1. Conversor SDI-12 a RS-232

El INAMHI posee varios sensores que se comunican a través del protocolo SDI-12; sin embargo, la tarjeta sb-RIO no cuenta con esta posibilidad de comunicación con dichos sensores. Por esta razón, se buscó una solución eficiente a la interrogante de comunicación planteada, siendo el conversor Vegetronix, mostrado en la Figura 3.5, la respuesta requerida.

a. Características.

- Completamente obediente al protocolo SDI-12;
- Uso de comandos simples para RS232;
- Utiliza los niveles voltaicos estándar de RS232 (12V);
- Bajo consumo de energía <50mA;
- Voltaje de alimentación de 6V a 40 VDC;
- Puede ser utilizado con cualquier programa de comunicación serial;
- Capacidad de conexión con hasta 62 sensores SDI-12;
- 4 agujeros de montaje en cada esquina.



Figura 3.5: Conversor Vegetronix SDI-12 a Serial

3.2.2. Adaptador de energía

El adaptador que se indica en la Figura 3.6 permite el suministro de un voltaje mayor a 5VDC, ya que, muchos sensores tienen como voltaje mínimo de funcionamiento 7 VDC.

a. Características.

- Carcasa robusta;
- Voltaje de salida 12 Vdc;
- Corriente nominal 1.5 A.



Figura 3.6: Adaptador de voltaje (12V)

3.2.3. Adaptador jack rj45 - jack rj45

Para evitar el contacto directo con la tarjeta, se dispuso de un empalme RJ45 a RJ45 como el de la Figura 3.7, acoplado a la superficie de la caja contenedora para conexión del cable Ethernet externo con la entrada de la tarjeta.



Figura 3.7: Adaptador Jack RJ45 - Jack RJ45

3.3. Diseño de pantalla informativa

Para facilitar el uso del registrador universal se implementó una pantalla LCD informativa, donde, se despliega información básica acerca del estado en funcionamiento del registrador de datos universal.

Los materiales y dispositivos electrónicos utilizados para su desarrollo fueron:

- 1 LCD 16x2;
- 1 PIC 16F877A;
- 1 oscilador 4Mhz;
- 1 resistencias 1K Ω ;
- 1 resistencia 10 Ω ;
- Cable bus de datos de 40 líneas; y
- Baquela

Esta pantalla LCD cumplirá las funciones de entregar información básica acerca del estado funcional del registrador de datos como estado de arranque de la tarjeta, estado operativo de la tarjeta, transmisión de datos, activación de entradas. En la Figura 3.8 se indica el diagrama esquemático del diseño mientras que en la Figura 3.9 se indica la placa ensamblada y en funcionamiento.

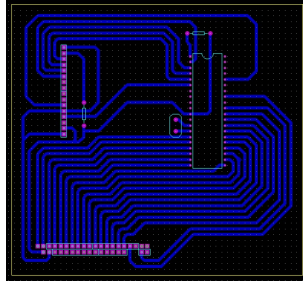


Figura 3.8: Circuito esquemático de la pantalla LCD informativa



Figura 3.9: Placa del LCD de información

Este dispositivo funciona a través del voltaje provisto por la propia tarjeta sb-RIO (5V). El algoritmo de funcionamiento implementado en Microcode para esta pantalla LCD se adjunta en el Anexo D.

3.4. Circuitos de acondicionamiento

3.4.1. Circuito de acondicionamiento para pluviómetros

En la Figura 3.10 se muestra el circuito de acondicionamiento que se realizó para conectar los pluviómetros a la tarjeta sb-RIO, se trata de un switch formado por una resistencia de $1K\Omega$, el mismo puede estar en uno de los dos

estados: cerrado, es decir, los contactos se tocan y la señal pasa entre ellos, o abierto, donde, los contactos se separan y no existe conducción, de tal forma, con este switch se contó el cambio de estados que tubo durante el flujo de una cantidad de agua.

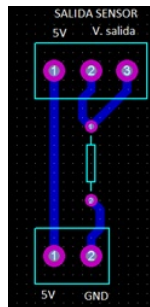


Figura 3.10: Circuito de acondicionamiento para pluviómetros

3.4.2. Circuito de acondicionamiento para sensor de temperatura MET ONE 063-1

Siguiendo el manual del sensor se realizó el circuito de acondicionamiento mostrado en la Figura 3.11, para tener voltaje a la salida del mismo, siendo, este voltaje proporcional a la variación de temperatura a la que se encuentre el sensor. De esta manera se conectó la salida del dispositivo a una entrada analógica de la tarjeta sb-RIO.

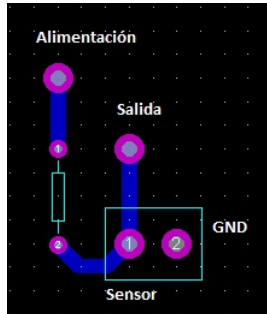


Figura 3.11: Circuito de acondicionamiento para sensor de temperatura MET ONE 063-1

3.4.3. Circuito de acondicionamiento para sensor de viento vaisala WMS302

Este sensor al tener una impedancia baja en la línea de salida de velocidad de viento y al conectarla a la tarjeta para medir su respuesta, el dispositivo no respondía de ninguna manera dado que la impedancia de entrada de la tarjeta es demasiado alta y suprimía totalmente la señal de salida del sensor. Por esta razón se implementó un seguidor de tensión con el circuito integrado TL084 mostrado en la Figura 3.12, con la finalidad de acoplar dichas impedancias.

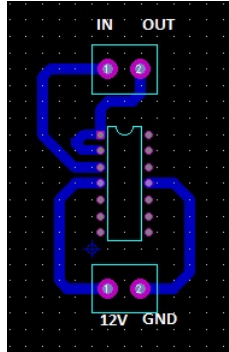


Figura 3.12: Circuito de acondicionamiento para sensor de viento Vaisala WMS302

3.5. Acoplamiento de sistemas electrónicos

La tarjeta sb-RIO, junto con sus robustas prestaciones, es la encargada de la adquisición de los datos suministrados por los sensores en sus diferentes variantes de respuesta: analógicos, digitales, SDI-12, etc. Estos sensores en su mayoría funcionan a través de alimentación externa de voltaje, siendo las fuentes incluidas y adaptadas las que generan la energía para el funcionamiento de dichos dispositivos. El conversor SDI-12 a RS-232 se conecta directamente a la entrada RS-232 de la tarjeta para funcionar como traductor entre los sensores con lenguaje SDI-12 y la PC. El dispositivo embebido se conecta con la PC de control por medio de sus puertos Ethernet. En la Figura 3.13 se detalla el diagrama de bloques de los elementos que constituyen el registrador universal.

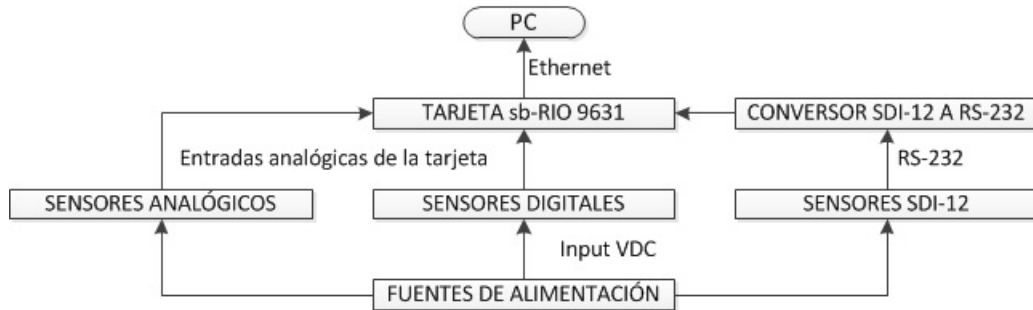


Figura 3.13: Diagrama de bloques general del sistema

3.6. Desarrollo del programa de control

Para el control óptimo y funcionamiento acorde a las prestaciones de la tarjeta sb-RIO, hay tres niveles de programación efectuados.

3.6.1. Programación del FPGA

La programación del FPGA se realizó en LabVIEW, ya que, este último es una de las características y ventajas fundamentales del sistema embebido, debido a su programación en alto nivel y de forma grafica y sencilla. La programación del FPGA comprende la habilitación de las entradas a utilizarse, al mismo tiempo que el procesamiento inicial de las señales a analizarse.

a. Diagrama de flujo

En la Figura 3.14 se muestra el diagrama de flujo general que se implementó en el FPGA de la tarjeta sb-RIO 9631 para la habilitación de entradas, adquisición y procesamiento temprano de señales.

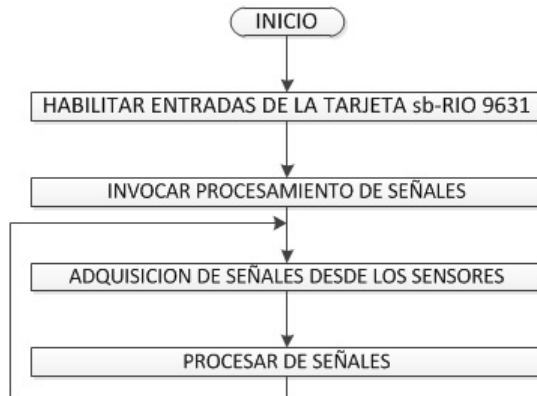


Figura 3.14: Diagrama de flujo implementado en el FPGA

3.6.2. Programación del módulo real time

La programación del módulo real time comprende el invocar las entradas previamente habilitadas, configurarlas para el análisis en tiempo real y realizar procesos de más alto nivel si es necesario.

a. Diagrama de flujo

En la Figura 3.15 se muestra el diagrama de flujo general que se implementó en el Modulo Real Time de la tarjeta sb-RIO 9631.



Figura 3.15: Diagrama de flujo implementado en el Modulo Real Time

3.6.3. Programa de control en la PC

Este es el nivel más alto del escalafón de programación para el uso de la tarjeta sb-RIO, ya que, es aquí donde se realiza la mayor parte de procesos de control, tratamiento y registro de los datos adquiridos, siendo también el nivel en el que el operador va a interactuar a través de la HMI con la tarjeta.

Este programa se divide en cuatro partes:

a. Diagrama de flujo para sensores con salidas analógicas

En la Figura 3.16 se muestra el diagrama de flujo implementado para el programa de adquisición para sensores con salidas analógicas.

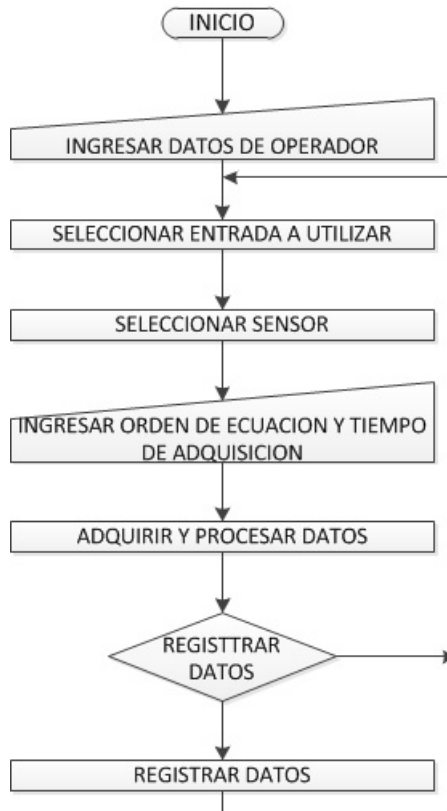


Figura 3.16: Diagrama de flujo de adquisición para sensores de salidas analógicas

b. Diagrama de flujo para sensores con salidas digitales

En la Figura 3.17 se muestra el diagrama de flujo implementado para el programa de adquisición para sensores con salidas digitales.

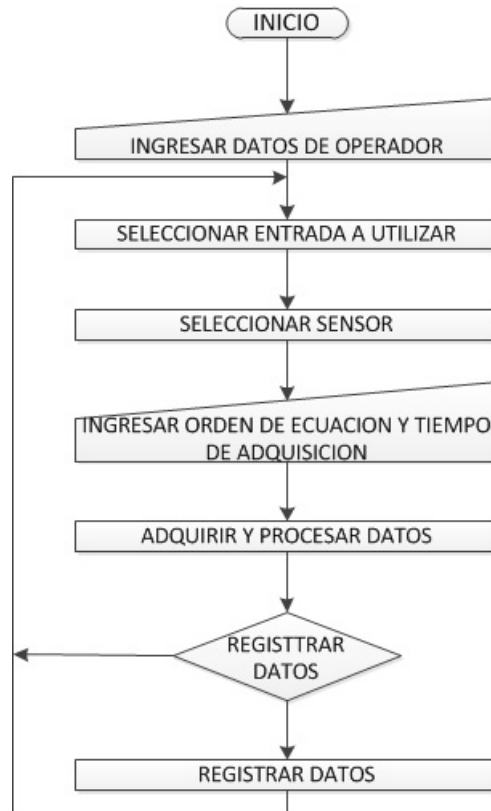


Figura 3.17: Diagrama de flujo del programa de adquisición para sensores de salidas digitales

c. Diagrama de flujo para sensores con salidas SDI-12

En la Figura 3.18 se muestra el diagrama de flujo implementado para el programa de adquisición para sensores con salidas SDI-12.

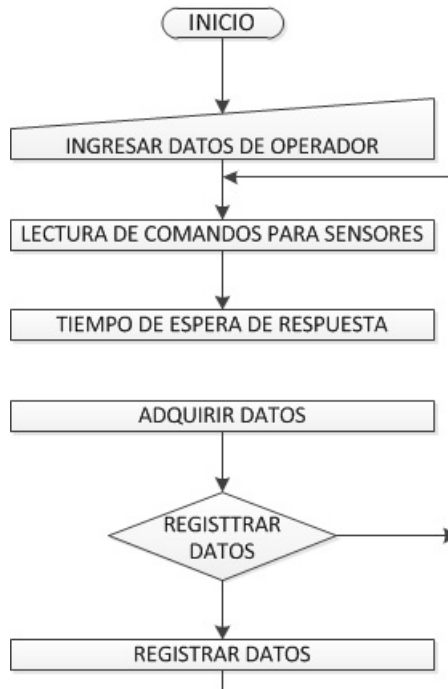


Figura 3.18: Diagrama de flujo de adquisición para sensores de salidas SDI-12

d. Diagrama de flujo del programa de calibración

En la Figura 3.19 se muestra el diagrama de flujo implementado para el programa de Calibración de sensores.



Figura 3.19: Diagrama de flujo del programa de calibración

3.7. Visualización de programas implementados en la PC.

En la Figura 3.20 se muestra la ventana de arranque del programa de control, que es donde el operario ingresa sus datos y el proceso que se va a realizar, siendo la opción por defecto el proceso de **Prueba**.

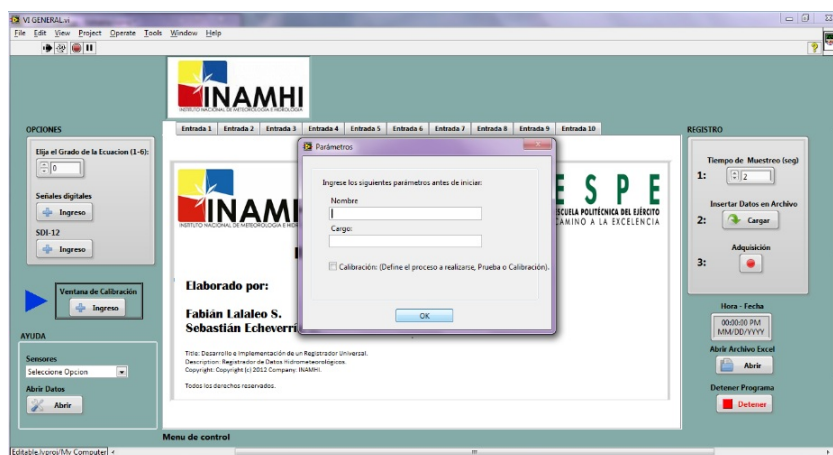


Figura 3.20: Pantalla de arranque

En la Figura 3.21 se muestra la pantalla de control del programa de sensores con salidas analógicas, también los botones de acceso a los subprogramas, opciones de adquisición y registro, además el panel de apertura de datos de sensores.

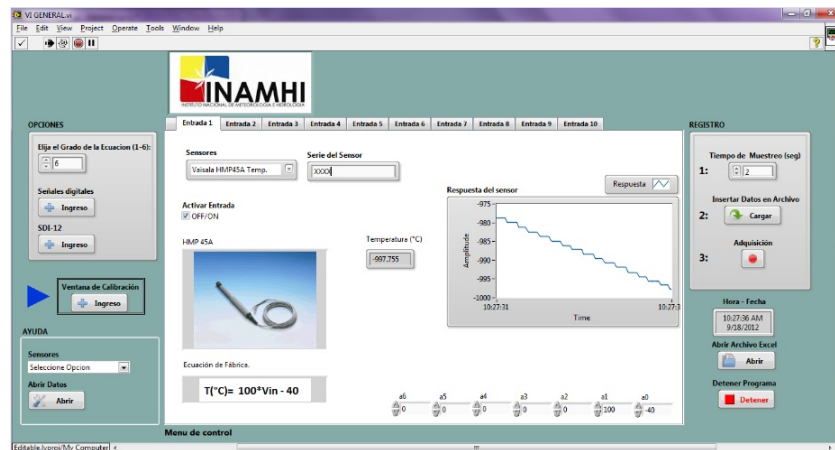


Figura 3.21: Pantalla principal del programa de control de sensores con salidas analógicas

En la Figura 3.22 se muestra la pantalla de control del programa de sensores con salidas digitales, los botones de registro y adquisición, el panel de apertura de datos de los sensores y el botón de regreso al programa principal.

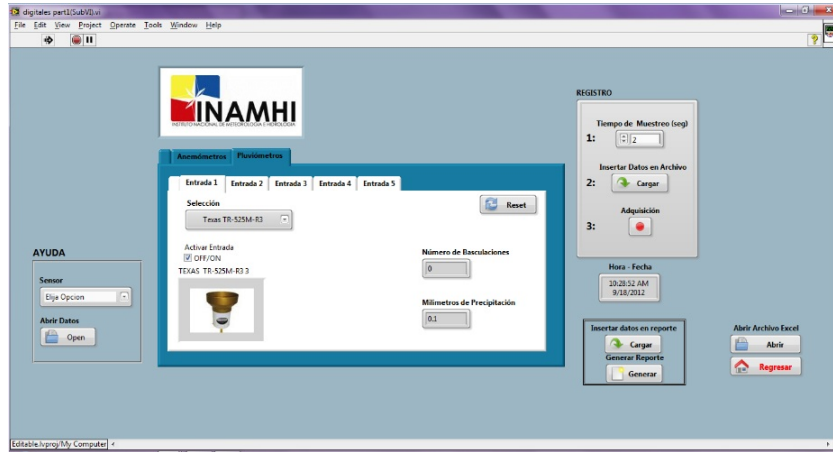


Figura 3.22: Pantalla principal del programa de control de sensores con salidas digitales

En la Figura 3.23 se muestra la pantalla de control del programa de sensores con salidas SDI-12, los botones de registro y adquisición, el panel de apertura de datos de los sensores y el botón de regreso al programa principal.

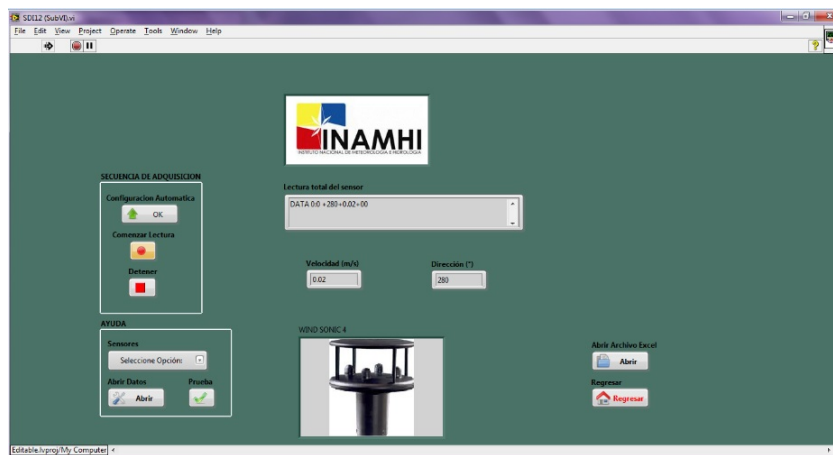


Figura 3.23: Pantalla principal del programa de control de sensores con salidas SDI-12

En la Figura 3.24 se muestra la pantalla de control del programa de calibración, los botones de adquisición de datos, de generación del archivo de certificación de calibración, y el de regreso al programa principal.

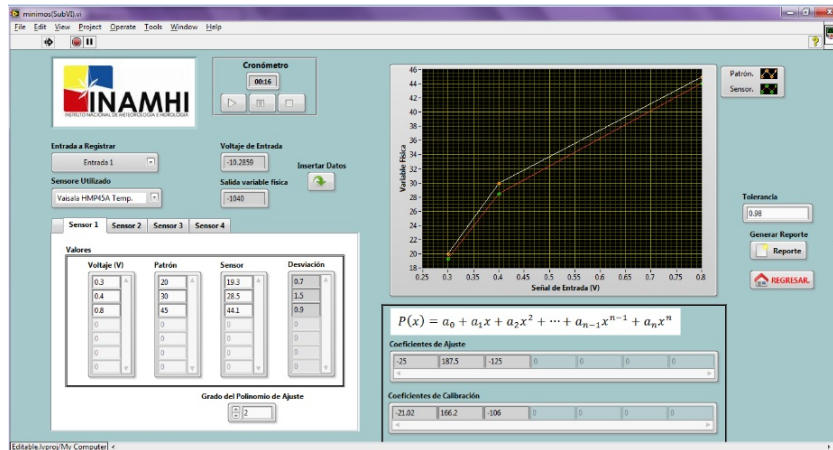


Figura 3.24: Pantalla de calibración de sensores

4

DESARROLLO, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Escalamiento de los sensores utilizados

Para brindar al usuario una interfaz amigable e intuitiva se utilizó el software LabVIEW y las diferentes herramientas que lo conforman. Para el tratamiento de la señal de los diferentes sensores se llevaron a cabo escalamientos, conversiones y demás aplicaciones que permiten visualizar la magnitud física de los sensores.

4.1.1. Escalamiento de los sensores HMP de humedad relativa y temperatura de marca Vaisala

En primera instancia, se tomó como referencia los valores de salida en voltaje que brinda el sensor y su rango de medición en magnitud física, tanto para temperatura y humedad relativa con el fin de obtener una relación entre estas dos variables.

a. Sensores HMP155 y HMP45A

Los sensores pertenecientes a la marca Vaisala HMP155 y HMP45A tienen salida de voltaje, siendo la respuesta a su ecuación característica una línea recta. En principio se tomó como referencia el rango de medición en temperatura y luego en humedad relativa y su salida de voltaje para realizar el respectivo escalamiento de la siguiente manera:

a.1. Temperatura con sensores HMP155 y HMP45A

Tabla 4.1: Rango de temperatura del sensor HMP45A

Voltaje (V)	Temperatura (°C)
0...1	-40...60

Tabla 4.2: Rango de temperatura del sensor HMP155

Voltaje (V)	Temperatura (°C)
0...1	-80...60

En la Figura 4.1 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.1, correspondiente al sensor HMP45A, mientras que en la Figura 4.2 se indica

la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.2, correspondiente al sensor HMP155.

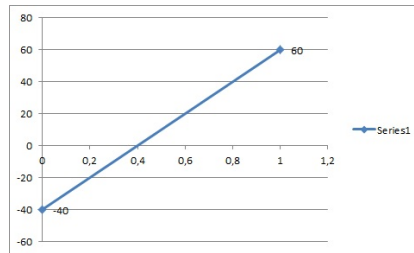


Figura 4.1: Respuesta del sensor Vaisala de temperatura HMP45A con rangos de operación

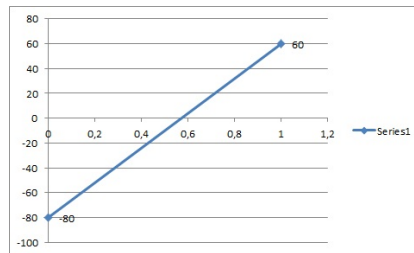


Figura 4.2: Respuesta del sensor Vaisala de temperatura HMP155 con rangos de operación

Al saber que la respuesta de estos sensores en lo referente a temperatura es una línea recta se aplicó una regresión lineal basada en el método de mínimos cuadrados, ya que, este método es el que usa Microsoft Excel para conseguir una ecuación característica de transformación de voltaje a magnitud física ($^{\circ}\text{C}$). Teniendo la siguiente ecuación para el sensor HMP45A:

$$T = 100V - 40 \quad (4.1)$$

Mientras que para el sensor HMP155 resultó la siguiente ecuación:

$$T = 140V - 80 \quad (4.2)$$

Donde:

$T = \text{temperatura } (^{\circ}C)$

$V = \text{voltaje } (V)$

Esta ecuación no es ideal, ya que, en la práctica es solo una tentativa pues ningún sensor permanece con esos coeficientes debido a las desviaciones generadas por su forma de construcción y uso.

Para tener un escalamiento que se ajuste más a la respuesta del sensor se usó la cámara climática que posee el laboratorio de metrología del INAMHI. En la misma se ubicaron los sensores y el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626, probándolos a diferentes puntos de referencia en intervalos de dos horas, con el objetivo de lograr un establecimiento óptimo.

Para el nuevo escalamiento se tomó en cuenta el valor de temperatura en grados centígrados del patrón de temperatura ubicado en la cámara climática y el valor de voltaje de los sensores HMP155 y HMP45A adquirido por el registrador de datos universal, de igual forma se obtuvo la ecuación característica aplicando una regresión lineal en Microsoft Excel de esta manera:

a.2. Mediciones de los sensores HMP155 y HMP45A con el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática

Tabla 4.3: Mediciones del sensor HMP155 y el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática

Voltaje de salida HMP155 (V)	T(patrón)(°C)
0,747739	34,717
0,652403	24,974
0,555317	15,142
0,50765	10,234

Tabla 4.4: Mediciones del sensor HMP45A y el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática

Voltaje de salida HMP45A (V)	T(patrón)(°C)
0,732433	34,717
0,635898	24,974
0,537515	15,142
0,490399	10,234

En la Figura 4.3 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.2, correspondiente al sensor HMP155, mientras que en la Figura 4.4 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.2, correspondiente al sensor HMP45A.

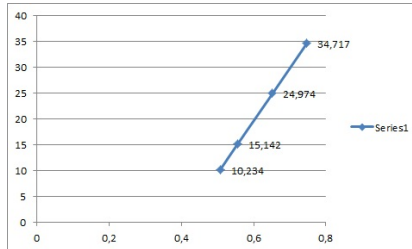


Figura 4.3: Respuesta del sensor HMP155

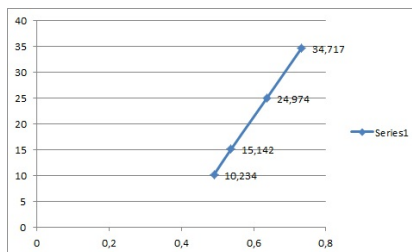


Figura 4.4: Respuesta del sensor HMP45A

Usando todas las mediciones para obtener la ecuación característica del sensor HMP155 con el uso de mínimos cuadrados en Excel se llegó a lo siguiente:

$$T = 101,87V - 41,461 \quad (4.3)$$

Mientras que para el sensor HMP45A resultó la siguiente ecuación:

$$T = 100,93V - 39,195 \quad (4.4)$$

Donde:

$T = \text{temperatura } (^\circ\text{C})$

$V = \text{voltaje } (V)$

Finalmente tanto los coeficientes de los sensores HMP155 y HMP45A se colocaron en el software desarrollado en LabVIEW para realizar el escalamiento

respectivo y mostrar la medición en magnitud física ($^{\circ}\text{C}$) ya que son estos coeficientes los que más se ajustan para obtener una medida más cercana a la que marca el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626.

a.3. Pruebas realizadas con los sensores de temperatura HMP155 y HMP45A

Con el cálculo de la ecuación de respuesta de cada uno de los sensores y ya con sus coeficientes introducidos en el software se efectuó las pruebas para determinar el grado de confiabilidad que brindará el registrador de datos universal.

Para el efecto de la pruebas en temperatura se utilizó el sensor patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 y la cámara climática. La forma que se llevó a cabo estas pruebas fue colocando varios set-points en la cámara climática cambiándolos cada dos horas hasta llegar a una estabilización óptima para posteriormente realizar una comparación entre los valores que marca el patrón de temperatura en el monitor de marca Fluke y el valor que marca los sensores HMP155 y HMP45A en el registrador de datos universal.

a.4. Comparación de las medidas a diferente set-point de los sensores HMP155 y HMP45A

En la cámara climática se coloca la temperatura a la que el patrón PRT marca Fluke modelo 5626 junto con los sensores HMP155 y HMP45A van estar expuestos, se observa las lecturas en el monitor Fluke y el registrado de datos universal para determinar la desviación entre las dos medidas y obtener el porcentaje de error.

Tabla 4.5: Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor HMP155

set-point (°C)	Temperatura patrón(°C)	Temperatura HMP155(°C)	Desviación	error(%)
35	34,737	34,668	-0,069	-0,19863546
30	29,904	29,947	0,043	0,14379347
25	25,003	25,062	0,059	0,23597168
20	20,091	20,14	0,049	0,2438903
25	15,063	14,97	-0,093	-0,61740689
20	10,149	10,064	-0,085	-0,83752094
5	5,224	5,034	-0,19	-3,63705972
		Promedio	-0,04085714	-0,66670965

Tabla 4.6: Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor HMP45A

set-point (°C)	Temperatura patrón(°C)	Temperatura HMP45A(°C)	Desviación	error(%)
35	34,737	34,847	0,11	0,31666523
30	29,904	29,83	-0,074	-0,24745853
25	25,003	24,963	-0,04	-0,1599808
20	20,091	20,096	0,005	0,02488677
25	15,063	15,007	-0,056	-0,37177189
20	10,149	10,153	0,004	0,03941275
5	5,224	5,064	-0,16	-3,06278714
		Promedio	-0,03014286	-0,49443337

Para el cálculo de la desviación se realizó una resta entre las dos medidas, la que marca los sensores en el registrador universal menos el valor que se lo considera como verdadero producido por el patrón de temperatura. Por último para calcular el error de la medida del registrador universal con respecto a la medida del monitor Fluke se divide la desviación para el valor verdadero, es decir, para el marcado en el monitor Fluke y se multiplica por 100 para obtener el error en porcentaje, de esta manera observamos que el error promedio de las mediciones de temperatura que marca el registrador universal para el sensor HMP155 es de $-0,66670965\%$, mientras que, para el sensor HMP45A es $-0,49443337\%$ cuyos valores son aceptados para poder realizar ajustes en laboratorio de este tipo de sensores.

Con estos resultados el registrador de datos universal podrá ser utilizado para realizar calibraciones y ajustes en el laboratorio de metrología del INAMHI para los sensores de temperatura vaisala HMP155 y HMP45A.

b. Humedad Relativa con los sensores HMP155 y HMP45A

Para la humedad relativa se sabía que la respuesta de estos sensores era lineal por lo que se realizó un escalamiento con el rango de medición en este caso (%) y la salida de voltaje (V) que da el sensor para tener una idea de los coeficientes que se debe ingresar a LabVIEW para que el registrador de datos universal de una medida fiable.

Tabla 4.7: Rango de humedad relativa del sensor HMP45A

Voltaje (V)	Humedad relativa (%)
0...1	0,8...100

Tabla 4.8: Rango de humedad relativa del sensor HMP155

Voltaje (V)	Humedad relativa (%)
0...1	0...100

En la Figura 4.5 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.7, correspondiente al sensor HMP45A, mientras que en la Figura 4.6 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.8, correspondiente al sensor HMP155.

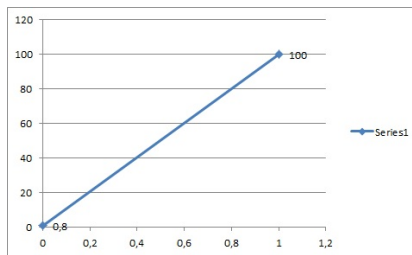


Figura 4.5: Respuesta del sensor Vaisala de humedad relativa HMP45A con rangos de operación

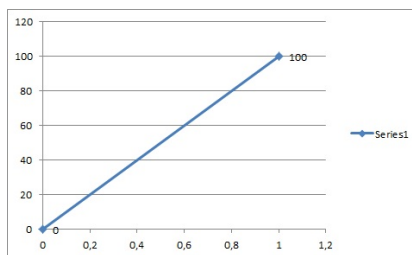


Figura 4.6: Respuesta del sensor Vaisala de temperatura HMP155 con rangos de operación

La ecuación para el escalamiento de voltaje a humedad relativa que debería

tener el sensor HMP45A si éste fueran 100 % perfecto sería la siguiente:

$$RH = 92,2V + 0,8 \quad (4.5)$$

Mientras que para el sensor HMP155 resultó la siguiente ecuación:

$$RH = 100V \quad (4.6)$$

Donde:

$$RH = \textit{Humedad Relativa (\%)}$$

$$V = \textit{voltaje (V)}$$

Esta ecuación sería la óptima para utilizar si el sensor es perfecto, pero al tener siempre los sensores una desviación ya sea de fábrica o por uso, se buscó la forma de obtener los coeficientes que brinden una mejor respuesta para el escalamiento, y de esta forma contar con una respuesta confiable en el registrador de datos universal.

Para tener un escalamiento que se ajuste más a la respuesta del sensor se usó la cámara climática, en la misma se ubicó los sensores y el patrón de humedad relativa Dew point mirror 473, se los expuso a diferentes set-points cambiándolos cada hora con el objetivo de lograr un establecimiento óptimo.

Para el nuevo escalamiento lo que se tomó en cuenta fue el valor de humedad relativa en porcentaje del patrón Dew point mirror 473 ubicado en la cámara climática y el valor de voltaje de los sensores HMP155 y HMP45A adquirido por el registrador de datos universal y de forma similar con respecto a la variable temperatura se obtuvo la ecuación característica aplicando una regresión lineal en Microsoft Excel de la siguiente manera.

b.1. Mediciones de los sensores HMP155 y HMP45A con el patrón de humedad relativa Dew point mirror 473 en la cámara climática

Tabla 4.9: Mediciones del sensor HMP155 y el patrón de humedad relativa Dew point mirror 473 con la cámara climática

Voltaje de salida HMP155(V)	RH(patrón)(%)
0,212989	20,01
0,35838	34,94
0,503385	49,85
0,650222	64,8
0,794227	79,62

Tabla 4.10: Mediciones del sensor HMP45A y el patrón de humedad relativa Dew point mirror 473 en la cámara climática

Voltaje de salida HMP45A (V)	RH(patrón)(%)
0,184542	20,01
0,322739	34,94
0,4755	49,85
0,620802	64,8
0,757378	79,62

En la Figura 4.7 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.9, correspondiente al sensor HMP155, mientras que en la Figura 4.8 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.10, correspondiente al sensor HMP45A.

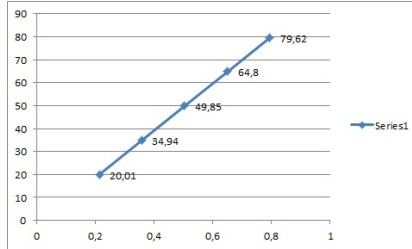


Figura 4.7: Respuesta del sensor Vaisala de humedad relativa HMP155

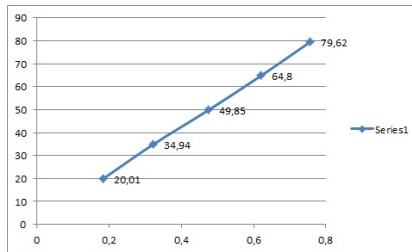


Figura 4.8: Respuesta del sensor Vaisala de humedad relativa HMP45A

Usando todas las mediciones para obtener la ecuación característica del sensor HMP155 con el uso de mínimos cuadrados en Excel se llegó a lo siguiente:

$$RH = 102,51V - 1,8038 \quad (4.7)$$

Mientras que para el sensor HMP45A resultó la siguiente ecuación:

$$RH = 103,23V + 1,1008 \quad (4.8)$$

Donde:

$RH = Humedad\ Relativa\ (\%)$

$V = voltaje\ (V)$

Finalmente tanto los coeficientes de los sensores HMP155 y HMP45A se colocaron en el software desarrollado en LabVIEW para realizar el escalamiento respectivo y mostrar la medición en porcentaje (%) ya que son estos los coeficientes que más se ajustan a la medida del patrón Dew point mirror 473 de humedad relativa.

b.2. Pruebas realizadas con los sensores de humedad relativa HMP155 y HMP45A

Con el cálculo de la ecuación de respuesta de cada uno de los sensores y ya con sus coeficientes introducidos en el software se efectuó las pruebas para determinar el grado de confiabilidad que brindará el registrador de datos universal.

Para el efecto de la pruebas en humedad relativa se utilizó el sensor patrón Dew point mirror 473 y la cámara climática. La forma que se llevó a cabo estas pruebas fue colocando varios set-points de humedad relativa en la cámara climática cambiándolos cada hora hasta llegar a una estabilización óptima para posteriormente realizar una comparación entre los valores que marca el patrón de humedad relativa en el monitor de marca Fluke y el valor que marca los sensores HMP155 y HMP45A en el registrador de datos universal.

b.3. Comparación de las medidas a diferente set-point de los sensores HMP155 y HMP45A

En la cámara climática se coloca la humedad relativa a la que el patrón Dew point mirror 473 junto con los sensores HMP155 y HMP45A van estar expuestos, se observó las lecturas en el monitor Fluke y el registrado de datos universal para determinar la desviación entre las dos medidas y obtener el

porcentaje de error.

Tabla 4.11: Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor HMP155

set-point (%)	RH patrón (%)	RH HMP155(%)	Desviación	error(%)
20	19,99	19,76	-0,23	-1,15057529
50	49,89	49,9163	0,0263	0,05271598
80	79,72	79,899	0,179	0,22453588
		Promedio	-0,00823333	-0,29110781

Tabla 4.12: Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor HMP45A

set-point (%)	RH patrón (%)	RH HMP45A(%)	Desviación	error(%)
20	19,99	19,749	-0,241	-1,2056028
50	49,89	50,0832	0,1932	0,38725195
80	79,72	79,415	-0,305	-0,38258906
		Promedio	-0,1176	-0,4003133

Para el cálculo de la desviación se realizó una resta entre las dos medidas, la que marcan los sensores en el registrador universal menos el valor que se lo considera como verdadero producido por el patrón de humedad relativa. Por último para calcular el error de la medida del registrador universal con respecto a la medida del Dew point mirror 473 se divide la desviación para el valor verdadero, es decir, para el marcado en el monitor conectado al patrón

de humedad relativa y se multiplica por 100 para obtener el error en porcentaje, de esta manera observamos que el error promedio de las mediciones de humedad relativa que marca el registrador universal para el sensor HMP155 es de -0,29110781 %, mientras que, para el sensor HMP45A es -0,4003133 % cuyos valores son aceptados para poder realizar ajustes en laboratorio de este tipo de sensores.

Con estos resultados el registrador de datos universal podrá ser utilizado para realizar calibraciones y ajustes en el laboratorio de metrología del INAMHI para los sensores de humedad relativa Vaisala HMP155 y HMP45A.

4.1.2. Escalamiento de los sensores de presión Vaisala PTB 110 y PTB 101C

Se tomó como base para realizar el escalamiento el rango de voltaje de salida junto con el rango de medición que tienen estos sensores.

a. Sensores PTB 110 y PTB 101C

Los sensores de presión que cuenta el INAMHI son de marca Vaisala de la serie PTB siendo estos PTB110 y PTB101C, su principio de funcionamiento es el mismo con la misma variación de voltaje a su salida pero con diferente rango de medición.

Conociendo que los barómetros presentan una salida lineal se aplicó una regresión lineal a través de mínimos cuadrados obteniendo así una ecuación de respuesta basada en el voltaje de salida que brinda el sensor.

Tabla 4.13: Rangos de presión y voltaje del sensor PTB110

Volaje de salida (V)	Rango de presión (hPa)
0...5	500...1100

Tabla 4.14: Rangos de presión y voltaje del sensor PTB101C

Volaje de salida (V)	Rango de presión (hPa)
0...5	900...1100

En la Figura 4.9 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.13, correspondiente al sensor PTB110, mientras que en la Figura 4.10 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.14, correspondiente al sensor PTB101C.

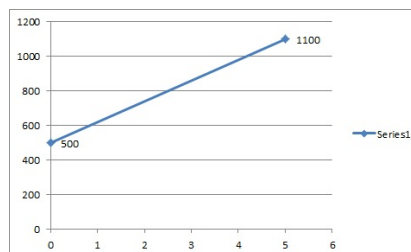


Figura 4.9: Respuesta del sensor de presión PTB110 con rangos de operación

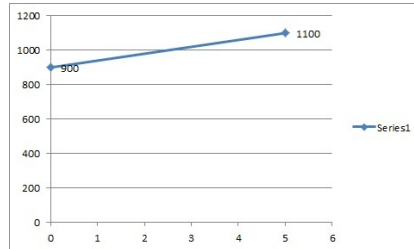


Figura 4.10: Respuesta del sensor de presión PTB101C con rangos de operación

Al conocer que estos sensores presentan una salida lineal se usó el método de mínimos cuadrados para obtener la ecuación característica siendo la siguiente para el sensor PTB110.

$$P = 120V + 500 \quad (4.9)$$

Mientras que para el sensor PTB101C es la siguiente ecuación:

$$P = 40V + 900 \quad (4.10)$$

Donde:

$P = \text{Presión (hPA)}$

$V = \text{voltaje (V)}$

Esta ecuación sería la que se debe ocupar para tener un escalamiento voltaje vs presión en condiciones perfectas, pero al tener siempre una desviación se buscó la forma para obtener un escalamiento de mayor exactitud.

b. Ajuste de la ecuaciones de salida de los sensores PTB110 y PTB101C

Para tener un escalamiento que se ajuste más a la respuesta del sensor se usó la cámara de presión que posee el laboratorio de metrología del INAMHI en la misma se ubicó los sensores PTB110, PTB101C y el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4, se los puso a diferentes set-points cambiándolos

cada dos horas con el objetivo de lograr un establecimiento óptimo.

Para el nuevo escalamiento lo que se tomó en cuenta fue el valor de presión en hectopascales del patrón de presión ubicado en la cámara de presión y el valor de voltaje de los sensores PTB 110 y PTB101C adquirido por el registrador de datos universal, con estos datos se obtuvo la ecuación característica aplicando una regresión lineal en Microsoft Excel.

c. Mediciones del sensor PTB 110 y PTB101C con el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 en la cámara de presión

Tabla 4.15: Mediciones del sensor PTB110 con el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 en la cámara de presión

Voltaje de salida PTB110 (V)	Presión (patrón)(hPa)
0,174	540,148
0,581	638,888
0,966	731,398
1,385	831,888
1,785	927,9
2,196	1026,431

Tabla 4.16: Mediciones del sensor PTB101C y el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 en la cámara de presión

Voltaje de salida PTB101C (hPa)	Presión (patrón)(hPa)
0,638914	950,804
1,2618	1000,695
1,94786	1055,691
2,49646	1099,578

En la Figura 4.11 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.15, correspondiente al sensor PTB110, mientras que en la Figura 4.12 se indica la gráfica generada por los datos de la Tabla 4.16, correspondiente al sensor PTB101C.

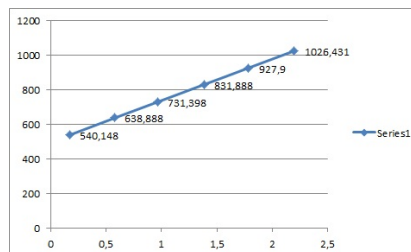


Figura 4.11: Respuesta del sensor PTB110

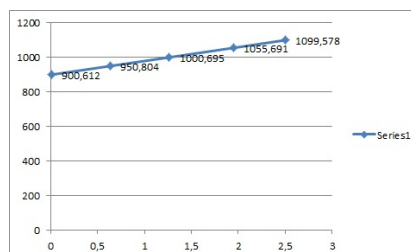


Figura 4.12: Respuesta del sensor PTB101C

Usando todas las mediciones para obtener la ecuación característica del sensor PTB110 con el uso de mínimos cuadrados en Excel se llegó a lo siguiente:

$$P = 240,36V - 498,87 \quad (4.11)$$

Mientras que para el sensor PTB101C resultó la siguiente ecuación:

$$P = 80,101V + 899,63 \quad (4.12)$$

Donde:

$$P = \textit{Presión (hPa)}$$

$$V = \textit{voltaje (V)}$$

Finalmente tanto los coeficientes de los sensores PTB110 y PTB101C se colocaron en el software desarrollado en LabVIEW con el fin de realizar el escalamiento respectivo y mostrar la medición en magnitud física (hPa) ya que son estos los coeficientes que más se ajustan a la medida del monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 en la cámara de presión.

d. Pruebas realizadas con los sensores de presión PTB110 y PTB101C

Con el cálculo de la ecuación de respuesta de cada uno de los sensores y ya con sus coeficientes introducidos en el software se efectuó las pruebas para determinar el grado de confiabilidad que brindará el registrador de datos universal.

Para el efecto de la pruebas en presión se utilizó el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 y la cámara de presión. La forma que se llevó a cabo estas pruebas fue colocando varios set-points en la cámara de presión cambiándolos cada dos horas hasta llegar a una estabilización óptima para

posteriormente realizar una comparación entre los valores que marca el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 y el valor que marca los sensores PTB110 y PTB101C en el registrador de datos universal.

e. Comparación de las medidas a diferente set-point de los sensores Vaisala PTB110 Y PTB101

En la cámara de presión se colocó la presión a la que el monitor de presión marca Fluke modelo RPM4 junto con los sensores PTB110 y PTB101C van estar expuestos, se observó las lecturas en el monitor Fluke conectado a la cámara de presión y el registrado de datos universal para determinar la desviación entre las dos medidas y obtener el porcentaje de error.

Tabla 4.17: Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor PTB110

Patrón(hP)	PTB110(hP)	Desviación	Error (%)
598,792	598,33	-0,462	-0,07715534
726,65	726,52	-0,13	-0,01789032
800,457	800,34	-0,117	-0,01461665
1013,386	1013,67	0,284	0,02802486
	Promedio	-0,10625	-0,02040936

Tabla 4.18: Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor PTB101C

Patrón(hP)	PTB101C(hP)	Desviación	Error (%)
962,682	962,559	-0,123	-0,000127768
999,578	999,11	-0,468	-0,00048198
1028,243	1028,501	0,258	-0,000250913
1090,386	1090,148	-0,25	-0,000229274
	Promedio	-0,14575	-0,000143582

Para el cálculo de la desviación se realizó una resta entre las dos medidas, la que marca el registrador universal menos el valor que se lo considera como verdadero el marcado en el monitor Fluke producido por el patrón de presión. Por último para calcular el error de la medida del registrador universal con respecto a la medida del monitor Fluke se divide la desviación para el valor verdadero es decir para el marcado en el monitor Fluke y se multiplica por 100 para obtener el error en porcentaje, de esta manera observamos que el error promedio de las mediciones de presión que marca el registrador universal para el sensor PTB110 es de -0,02040936 %, mientras que, para el sensor PTB101C es -0,000143582 % cuyos valores son aceptados para poder realizar ajustes en laboratorio de este tipo de sensores.

Con estos resultados el registrador de datos universal podrá ser utilizado para realizar calibraciones y ajustes en el laboratorio de metrología del INAMHI para los sensores de presión vaisala PTB110 y PTB101C.

4.1.3. Sensores de Precipitación Texas TR-525M-R3 y Young 52203

Para este tipo de sensores no hace falta conocer la ecuación característica de su salida ya que el método de calibración es a través de la cantidad de agua y del número de basculaciones.

Es así que la salida de éstos sensores son pulsos eléctricos para lo cual se diseñó un switch, la variable física de salida de este switch es voltaje, el que se conecta a una entrada digital del registrador de datos universal. El software realiza una lectura de la entrada, de esta manera, cuenta como una basculación cada 1 lógico. Adicionalmente se colocó el algoritmo para que indique la cantidad de agua (mm de precipitación) que produjo el número de basculaciones con el fin de poder realizar ajustes de estos pluviómetros.

a. Pruebas realizadas con los sensores de precipitación marca YOUNG 52203 y Texas TR-525M-R3

Las pruebas de los pluviómetros YOUNG 52203 y Texas TR-525M-R3 junto con el registrador universal fueron de la siguiente manera:

- Se colocó el pluviómetro en una superficie plana con el fin de poder nivelar la posición de ubicación.
- Utilización del embudo para calibración para regular la velocidad del agua que debe ingresar a la parte interna del pluviómetro.
- Conexión del pluviómetro al circuito de acondicionamiento y posteriormente al registrador universal.
- Finalmente se realizó 15 mediciones sin importar la cantidad de agua

ya que lo importante es que el registrador universal muestre el mismo número de basculaciones que genera el pluviómetro.

Tabla 4.19: Prueba de pluviómetro YOUNG 52203

Pluviómetro	Reg. Uni.		
Basculaciones	Basculaciones	Desviación	Error(%)
29	29	0	0
29	29	0	0
29	29	0	0
29	29	0	0
30	30	0	0
31	31	0	0
31	31	0	0
30	30	0	0
32	32	0	0
30	30	0	0
29	29	0	0
32	32	0	0
31	31	0	0
30	30	0	0
31	31	0	0
	Promedio	0	0

Tabla 4.20: Prueba de pluviómetro TEXAS TR-525M-R3

Pluviómetro	Reg. Uni.		
Basculaciones	Basculaciones	Desviación	Error(%)
32	32	0	0
54	54	0	0
28	28	0	0
33	33	0	0
52	52	0	0
29	29	0	0
30	30	0	0
32	32	0	0
31	31	0	0
29	29	0	0
28	28	0	0
44	44	0	0
42	42	0	0
38	38	0	0
35	35	0	0
	Promedio	0	0

Se observó que el conteo de basculaciones se está realizando de manera correcta en el registrador universal de tal manera que se tienen un error porcentual de 0% debido a la sensibilidad alta que tiene la sb-RIO dando así un grado muy alto de fiabilidad al uso del registrador universal para estos sensores.

Teniendo estas referencias de confiabilidad se pueden realizar calibraciones

y ajustes de Pluviómetros YOUNG 52203 y Texas TR-525M-R3 para lo cual se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El pluviómetro se lo debe ubicar en un área despejada lejos de árboles, edificios y demás alteraciones que pueden actuar como obstáculos.
- Se debe colocar a nivel, las lecturas no serán precisas si el sensor no está en una posición nivelada.
- El mecanismo de balancín debe estar completamente limpio sin acumulaciones de materiales extraños como polvo, polen, smock que alteran a la calibración del instrumento.
- Utilizar el embudo de laboratorio ya que el agua no debe pasar de 10ml por minuto que es aproximadamente 1 pulgada por hora.

Para los pluviómetros YOUNG 52203 por cada 10ml de agua debe dar 5 basculaciones por ejemplo en 100ml debería tener un conteo de 50 basculaciones con una desviación típica de 1 basculación, mientras que para los pluviómetros Texas TR-525M-R3 por cada 475ml son 100 basculaciones con una desviación típica de 1 basculación.

4.1.4. Sensor MET ONE 063-1

a. Escalamiento del sensor MET ONE 063-1 de temperatura del suelo

Después de pasar por la etapa de acondicionamiento el sensor MET ONE 063-1 presenta voltaje a su salida, entonces, se colocó dicho sensor junto con el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática a

diferentes set-points cambiándolo cada dos horas hasta tener una estabilización óptima, entonces se tomó el voltaje a la salida del sensor en el registrador universal y el valor de temperatura en grados centígrados del sensor patrón en el monitor Fluke, para con estos dos parámetros llegar a obtener una ecuación de respuesta del sensor.

b. Mediciones del sensor MET ONE 063-1 y el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 en la cámara climática

Tabla 4.21: Puntos para obtener la ecuación característica del sensor MET ONE 063-1

Set-Point (°C)	MET ONE 063-1 (V)	T(cámara)(°C)
35	34,909	2,067883
30	29,971	2,205144
25	25,056	2,338863
20	20,001	2,479259
15	15,083	2,617
5	5,264	2,884

c. Gráfica de la salida del sensor MET ONE 063-1

En la Figura 4.13 se indica la gráfica con los puntos de la Tabla 4.21.

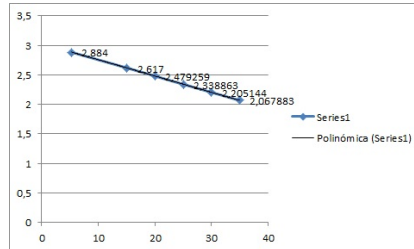


Figura 4.13: Gráfica de salida del sensor MET ONE 063-1

Observando el tipo de salida que dio el sensor se aplicó varios tipos de regresiones polinómicas hasta tener una que sea lo más parecida al gráfico de respuesta, es así que, la regresión polinómica de grado tres dio la mayor cercanía a la respuesta del sensor teniendo de esta manera una ecuación característica para este modelo de sensor.

d. Ecuación característica del sensor

Al aplicar una regresión polinómica de grado tres la ecuación característica para este sensor es la siguiente:

$$T = 0,0000001V^3 - 0,000007V^2 - 0,0263V + 3,0241 \quad (4.13)$$

Donde:

$T = \text{temperatura } (^{\circ}C)$

$V = \text{voltaje } (V)$

Con estos coeficientes en la ecuación característica del sensor se tendrá una medida con mayor exactitud entre la medida el patrón de temperatura y el sensor conectado al registrador de datos universal.

e. Pruebas realizadas con el sensor MET ONE 063-1

Con el cálculo de la ecuación de respuesta de este sensor y ya con sus coeficientes introducidos en el software se efectuó las pruebas para determinar el grado de confiabilidad que brindará el registrador de datos universal.

Para el efecto de la pruebas en temperatura se utilizó el sensor patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 y la cámara climática. La forma que se llevó a cabo estas pruebas fue colocando varios set-points en la cámara climática cambiándolos cada dos horas hasta llegar a una estabilización óptima para posteriormente realizar una comparación entre los valores que marca el patrón de temperatura en el monitor Fluke y el valor que marca el sensor MET ONE 063-1 en el registrador de datos universal.

f. Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor MET ONE 063-1

En la cámara climática se coloca la temperatura a la que patrón PRT marca Fluke modelo 5626 junto con el sensor MET ONE 063-1 van estar expuestos, se observó las lecturas en el monitor Fluke y el registrado de datos universal para determinar la desviación entre las dos medidas y obtener el porcentaje de error.

Tabla 4.22: Puntos para obtener la ecuación característica del sensor MET ONE 063-1

set-point (°C)	T(patrón)(°C)	T(sensor)(°C)	Desviación	Error(%)
35	34,747	34,678	-0,069	-0,198578295
30	29,804	29,983	0,179	0,600590525
25	25,013	25,032	0,019	0,075960501
20	20,051	20,134	0,083	0,413944442
15	15,023	14,98	-0,043	-0,286227784
10	10,169	10,076	-0,093	-0,914544203
5	5,324	5,1948	-0,1292	-2,426746807
		Promedio	-0,0076	-0,39080023

Para el cálculo de la desviación se realizó una resta entre las dos medidas, la que marca el registrador universal menos el valor que se lo considera como verdadero el marcado en el monitor Fluke producido por el patrón de temperatura. Por último para calcular el error de la medida del registrador universal con respecto a la medida del monitor Fluke se divide la desviación para el valor verdadero es decir para el marcado en el monitor Fluke y se multiplica por 100 para obtener el error en porcentaje, de esta manera observamos que el error promedio de las mediciones de presión que marca el registrador universal para el sensor MET ONE 063-1 es de -0,390800232 %, cuyo valores son aceptados para poder realizar ajustes en laboratorio de este tipo de sensores.

Con estos resultados el registrador de datos universal podrá ser utilizado para realizar calibraciones y ajustes en el laboratorio de metrología del INA-

MHI para los sensores de temperatura MET ONE 063-1.

4.1.5. Sensor de viento vaisala VWS302

Estos anemómetros están diseñados para determinar tanto la dirección como la velocidad de viento, a pesar de estar en el mismo sensor tiene un mecanismo diferente para cada variable, siendo así, dos potenciómetros para determinar la dirección de viento y un mecanismo de efecto hall para la determinación de la velocidad de viento.

a. Dirección de viento

El mecanismo que utiliza este anemómetro para determinar la dirección de viento es a través de dos potenciómetros los cuales varían la tensión independientemente en cada cuadrante, la variación de tensión ideal de este sensor es de (0 a 2.5)V, de (2.5 a 5)V y viceversa pero por desgaste de los potenciómetros o defectos de fábrica la variación es hasta un valor cercano a los mencionados, dependiendo de esta variación de cada potenciómetro se los compara para poder realizar el escalamiento cada 90° y poder tener la dirección de viento en el registrador universal.

a.1. Variación de tensión de los potenciómetros

Dependiendo del cuadrante en el que se encuentren los potenciómetros se tiene la siguiente variación de tensión:

Tabla 4.23: Variación de tensión en los potenciómetros de dirección

Cuadrante	Potenciómetro1 (V)	Potenciómetro2 (V)
I	0.003 - 2.52	2.54 - 0.02
II	2.52 - 5.02	0.02 - 2.47
III	5.02 - 2.51	2.47 - 5.02
IV	2.51 - 0.003	5.02 - 2.54

Con estas variaciones de voltaje se realizó el escalamiento para obtener la dirección de viento utilizando el potenciómetro1 para la dirección de $(0 \text{ a } 90)^\circ$ y $(270 \text{ a } 359)^\circ$, mientras que el potenciómetro2 determina la dirección de viento entre $(180 \text{ a } 270)^\circ$ y $(90 \text{ a } 180)^\circ$.

Al utilizar este sensor dos potenciómetros para determinar la dirección de viento elimina el grado de error y hace que la medida sea más eficiente.

a.2. Escalamientos para determinar la dirección de viento

En el software en LabVIEW lo que se realizó es una comparación entre las dos tensiones entrantes, dependiendo de esta comparación se colocó la ecuación de escalamiento utilizando una de las tensiones dependiendo el caso, así en el registrador universal la dirección ya se la puede visualizar en grados.

■ Primer Cuadrante

Para el primer cuadrante la comparación que se realizó, es que, el potenciómetro1 varíe de $(0.003 - 2.52)V$ y el potenciómetro2 varíe de $(2.54 - 0.02)V$, para tener la dirección de $(0 \text{ a } 90)^\circ$ se utilizó el rango de variación del potenciómetro1 para desarrollar el escalamiento de la siguiente manera:

(0.003, 0) (2.52, 90)

Obtención de la pendiente:

$$m = \frac{90}{2,52 - 0,003} = 35,756853$$

Ecuación para el escalamiento:

$$y - 0 = 35,756853(V - 0,003)$$

$$y = 35,756853V - 0,1072706 \quad (4.14)$$

■ Segundo Cuadrante

Para el segundo cuadrante la comparación que se realizó, es que, el potenciómetro1 varíe de (2.52 - 5.02)V y el potenciómetro2 varíe de (0.02 - 2.47)V, para tener la dirección de (90 a 180)° se utilizó el rango de variación del potenciómetro2 para desarrollar el escalamiento de la siguiente manera:

(0.02, 90) (2.52, 180)

Obtención de la pendiente:

$$m = \frac{180 - 90}{2,52 - 0,02} = 36,734694$$

Ecuación para el escalamiento:

$$y - 90 = 36,734694(V - 0,02)$$

$$y = 36,734694V + 89,265306 \quad (4.15)$$

■ Tercer Cuadrante

Para el tercer cuadrante la comparación que se realizó, es que, el potenciómetro1 varíe de (5.02 - 2.51)V y el potenciómetro2 varíe de (2.47 - 5.02)V, para tener la dirección de (180 a 270)° se utilizó el rango de variación del potenciómetro2 para desarrollar el escalamiento de la siguiente manera:

$$(2.47, 180) \quad (5.02, 270)$$

Obtención de la pendiente:

$$m = \frac{270 - 180}{5,02 - 2,47} = 35,294118$$

Ecuación para el escalamiento:

$$y - 180 = 35,294118(V - 2,47)$$

$$y = 35,294118V + 92,823529 \quad (4.16)$$

■ Cuarto Cuadrante

Para el cuarto cuadrante la comparación que se realizó, es que, el potenciómetro1 varíe de (2.51 - 0.003)V y el potenciómetro2 varíe de (5.02 - 2.54)V, para tener la dirección de (270 a 359)° se utilizó el rango de variación del potenciómetro1 para desarrollar el escalamiento de la siguiente manera:

$$(0.003, 359) \quad (2.52, 270)$$

Obtención de la pendiente:

$$m = \frac{270 - 359}{2,52 - 0,003} = -35,359555$$

Ecuación para el escalamiento:

$$y - 359 = -35,359555(V - 0,003)$$

$$y = -35,359555V + 359,10608 \quad (4.17)$$

Entonces las ecuaciones de escalamiento que se colocó en LabVIEW se indica en la siguiente tabla con su respectivo rango de medición, permitiendo al registrador universal estar en condiciones de presentar la dirección de viento en grados para este tipo de sensores.

Tabla 4.24: Ecuaciones de escalamiento para dirección de viento sensor Vaisala VWS302

Ecuación de Escalamiento	Rango de Medición (°)
$D=35.756853V-0.1072706$	(0 a 90)°
$D=36.734694V+89.265306$	(90 a 180)°
$D=35.294118V+92.823529$	(180 a 270)°
$D=-35.359555V+359.10608$	(270 a 359)°

Donde:

$D = \text{dirección } (^\circ)$

$V = \text{voltaje } (V)$

b. Velocidad de viento

Para la medición de la velocidad se utilizó el túnel de viento que posee el laboratorio de metrología del INAMHI, en el cual, se puede colocar distintas velocidades siendo la máxima 20m/sg.

El funcionamiento del sensor para determinar la velocidad es a través de un switch que conmuta una vez al dar una vuelta completa la rueda de copas, por lo que, se desarrolló en LabVIEW un algoritmo el cual cuenta los cambios de flanco o veces de conmutación del switch a una velocidad determinada.

b.1 Mediciones de cambios de flanco con varias velocidades

En el túnel de viento, se colocó el medidor de velocidad de viento junto con el sensor vaisala VWS302, mientras que, la salida del sensor se ubicó en el registrador de datos universal, es así que, se inició con la toma de medidas colocando un set-point de velocidad cada hora logrando una estabilización óptima, al llegar a dicha estabilización se observó el número de cambios de flanco que realizaba el sensor a esa velocidad para realizar el escalamiento respectivo.

Nota: El valor del medidor de velocidad se debe multiplicar para el resultado de la división de las constantes 1013 para 730 dadas por el fabricante para tener la medida en m/sg.

En la Tabla 4.25 se indica las medidas tomadas a diferente velocidad.

Tabla 4.25: Cambios de flanco a determinada velocidad

Cambios de flanco	Velocidad tunel de viento (m/sg)
20	2,04
43,5	4,815
72,5	7,6
110	11,45
150	16,45

En al Figura 4.14 se indica la gráfica según los datos de la Tabla 4.25 correspondiente a los cambios de flanco vs velocidad de viento del sensor.

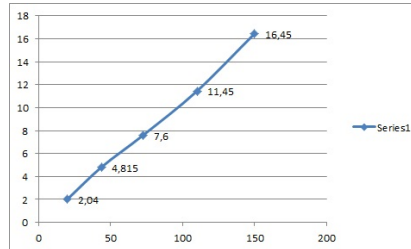


Figura 4.14: Respuesta de cambio de flancos vs velocidad de viento sensor vaisala VWS302

Al realizar el escalamiento a través de mínimos cuadrados se llegó a la siguiente ecuación:

$$V = 0,1088CF - 0,1481 \quad (4.18)$$

Donde:

$CF = \text{cambio de flancos}$

$V = \text{velocidad (m/sg)}$

De esta manera se determinó la ecuación que se colocó en el software de LabVIEW para poder medir velocidad de viento en (m/sg) con los sensores vaisala VWS302.

4.1.6. Sensor de viento Windsonic sdi-12

La tarjeta sb-RIO posee un conector RS-232, por lo que fue necesario la traducción de la salida sdi-12 de este sensor a RS-232 utilizando un conversor de la marca Vegetronix. Una vez convertida la señal a RS-232 el software de LabVIEW tubo la característica de transmitir comandos propios del dispositivo conversor Vegetronix necesarios para la activación, adquisición y manipulación del sensor sdi12 y de la trama de datos emitidos por este.

a. Comandos a ser utilizados para la adquisición de datos

Al abrir el VI para sensores sdi-12 se observa un botón de escritura de comandos, al presionarlo automáticamente escribirá lo siguiente:

- I. `DEL\s0:0,10,0,0\sX\sY\r`, con este comando se realiza un borrado de la memoria del dispositivo conversor para evitar conflictos de traducción.
- II. `ADD\s0:0,10,0,0\sX\sY\r`, con este comando se añade la dirección en la cual será conectado y responderá el sensor que se conecte; determinando también el tiempo de recolección de datos (10sg).
- III. `START\sX\sY\r`, con este comando se inicia la adquisición de datos del sensor.

De esta manera el sensor está configurado para iniciar la adquisición y toma de medidas cada de 10 segundos.

4.1.7. Sensor de temperatura NTC Logotonic

a. Escalamiento del sensor de temperatura NTC Logotonic

Al tener como referencia que el sensor tiene una ecuación característica de grado seis al ser alimentado con un voltaje de 2.5V desde el propio datalogger de la marca Logotronic, se buscó la manera de encontrar dicha ecuación pero al alimentarlo con la fuente de 5V propia del registrador universal de datos, realizando las siguientes pruebas.

b. Mediciones con 5V de alimentación y el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626

Para el efecto se utilizó la cámara climática junto con el patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626, el sensor NTC Logotronic y el registrador de datos universal, se colocó cuatro set-points cambiándolos cada dos

horas para finalmente observar el voltaje de salida del sensor y la temperatura marcada por el sensor patrón de temperatura en el medidor Fluke en ese momento para realizar el respectivo escalamiento.

Tabla 4.26: Voltaje de salida con 5V de alimentación

Temperatura NTC Logotronic		
Set-Point (°C)	Temp. Cámara (°C)	NTC Logotronic (V)
40	39,638	1,93687
30	29,998	2,25712
20	20,098	2,59637
10	10,194	2,9302

c. Gráfica de la salida del sensor NTC Logotronic con 5V de alimentación

La gráfica de respuesta del sensor NTC Logotronic con una alimentación de 5V se indica en la Figura 4.15:

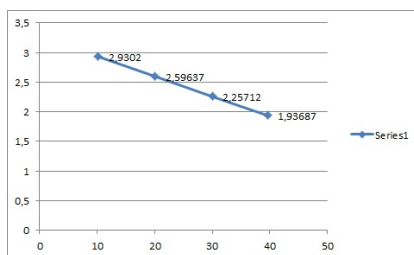


Figura 4.15: Gráfica de salida del sensor NTC Logotronic

Con estos datos se hizo varias regresiones tanto lineal como polinómicas teniendo los mejores resultados con una regresión polinómica de grado tres, es

así, que la ecuación que utilizaremos para este sensor es la siguiente:

$$T = -2,1301V^3 + 15,858V^2 - 68,456V + 128,21 \quad (4.19)$$

Donde:

$T = \text{temperatura } (^{\circ}C)$

$V = \text{voltaje } (V)$

Con estos coeficientes en la ecuación característica del sensor se tendrá una medida con mayor exactitud entre la medida el patrón de temperatura y el sensor conectado al registrador de datos universal.

d. Pruebas realizadas con el sensor NTC Logotronic

Con el cálculo de la ecuación de respuesta de este sensor y ya con sus coeficientes introducidos en el software se efectuó las pruebas para determinar el grado de confiabilidad que brindará el registrador de datos universal.

Para el efecto de la pruebas en temperatura se utilizó el sensor patrón de temperatura PRT marca Fluke modelo 5626 y la cámara climática. La forma que se llevó a cabo estas pruebas fue colocando varios set-points en la cámara climática cambiándolos cada dos horas hasta llegar a una estabilización óptima para posteriormente realizar una comparación entre los valores que marca el patrón de temperatura en el monitor Fluke y el valor que marca el sensor NTC Logotronic en el registrador de datos universal.

e. Comparación de las medidas a diferente set-point del sensor NTC Logotronic.

En la cámara climática se coloca la temperatura a la que patrón PRT marca Fluke modelo 5626 junto con el sensor NTC Logotronic van estar expuestos,

se observa las lecturas en el monitor Fluke y el registrado de datos universal para determinar la desviación entre las dos medidas y obtener el porcentaje de error.

Tabla 4.27: Puntos para obtener la ecuación característica del sensor NTC Logotronic

set-point (°C)	T(cámara)(°C)	T(sb-RIO)(°C)	Desviación	error(%)
35	34,787	34,653	-0,134	-0,385201368
30	29,81	29,983	0,173	0,580342167
25	25,023	25,152	0,129	0,515525716
20	20,112	20,162	0,05	0,248607796
15	15,019	15,192	0,173	1,151874293
10	10,273	10,123	-0,15	-1,460138226
5	5,354	5,153	-0,201	-3,754202465
		Promedio	0,00571428	-0,44331315

Para el cálculo de la desviación se realizó una resta entre las dos medidas, la que marca el registrador universal menos el valor que se lo considera como verdadero el marcado en el monitor Fluke producido por el patrón de temperatura. Por último para calcular el error de la medida del registrador universal con respecto a la medida del monitor fluke se divide la desviación para el valor verdadero es decir para el marcado en el monitor Fluke y se multiplica por 100 para obtener el error en porcentaje, de esta manera observamos que el error promedio de las mediciones de temperatura que marca el registrador universal para el sensor NTC Logotronic es de -0,443313155 %, cuyo valores son aceptados para poder realizar ajustes en laboratorio de este tipo de sensores.

Con estos resultados el registrador de datos universal podrá ser utilizado para realizar calibraciones y ajustes en el laboratorio de metrología del INAMHI para los sensores de temperatura NTC Logotronic.

4.1.8. Sensor de irradiancia CM3

El sensor de irradiancia CM3 al tener una salida en mV y al observar en sus especificaciones únicamente se dividió la señal enviada por el sensor para la constante 0.000015 dada por el fabricante y así mostrar en magnitud física la medición.

4.1.9. Sensor de viento Met One 034B

Estos anemómetros están diseñados para determinar tanto la dirección como la velocidad de viento. A pesar de estar en el mismo sensor tiene un mecanismo diferente para cada variable, siendo, así un potenciómetro para determinar la dirección de viento y un switch para determinar la velocidad de viento.

a. Dirección de viento

La dirección de viento se da a través de la posición de la aleta juntamente con una tensión de excitación aplicada (5V), la señal resultante es transmitida por un potenciómetro de 10K ohmios, junto con los 5V de alimentación, se tubo una variación de 0V a 5V con los que se realizó el escalamiento para tener una respuesta en grados de 0° a 360°. En la Figura 4.16 se indica la respuesta de este sensor con respecto a la dirección de viento.

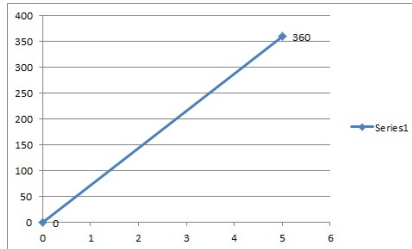


Figura 4.16: Respuesta de dirección de viento del sensor Met One 034B

Usando todas las mediciones para obtener la ecuación característica de la variable dirección de viento del sensor con el uso de mínimos cuadrados en Excel se llegó a lo siguiente:

$$D = 72V \quad (4.20)$$

Donde:

$D = \text{dirección } (^\circ)$

$V = \text{voltaje } (V)$

Esta ecuación se colocó en el software de LabVIEW, para así, poder tomar medidas de dirección de viento con este sensor y poder visualizar en magnitud física dicha dirección.

b. Velocidad de viento

Para la medición de la velocidad se utilizó el túnel de viento que posee el laboratorio de metrología del INAMHI, en el cual, se puede colocar distintas velocidades siendo la máxima 20m/sg.

El funcionamiento del sensor para determinar la velocidad es a través de un switch que conmuta dos veces al dar una vuelta completa la rueda de copas,

por lo que, se desarrolló en LabVIEW un algoritmo el cual cuenta los cambios de flanco o veces de conmutación del switch a una velocidad determinada.

b.1 Mediciones de cambios de flanco con varias velocidades

En el túnel de viento, se colocó el medidor de velocidad de viento junto con el sensor Met One 034B, mientras que, la salida del sensor se ubicó en el registrador de datos universal, es así que, se inició con la toma de medidas colocando un set-point de velocidad cada hora logrando una estabilización óptima, al llegar a dicha estabilización se observó el número de cambios de flanco que realizaba el sensor a esa velocidad para realizar el escalamiento respectivo.

Nota: El valor del medidor de velocidad se debe multiplicar para el resultado de la división de las constantes 1013 para 730 dadas por el fabricante para tener la medida en m/sg.

En la Tabla 4.28 se indica las medidas tomadas a diferente velocidad.

Tabla 4.28: Cambios de flanco a determinada velocidad

Cambios de flanco	Velocidad tunel de viento (m/sg)
9	1,6652
19,5	3,5385
29	5,4219
38	6,9799
62	11,6841
79	13,8767
110,5	19,8436
147,5	25,3943
153,5	27,1983

En al Figura 4.17 se indica la gráfica según los datos de la Tabla 4.28 correspondiente a los cambios de flanco vs velocidad de viento del sensor.

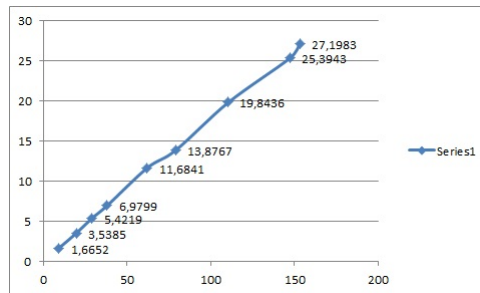


Figura 4.17: Respuesta de cambio de flancos vs velocidad de viento sensor Met One 034B

Al realizar el escalamiento a través de mínimos cuadrados se llegó a la siguiente ecuación:

$$V = 0,1737CF + 0,3393 \quad (4.21)$$

Donde:

$CF = \text{cambio de flancos}$

$V = \text{velocidad (m/sg)}$

De esta manera se determinó la ecuación que se colocó en el software de LabVIEW para poder medir velocidad de viento en (m/sg) con los sensores Met One 034B.

4.1.10. Sensor de humedad relativa Hicroclip1

El sensor Hicroclip1 con salida rs-232 necesita una etapa de acondicionamiento ya que su señal viene encriptada, dicho acondicionamiento es propio de la marca Rotronic, por lo que, viene incluida en el registrador de datos de dicha marca, es así, que se pidió soporte a Rotronic quienes supieron responder que esta marca utiliza un protocolo propietario de comunicación el cuál no puede distribuirse a equipos que no sean de su marca.

5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se implementó un registrador universal de datos hidrometeorológicos para el laboratorio de metrología del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador utilizando el sistema embebido sb-RIO 9631. Se emplearon algoritmos de control para el FPGA y micro-controlador propios de la tarjeta, con el fin de reconocer, registrar y manipular los datos entregados por sensores hidrometeorológicos de salidas analógicas, digitales y seriales (SDI-12).

- Se entendió que los recursos FPGA's son útiles durante el desarrollo de un sistema autónomo registro, sobre todo cuando la optimización de tamaño, velocidad y otros recursos determinan el rendimiento que tendrá dicho dispositivo y su costo.
- La característica de paralelismo de LabVIEW, permitió desarrollar y conjugar el funcionamiento múltiple de todos los algoritmos de adquisición, determinando así, la capacidad de manipular y registrar datos de cualquier tipo de sensor sin dejar de ejecutar otros procesos en la tarjeta.
- Se diseñó y elaboró una estructura protectora en acrílico debido a su transparencia, versatilidad, durabilidad, seguridad, peso y ecología puesto que es 100 % reciclable, la estructura es capaz de almacenar todos los dispositivos electrónicos y elementos necesarios para la elaboración del registrador universal de datos.
- Se implementó un algoritmo de adquisición capaz de leer y registrar los datos provenientes de sensores con protocolo de salida SDI-12, mediante el uso de un conversor de SDI-12 a RS-232.
- Se desarrolló un algoritmo capaz de manipular los datos de salida del registrador, las variables eléctricas entregadas por los sensores y los datos de los patrones de referencia, estableciendo un patrón de conducta del sensor, y obteniendo las ecuaciones de ajuste para un funcionamiento apropiado del dispositivo en campo.
- Se demostró que la adopción de la tecnología FPGA continúa creciendo como herramienta de alto nivel, gracias a la evolución desde un estado inicial abstracto hasta los conceptos visuales sencillos de utilización descritos en este documento.

- Se comprobó que la velocidad de respuesta de los sensores SDI-12, para este proyecto está limitada por la velocidad de toma de datos del conversor SDI-12 a RS232, siendo la mínima de 1 dato cada 10 segundos.
- Se realizó una investigación bibliográfica de todos los sensores facilitados por el INAMHI para este proyecto, así también, de la tarjeta sb-RIO 9631 y del conversor SDI-12 a RS232. Se determinó que gran parte de estos sistemas son utilizados en la industria universal de la adquisición y manipulación de datos en general.
- El registrador de datos universal tiene la característica de generar un archivo en Excel de registro con las mediciones obtenidas y de un reporte de certificación en Word con el estado actual del sensor ajustado.
- Para el uso de las entradas digitales de la tarjeta sb-RIO, previamente, se debe inicializarlas en falso (0 booleano) vía software, ya que, después del primer uso de dichas entradas, éstas quedan activadas en verdadero, imposibilitando su uso.
- El usuario podrá observar el estado de funcionamiento del registrador de datos universal y de sus entradas en uso, a través de un LCD adherido a la carcasa, en el cual se puede apreciar el porcentaje de carga del software interno de la tarjeta, y las entradas en funcionamiento.
- En análisis cuantitativo de la relación costo beneficio de la implementación de un registrador de datos universal se encuentra dada por la condición que cada sensor debía tener su propio registrador de datos; el precio de cada registrador de datos es de aproximadamente 3500 dólares, en tal razón la implementación de este proyecto induce un ahorro de

alrededor de 35000 dólares pues con el registrador universal de datos se reemplaza a más de 10 registradores propietarios.

- Al tener la posibilidad de obtener los coeficientes de ajuste para sensores que serán introducidos al campo opción única del registrador de datos universal, ahorra el tiempo de cálculo de estos coeficientes los mismos que se realizaba a mano o por medio de un software como Matlab o Excel mejorando la productividad del Laboratorio de Metrología del INAMHI.

5.2. Recomendaciones

- Para poder desarrollar y visualizar la interfaz gráfica de mejor manera se debe utilizar un monitor de 15 pulgadas como mínimo.
- Para la correcta operación y desempeño del registrador de datos universal, se recomienda el uso de un computador con un procesador potente (mínimo core i5), ya que, los procesos desarrollados por el software demandan una tasa alta de recursos para un computador con características inferiores.
- Debido a la gran cantidad de transferencia de datos y de información entre el registrador universal y la computadora de control, se recomienda que el computador sea dedicado exclusivamente para esta aplicación, evitando la instalación de software ajeno o que no se vaya a utilizar como complemento de ésta.
- Para evitar cualquier tipo de contra tiempo se debe conectar el cable Ethernet entre la tarjeta y la computadora sin que el dispositivo embebido sb-RIO esté energizado.
- Deshabilitar el wireless de la computadora, evitará posibles conflictos de red e interconexión entre los dispositivos involucrados en este proyecto.
- Tener cuidado con el manejo de las líneas de alimentación de cada sensor para evitar posibles corto-circuitos que puedan afectar a la tarjeta.
- Para la correcta operación y cuidado del registrador universal de datos se recomienda leer previamente el manual de usuario.
- Debido a que el material utilizado para la construcción del sitio donde está ubicado el túnel de viento genera altas temperaturas en su interior,

se recomienda utilizar un sistema de ventilación apropiada cada vez que se utilice el registrador de datos universal.

Bibliografía

- [1] INAMHI. [Documento HTML]. Revisado el 20 de abril de 2012 desde Internet <http://www.inamhi.gov.ec/educativa/meteorologia.htm>
- [2] *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. edición 2008. Organización Meteorológica Mundial. Parte 1, Medición de Variables Meteorológicas*
- [3] INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS. [Documento HTML]. Revisado el 25 de abril de 2012 desde Internet <http://www.docstoc.com/docs/3171649/Sistemas-de-Adquisicion-de-Datos#>
- [4] MARROQUIN C. [Documento PDF]. Revisado el 27 de abril de 2012 desde Internet. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/marroquin_c_g/capitulo2.pdf
- [5] PROVIENTO. [Documento HTML]. Revisado el 29 de abril de 2012 desde Internet http://www.proviento.com.ec/index_datalogger.html
- [6] JM Industrial, DATALOGGER. [Documento PDF]. Revisado el 4 de mayo de 2012 desde Internet http://www.jmi.com.mx/documento_literatura/DATALOGGER.pdf

- [7] NATIONAL INSTRUMENTS, NI-Tutorial-2949-es. [Documento PDF]. Revisado el 10 de mayo de 2012 desde Internet <http://www.ni.com/white-paper/2946/es>
- [8] ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES. [Documento PDF]. Revisado el 15 de mayo de 2012 desde Internet http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%203.%20Acondicionamiento%20de%20senales.pdf
- [9] VAISALA, HMP45AD. [Documento PDF]. Revisado el 25 de mayo de 2012 desde Internet <http://www.iprocessmart.com/images/Vaisala/HMP45AD.-pdf>
- [10] VAISALA, HMP155. [Documento PDF]. Revisado el 28 de mayo de 2012 desde Internet <http://cn.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/HMP155-Datasheet-B210752ES-C-LOW-v1.pdf>
- [11] VAISALA. [Documento HTML]. Revisado el 29 de mayo de 2012 desde Internet http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/HUMICAP_Technology_ES.pdf
- [12] INGENIATIC. [Documento HTML]. Revisado el 3 de junio de 2012 desde Internet <http://ingeniatic.ewitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/588-sensores-de-temperatura-rtd>
- [13] LOGOTRONIC. [Documento HTML]. Revisado el 6 de julio de 2012 desde Internet <http://www.logotronic.at/en/produkte/sensoren-fuer-die-meteorologie/luft-bodentemperatur/118-138.htm>

- [14] AYUDA ELECTRÓNICA. [Documento HTML]. Revisado el 8 de julio de 2012 desde Internet <http://ayudaelectronica.com/que-es-un-termistor/>
- [15] AYUDA ELECTRÓNICA. [Documento HTML]. Revisado el 20 de julio de 2012 desde Internet <http://ayudaelectronica.com/como-medir-humedad-relativa/>
- [16] LOGOTRONIC, hygroclip1. [Documento PDF]. Revisado el 28 de julio de 2012 desde Internet <http://www.pbmesures.com/fichiers/man-hygroclip.pdf>
- [17] LOGOTRONIC, hygroclip. [Documento PDF]. Revisado el 28 de julio de 2012 desde Internet <http://www.swisserv.com/Rotronic/catalogo/-hygroclip.pdf>
- [18] MET ONE INSTRUMENTS, 063 %20Temperature %20Sensor. [Documento PDF]. Revisado el 28 de junio de 2012 desde Internet <http://www.metone.com/documents/063 %20Temperature %20Sensor.pdf>
- [19] VAISALA, Manual PTB110. [Documento PDF]. Revisado el 2 de agosto de 2012 desde Internet <http://www.vaisala.com/Vaisala %20Documents-/User %20Guides %20and %20Quick %20Ref %20Guides/PTB110 %20User %20Guide %20in %20English.pdf>
- [20] VAISALA, PTB110. [Documento HTML]. Revisado el 15 de agosto de 2012 desde Internet <http://www.eol.ucar.edu/isf/facilities/isff/sensors-/vaisala/ptb100/PTB100.pdf>
- [21] VAISALA, WM30_User_Guide_in_English. [Documento PDF]. Revisado el 25 de agosto de 2012 desde Internet http://www.vaisala.com/Vaisala-%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/-WM30_User_Guide_in_English.pdf

- [22] CAMPBELL SCIENTIFIC, 034b. [Documento PDF]. Revisado el 30 de agosto de 2012 desde Internet <http://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/034b.pdf>
- [23] KIPP & ZONEN, kipp_manual_cm3. [Documento PDF]. Revisado el 6 de septiembre de 2012 desde Internet http://meteocentre.com/StationUqam/instruments/Pyranometre/kipp_manual_cm3.pdf
- [24] CAMPBELL SCIENTIFIC, Manual piranómetro. [Documento PDF]. Revisado el 12 de septiembre de 2012 desde Internet <ftp://ftp.campbellsci.com/pub/csl/outgoing/es/leaflets/cm3.pdf>
- [25] CAMPBELL SCIENTIFIC, cm3. [Documento PDF]. Revisado el 14 de septiembre de 2012 desde Internet <http://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/cm3.pdf>
- [26] AMMONIT, en_ds_precipitationsensor_young.[Documento PDF]. Revisado el 18 de septiembre de 2012 desde Internet http://www.ammonit.com/images/stories/download-pdfs/Datenblaetter/01_Niederschlag/en_ds_precipitationsensor_young.pdf
- [27] TEXAS ELECTRONICS, INC. [Documento HTML]. Revisado el 24 de septiembre de 2012 desde Internet http://www.texaselectronics.com/detail_tr525m.htm
- [28] NOVALYNX CORPORATION, 255-100-manual. [Documento PDF]. Revisado el 25 de septiembre de 2012 desde Internet <http://www.novalynx.com/manuals/255-100-manual.pdf>
- [29] SDI-12 SUPPORT GROUP. [Documento HTML]. Revisado el 28 de septiembre de 2012 desde Internet <http://www.sdi-12.org/>

- [30] PROF. DAVID A. PÉREZ A, Sistemas Embebidos y Sistemas Operativos Embebidos. [Documento PDF]. Revisado el 1 de octubre de 2012 desde Internet www.ciens.ucv.ve/escueladecomputacion/documentos/archivo/88
- [31] IdosE INGENIERÍA, INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA. [Documento HTML]. Revisado el 5 de octubre de 2012 desde Internet <http://www.idose.es/sistemas-embebidos>
- [32] NATIONAL INSTRUMENTS, NI-Tutorial-6984-es. [Documento PDF]. Revisado el 8 de octubre de 2012 desde Internet <http://www.ni.com/white-paper/6984/es>
- [33] NATIONAL INSTRUMENTS, NI-Tutorial-6983-es. [Documento PDF]. Revisado el 15 de octubre de 2012 desde Internet <http://www.ni.com/white-paper/6983/es>
- [34] NATIONAL INSTRUMENTS. [Documento HTML]. Revisado el 20 de octubre de 2012 desde Internet <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/205894>
- [35] NATIONAL INSTRUMENTS. [Documento HTML]. Revisado el 23 de octubre de 2012 desde Internet <http://www.ni.com>

Anexos

A

Anexo A. Conexión de la Tarjeta sb-RIO con la Pc

A.1. Encendido de la tarjeta sb-RIO

Como se conoce, el módulo sb-RIO es un dispositivo electrónico que necesita una fuente de alimentación de 24 V continuos, los mismos que se obtienen a través de un conversor de voltaje energizado con 110 V de entrada. Además, la tarjeta posee un conector J3, mostrado en la Figura A.1, donde se especifica la conexión correcta de los terminales del adaptador de voltaje.

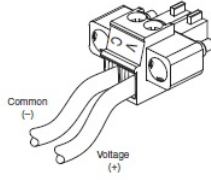


Figura A.1: Conector de la fuente de alimentación

El conector J3 cuenta con tornillos de ajuste, los cuales, sirven de soporte para los terminales del adaptador. Al energizar la tarjeta, el led de aviso se encenderá por un instante como se indica en la Figura A.2, este led se apagará al completar el proceso de encendido, lo que indica que la tarjeta está lista para usarse.



Figura A.2: Led de aviso de inicialización de la sb-RIO

A.2. Configuración inicial de la tarjeta sb-RIO

La conexión entre la Pc y la tarjeta se realiza por medio del puerto serial o del puerto Ethernet siendo la última opción la que se utilizó en este proyecto.

Tanto a la tarjeta sb-RIO como a la PC se les debe asignar una IP específica para la comunicación entre si. La configuración de fábrica de la tarjeta sb-RIO

no contempla la asignación de una dirección IP y de un nombre, además, viene con su memoria totalmente vacía (sin contar con el espacio de memoria asignado para los programas de arranque).

Al instalar LabVIEW se crea un acceso directo en el escritorio denominado **MAX(Measurement Automation)**, desde el cual, se accede a la configuración de la tarjeta para el reconocimiento y parametrización de los dispositivos externos con los que va a trabajar la plataforma LabVIEW. Así también, se encarga de cargar los paquetes con los que trabajará el dispositivo embebido. Los pasos para la configuración de la Tarjeta sb-RIO 9631 son los siguientes:

- I. Ejecutar el **Max** y seleccionar la opción **Remote Systems** como muestra la Figura A.3 Aquí, se desplegará la tarjeta con un icono de color verde, indicando que el cable Ethernet está correctamente conectado a la PC.

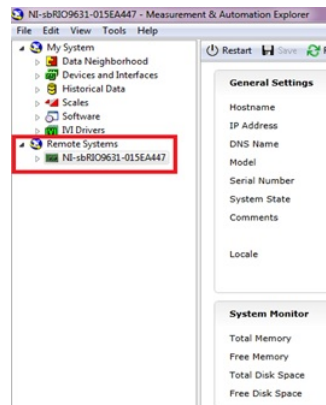


Figura A.3: Reconocimiento de la tarjeta en el Max

- II. Al señalar la tarjeta en el **Max**, se mostrarán los valores predeterminados de fábrica para cada una de las opciones de configuración. Se-

leccionar, a continuación, en la parte inferior de la ventana la pestaña **Network Settings** que desplegará la ventana para la edición de los parámetros de red necesarios para la comunicación, por ejemplo, IP NI-sbRIO9631=192.168.0.2 indicado en la Figura A.4.

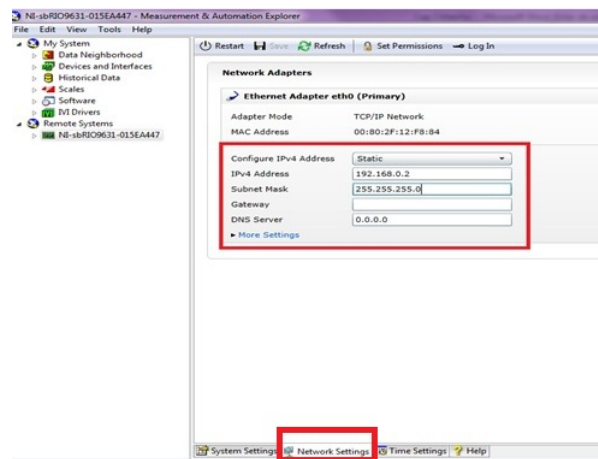


Figura A.4: Configuración de parámetros de red

La tarjeta, desde fábrica, viene sin paquete alguno de software interno instalado, por lo que, el MAX permite instalar los paquetes necesarios para la programación y la utilización de la tarjeta.

- III. Dirigirse hasta **Remote Systems**, desplegar las opciones internas, y dar clic derecho en **Software/ Add—Remove Software**, como se muestra en la Figura A.5.

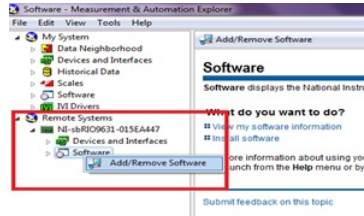


Figura A.5: Opciones de instalación de software

IV. Luego, se desplegará una ventana para la instalación de los paquetes necesarios para la utilización de la tarjeta, y se mostrará el software disponible en la PC que fue instalado previamente con **LabVIEW**. Escoger el proceso de instalación personalizado, como se indica en la Figura A.6, es decir **Custom software installation (currently installed)**, ya que, éste permitirá la selección de los paquetes a utilizarse.

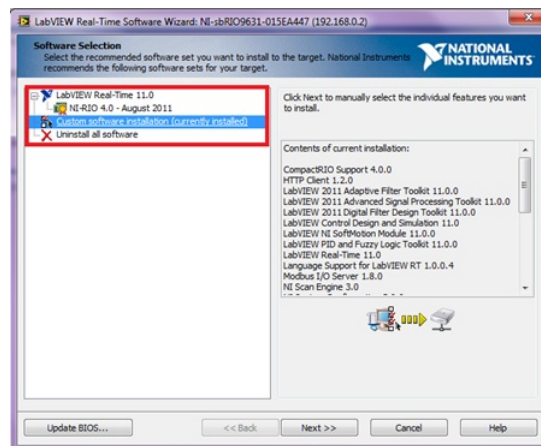


Figura A.6: Ventana de elección de forma de instalación

V. Dar clic en **Siguiente** y se desplegará una ventana similar a la Figura A.7, con todos los paquetes disponibles para la instalación en la memoria

de la tarjeta. A continuación, seleccionar los paquetes que se desea instalar, sin olvidar el de FPGA y Real Time, fundamentales para realizar una aplicación.

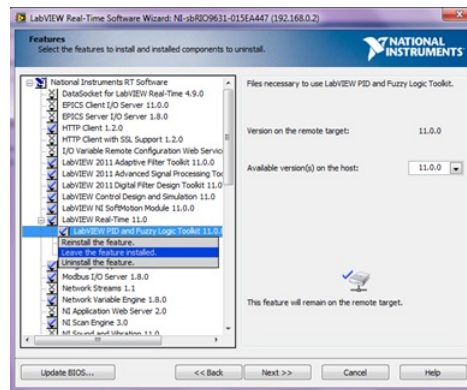


Figura A.7: Ventana de selección de paquetes

VI. Seleccionar ***Siguiente*** y comenzará la instalación, la misma que finalizará automáticamente.

La forma de constatar que los paquetes se han instalado correctamente es en el ***MAX***, desplegando las opciones de ***Software*** y ***Devices and Interfaces***, donde se visualizará los paquetes instalados como indica la Figura A.8.

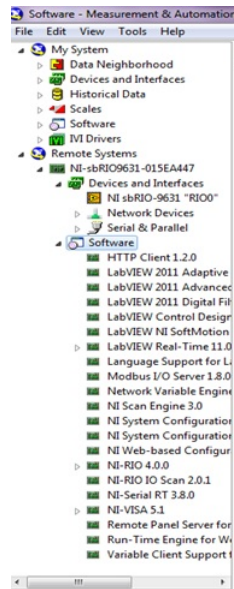


Figura A.8: Despliegue y visualización de paquetes instalados

A.3. Configuración de la PC

La configuración de la PC es más sencilla, pues, es la creación de una red doméstica bajo el protocolo Ethernet siendo la PC y la tarjeta los dispositivos a interactuar.

Los pasos para la creación de la red doméstica bajo el SO Windows 7 son:

- I. Ingresar a *Centro de redes y recursos compartidos a través del panel de control* - Figura A.9;

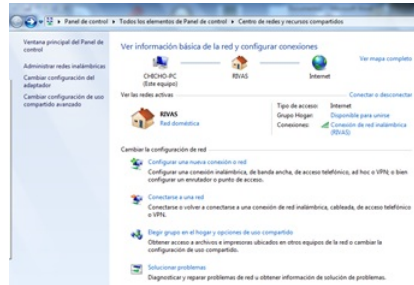


Figura A.9: Centro de redes y recursos compartidos

II. Ingresar a la opción *Cambiar configuración del adaptador* - Figura A.10;

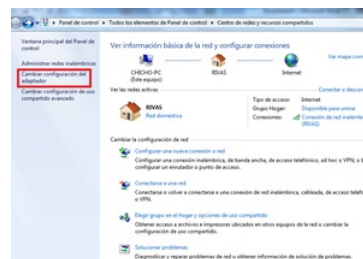


Figura A.10: Cambiar configuración del adaptador

III. Ingresar a *Conexión de área local* y seleccionar la opción *Protocolo de Internet versión 4(TCP/IPv4)* - Figura A.11; y

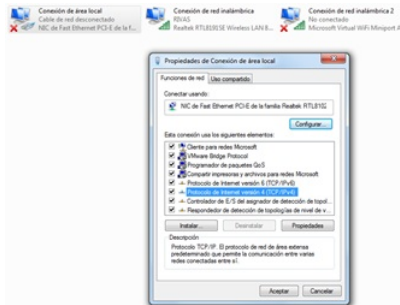


Figura A.11: Conexión área local

IV. Colocar una dirección IP con la que trabajará la PC en red con la tarjeta. Ésta debe concordar con la IP dada a la tarjeta en en numeral anterior, por ejemplo, IP Pc = 192.168.0.1 -Figura A.12.

De esta manera, los dos dispositivos utilizarán la misma máscara de subred.

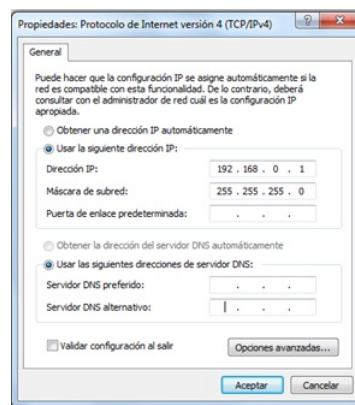


Figura A.12: Introducir IP

Al tener la tarjeta y la PC configuradas se recomienda apagar la red inalámbrica de la PC, ya que, en algunos casos puede ocasionar conflictos de conexión.

B

Anexo B. Creación de un proyecto en LabVIEW y la Tarjeta sb-RIO

B.1. Pasos para crear un proyecto con la tarjeta sb-RIO

- I. Para iniciar una aplicación con la tarjeta sb-RIO es necesario abrir el *MAX (Measurement — Automation)* de National Instruments y desplegar la pestaña de *Remote Systems* donde se visualiza la tarjeta

llamada NI-sbRIO9631-015EA447 correctamente conectada y funcionando (Icono Verde), como se indica en la Figura B.1.

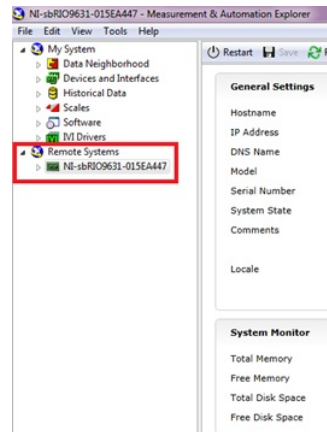


Figura B.1: Reconocimiento de la sb-RIO

Al ser la tarjeta reconocida por el **MAX** se puede ver el nombre de la tarjeta, la IP asignada para estar en red con la PC, el nombre DNS, el modelo, el número de serie y especialmente el estado en el cual se encuentra. En esta última opción, al tener **Connected-Running** significa que la tarjeta esta lista para ser utilizada ver Figura B.2.

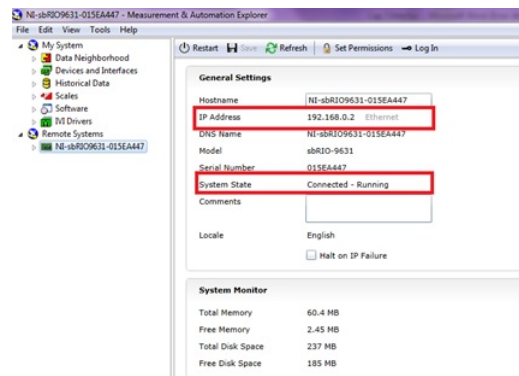


Figura B.2: Tarjeta lista para ser utilizada

Ejecutar el software LabVIEW de National Instruments, en el cual se realizará tanto la programación, como la HMI de la aplicación, en este caso para el registrador de datos universal.

Para realizar una aplicación con la tarjeta sb-RIO es necesario utilizar LabVIEW 8.5 como mínimo, pero lo recomendable es usar LabVIEW 2011 o versiones posteriores para aprovechar todos los recursos de la tarjeta al máximo.

- II. Uno de los puntos más importantes a considerar es la existencia e instalación de los Módulos **FPGA** y **REAL TIME** vitales para la utilización de la tarjeta, se los puede observar al correr LabVIEW y verlos presente en la pantalla de presentación, como se indica en la Figura B.3.



Figura B.3: Módulos FPGA y REAL TIME presentes en LabVIEW

- III. Abrir **LabVIEW** y seleccionar **Empty Project** en la ventana de inicio de LabVIEW para empezar con la aplicación de un proyecto vacío. - Figura B.4.

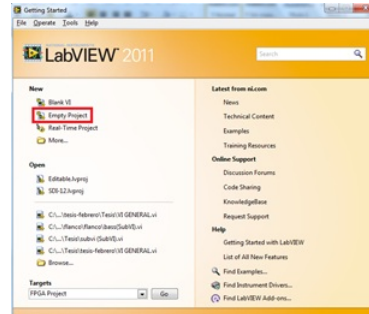


Figura B.4: Seleccionar proyecto vacío

IV. En la ventana **Project Explorer** seleccionar **Project: Untitled Project 1** donde se podrá observar los archivos de programación de cada una de las partes del Proyecto, dar clic derecho poner en **New** y entrar en **Targets and Devices**. - Figura B.5.

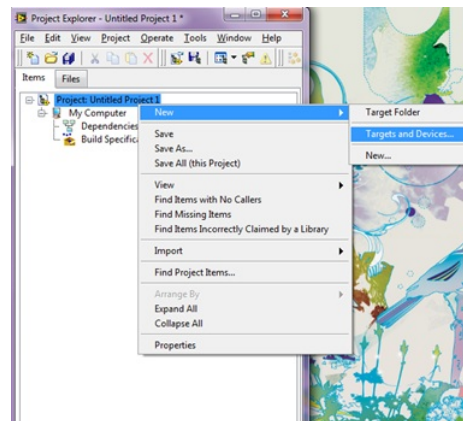


Figura B.5: Selección de la tarjeta para interactuar con LabVIEW

V. Se desplegará una ventana con los posibles dispositivos a conectar, seleccionar **Real-Time Singleboard**, que es donde se encuentra la tarjeta sb-RIO, dar clic en OK. - Figura B.6.

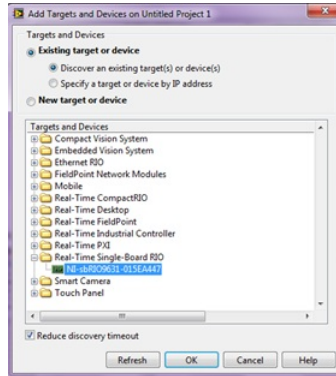


Figura B.6: Selección sbRIO 9631 previamente configurada

VI. Desplegar *NI-sbRIO9631-015EA447*, entonces aparecerá *Chassis (sbRIO 9631)*, extender la opción Chassis y dar clic derecho en *FPGA Target (RIO0, sbRIO 9631)*. Seleccionar *New* y posteriormente *VI (Virtual Interface)*. Aquí se está iniciando un VI para el uso de la FPGA, el mismo que se lo debe guardar dentro del proyecto. - Figura B.7.

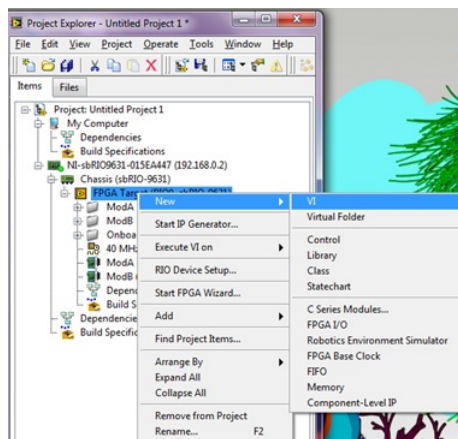


Figura B.7: Ruta de creación VI FPGA

La programación de la FPGA, básicamente, es la asignación de las entradas tanto analógicas como digitales que se van a utilizar permitiendo una programación gráfica de alto nivel, así como el tratamiento de las señales en la primera fase que es la de adquisición, lo que permite simplificar el diseño de sistemas complejos.

- VII. En el diagrama de bloques, arrastre un ciclo *While Loop* y las entradas analógicas y digitales que se van a utilizar. Las entradas se encuentran en la ventana *Project Explorer* desplegando *FPGA Target* y posteriormente extender *Mod A* que es la ubicación de todas las entradas analógicas disponibles en la tarjeta, mientras que, extender *Onboard I/O* sitio en el cual se encuentran todas las entradas digitales, arrastrar estas entradas hacia la ventana de desarrollo del VI. - Figura B.8.

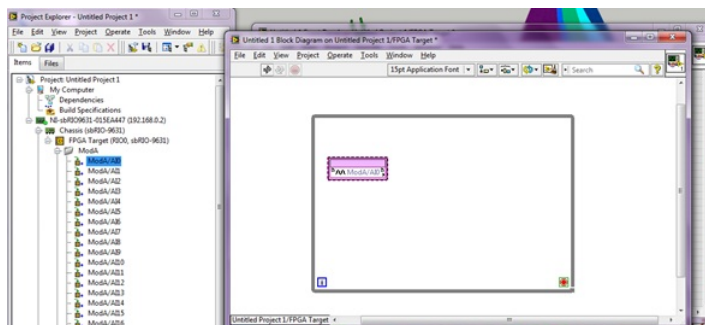


Figura B.8: Activación de entradas en el VI FPGA

Para el registrador de datos universal se añadieron 20 entradas analógicas y 27 entradas digitales. Las 20 entradas analógicas arrastradas al *While Loop* son para la conexión de sensores con salida de voltaje por lo que se realizó la programación utilizando una herramienta de LabVIEW (*Mean, Variance and Stándar Deviation*) para obtener

cada 1000 muestras el promedio y este valor ser utilizado en el VI principal. Para las entradas digital, no se necesita tener un promedio de una cantidad de muestras determinadas por lo que a estas entradas no se realizó ningún tipo de programación para utilizar la señal tal y como viene del sensor, además, se usó como salidas para la activación del PIC del LCD de información, en la Figura B.9 se indica la forma de activación y programación de las entradas a utilizarse analógicas y digitales.

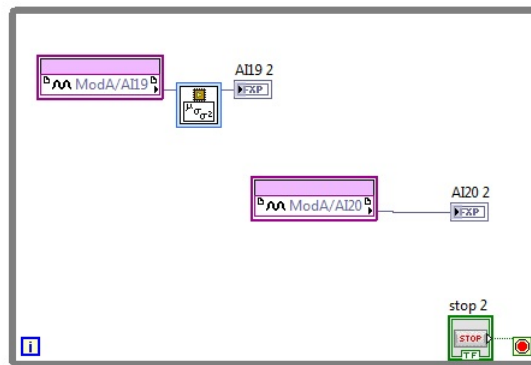


Figura B.9: Asignación entradas analógicas y digitales

VIII. Guardar el programa y compilarlo presionado en la opción **play** ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla. Observar el estado de la compilación, si no existe ningún tipo de error las 20 entradas analógicas y las 27 entradas digitales están listas para ser utilizadas. En la Figura B.10 se indica la pantalla al momento de realizar la compilación.

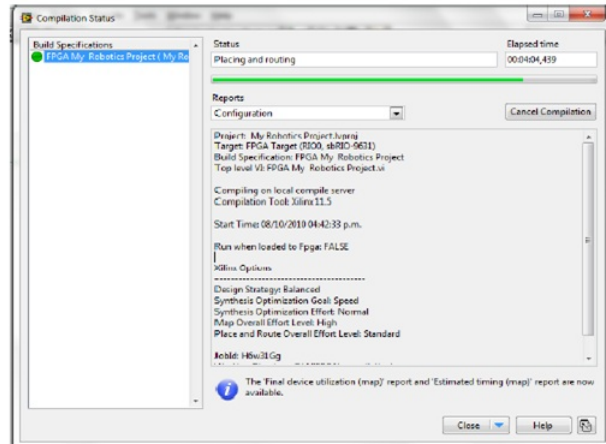


Figura B.10: Proceso de compilación

- IX. Se necesita crear un nuevo VI en Real Time, para lo cual seleccionar la tarjeta y dar clic derecho en **New/VI** indicado en la Figura B.11. En este VI se desarrolla aplicaciones en Tiempo Real utilizando las entradas asignadas en el VI FPGA (antes creado) y fundamentalmente empieza a ser utilizado el microprocesador incorporado en el dispositivo embebido acelerando cualquier proceso con las señales adquiridas, dejando al FPGA únicamente para el trabajo de adquisición y muestreo de las señales.

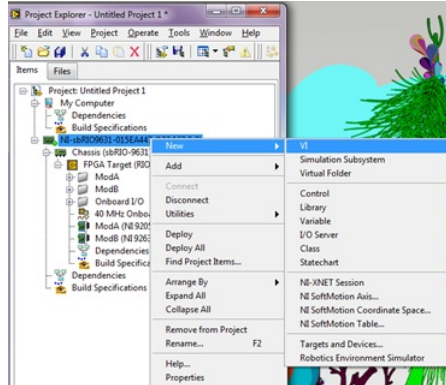


Figura B.11: Creación del VI Real Time

- X. Para invocar al VI FPGA en el VI Real Time ir hacia FPGA Interface dando clic derecho en el diagrama de bloques y realizar lo siguiente:
- En el diagrama de bloques, arrastrar un ciclo ***While Loop***, fuera de este colocar la herramienta para abrir el VI FPGA llamado ***Open FPGA VI reference***.
 - Dentro del While Loop colocar ***Read/Write Control*** dependiendo de la aplicación y finalmente fuera del while loop insertar ***Close FPGA VI reference*** para cerrar la comunicación con la FPGA. En la Figura B.12 se indica los módulos FPGA a ser utilizados.

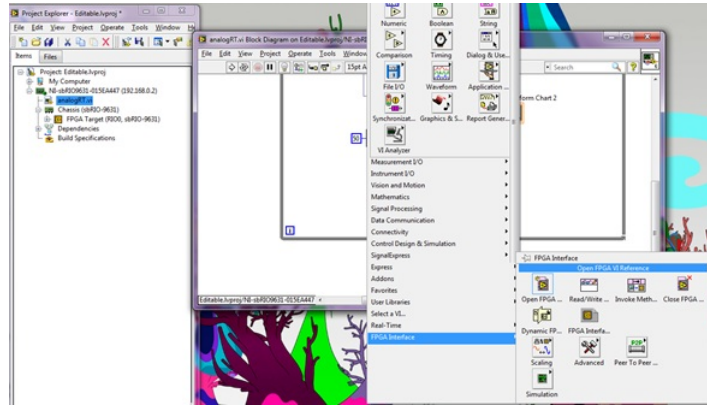


Figura B.12: Módulos FPGA a utilizar

- c. A continuación, seleccionar el programa creado en el VI FPGA y arrastrarlo hacia la función ***Open FPGA VI Reference*** como se indica en la Figura B.13, el cual habilitará las entradas asignadas en el VI FPGA dentro de la ***Funcion Read/Write Control***.

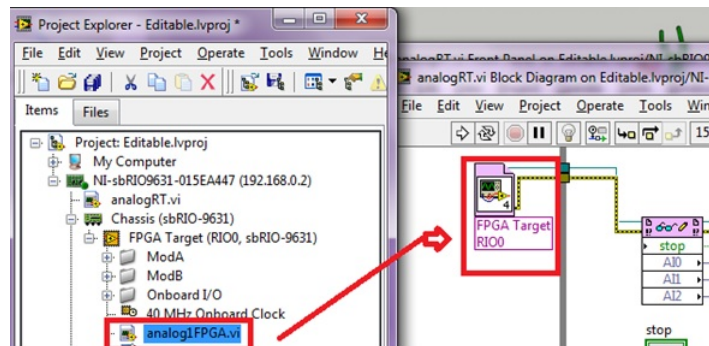


Figura B.13: VI Real Time cargado con VI FPGA

De esta manera, se puede realizar operaciones con los valores adquiridos por la tarjeta a un nivel más alto y con un procesamiento más rápido, en la Figura B.14 se muestra un VI completo de Real Time.

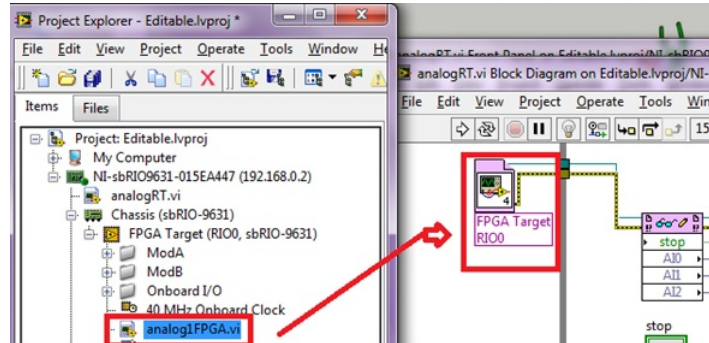


Figura B.14: Ejemplo VI Real Time completado

Para un control a más alto nivel es recomendable crear un VI de control a nivel de la computadora, esto se hace con clic derecho en **My Computer** y seleccionar **New VI**, como se muestra en la Figura B.15, en este VI se hace pasos similares a los indicados para invocar al VI FPGA en el VI Real Time y poder tener a disposición las entradas habilitadas y ocupar las opciones de programación que posee LabVIEW.

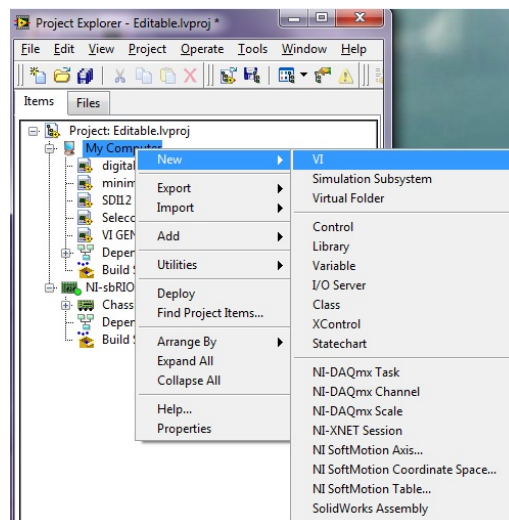
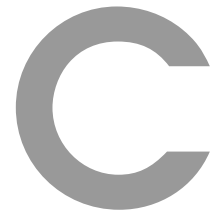


Figura B.15: Creación VI en la computadora



Anexo C. Código del programa implementado en el PIC 16F877A

```
define LCD_DREG PORTA
define LCD_DBIT 0
define LCD_RSREG PORTA
define LCD_RSBIT 4
define LCD_EREG PORTB
define LCD_EBIT 3
DEFINE OSC 4
cmcon=7
pause 200
in1 var Byte   in2 var byte   in3 var byte   in4 var byte   in5 var byte
in6 var byte   in7 var byte   in8 var byte   in9 var byte   in10 var byte
in11 var byte  in12 var byte  in13 var byte  in14 var byte  in15 var byte
in16 var byte  in17 var byte
x var byte
```

```

y var byte
abc var byte
in1=0          in2=0          in3=0          in4=0          in5=0
in6=0          in7=0          in8=0          in9=0          in10=0
in11=0         in12=0         in13=0         in14=0         in15=0
in16=0         in17=0
pause 200
lcdout $FE, 1, "INAMHI"
LCDOUT $FE, $C0, "ESPE-L"
PAUSE 2000
lcdout $FE, 1
PAUSE 2000
lcdout $FE, 1, "REGISTRADOR_DE"
LCDOUT $FE, $C0, "DATOS_UNIVERSAL"
pause 2000
INI:
LCDOUT $FE,1
FOR X=0 TO 15
LOOKUP X,["CARGANDO....."],ABC
LCDOUT, ABC
PAUSE 400
NEXT
FOR y=0 TO 100
lcdout $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "CARGANDO....."
LCDOUT $FE, $C0, dec y, " %"
PAUSE 250
NEXT
LCDOUT $FE, 1, "LISTO...!!!"
pause 7000
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
uno:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 100
IF portc.0 = 0 then
    in1=0
    goto dos
ELSE
    if in1=0 then
        PAUSE 200
        LCDOUT $FE, 1
        LCDOUT $FE, 1, "Entrada_1"
        LCDOUT $FE, $C0, "Activada.!!"
        pause 7500
        in1=in1+1
    else
        LCDOUT $FE, 1
        goto dos
    endif
endif
dos:
LCDOUT $FE, 1

```

```

LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portc.1 = 0 then
  in2=0
  goto tres
ELSE
  if in2=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_2"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada..!"
    pause 7500
    in2=in2+1
  else
    LCDOUT $FE, 1
    goto tres
  endif
endif
tres:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portc.2 = 0 then
  in3=0
  goto cuatro
ELSE
  if in3=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_3"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada..!"
    pause 7500
    in3=in3+1
  else
    LCDOUT $FE, 1
    goto cuatro
  endif
endif
cuatro:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portc.3 = 0 then
  in4=0
  goto cinco
ELSE
  if in4=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_4"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada..!"
    pause 7500
    in4=in4+1
  else
    LCDOUT $FE, 1

```



```

        goto cinco
    endif
endif
cinco:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portd.0 = 0 then
    in5=0
    goto seis
ELSE
    if in5=0 then
        PAUSE 200
        LCDOUT $FE, 1
        LCDOUT $FE, 1, "Entrada_5"
        LCDOUT $FE, $C0, "Activada..!"
        pause 7500
        in5=in5+1
    else
        LCDOUT $FE, 1
        goto seis
    endif
endif
seis:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portd.1 = 0 then
    in6=0
    goto siete
ELSE
    if in6=0 then
        PAUSE 200
        LCDOUT $FE, 1
        LCDOUT $FE, 1, "Entrada_6"
        LCDOUT $FE, $C0, "Activada..!"
        pause 7500
        in6=in6+1
    else
        LCDOUT $FE, 1
        goto siete
    endif
endif
siete:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portd.2 = 0 then
    in7=0
    goto ocho
ELSE
    if in7=0 then
        PAUSE 200
        LCDOUT $FE, 1
        LCDOUT $FE, 1, "Entrada_7"

```

```

        LCDOUT $FE, $C0, "Activada.!!"
        pause 7500
        in7=in7+1
    else
        LCDOUT $FE, 1
        goto ocho
    endif
endif
ocho:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portd.3 = 0 then
    in8=0
    goto nueve
ELSE
    if in8=0 then
        PAUSE 200
        LCDOUT $FE, 1
        LCDOUT $FE, 1, "Entrada_8"
        LCDOUT $FE, $C0, "Activada.!!"
        pause 7500
        in8=in8+1
    else
        LCDOUT $FE, 1
        goto nueve
    endif
endif
nueve:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portc.4 = 0 then
    in9=0
    goto diez
ELSE
    if in9=0 then
        PAUSE 200
        LCDOUT $FE, 1
        LCDOUT $FE, 1, "Entrada_9"
        LCDOUT $FE, $C0, "Activada.!!"
        pause 7500
        in9=in9+1
    else
        LCDOUT $FE, 1
        goto diez
    endif
endif
diez:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portc.5 = 0 then
    in10=0
    goto dig1

```

```

ELSE
  if in10=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_10"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada!!"
    pause 7500
    in10=in10+1
  else
    LCDOUT $FE, 1
    goto dig1
  endif
endif
dig1:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portc.6 = 0 then
  in11=0
  goto dig2
ELSE
  if in11=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_Dig_1"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada!!"
    pause 7500
    in11=in11+1
  else
    LCDOUT $FE, 1
    goto dig2
  endif
endif
dig2:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portc.7 = 0 then
  in12=0
  goto dig3
ELSE
  if in12=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_Dig_2"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada!!"
    pause 7500
    in12=in12+1
  else
    LCDOUT $FE, 1
    goto dig3
  endif
endif
dig3:
LCDOUT $FE, 1

```

```

LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portd.4 = 0 then
  in13=0
  goto dig4
ELSE
  if in13=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_Dig._3"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada.!!"
    pause 7500
    in13=in13+1
  else
    LCDOUT $FE, 1
    goto dig4
  endif
endif
dig4:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portd.5 = 0 then
  in14=0
  goto dig5
ELSE
  if in14=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_Dig._4"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada.!!"
    pause 7500
    in14=in14+1
  else
    LCDOUT $FE, 1
    goto dig5
  endif
endif
dig5:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portd.6 = 0 then
  in15=0
  goto anem
ELSE
  if in15=0 then
    PAUSE 200
    LCDOUT $FE, 1
    LCDOUT $FE, 1, "Entrada_Dig._5"
    LCDOUT $FE, $C0, "Activada.!!"
    pause 7500
    in15=in15+1
  else
    LCDOUT $FE, 1

```

```

        goto anem
    endif
endif
anem:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portd.7 = 0 then
    in16=0
    goto SDI
ELSE
    if in16=0 then
        PAUSE 200
        LCDOUT $FE, 1
        LCDOUT $FE, 1, "In. _Anemometro"
        LCDOUT $FE, $C0, "Activada..!"
        pause 7500
        in16=in16+1
    else
        LCDOUT $FE, 1
        goto SDI
    endif
endif
SDI:
LCDOUT $FE, 1
LCDOUT $FE, 1, "TRANSMITIENDO..!"
pause 30
IF portb.0 = 0 then
    in17=0
    goto salida
ELSE
    if in17=0 then
        PAUSE 200
        LCDOUT $FE, 1
        LCDOUT $FE, 1, "Entrada_SDI-12"
        LCDOUT $FE, $C0, "Activada..!"
        pause 7500
        in17=in17+1
    else
        LCDOUT $FE, 1
        goto salida
    endif
endif
salida:
goto uno
END
%
```



Anexo D. Manual de usuario del registrador de datos universal

Previo al encendido del registrador y del Pc es necesario cumplir ciertos requerimientos para el óptimo funcionamiento de los dispositivos.

- Conexión de los cables de alimentación y de los dispositivos incluidos en el registrador de datos;
- Conexión del cable de transmisión de datos (Ethernet); - Figura D.1 y



Figura D.1: Conexión de cables de alimentación y comunicación

- Encendido del computador.

D.1. Encendido del registrador de datos universal

El registrador de datos universal está dotado de un switch de encendido principal mostrado en la Figura D.2, el cual, es el encargado de energizar a la tarjeta sb-RIO.



Figura D.2: Botón de encendido del registrador de datos universal

En la parte superior del registrador universal se encuentra un LCD mostrado en la Figura D.3, el cual, se encenderá y mostrará el estado de encendido y de funcionamiento del dispositivo.

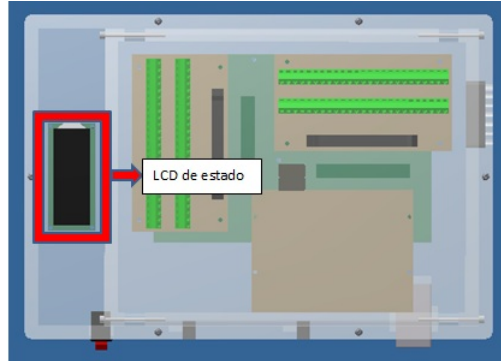


Figura D.3: LCD de información del estado del registrador de datos universal

Cuando el LCD se encuentre desplegando la información del porcentaje de carga del registrador de datos, ejecutar el archivo (. exe) que es el programa de control desarrollado, en la Figura D.4 se indica el ícono del programa ejecutable.

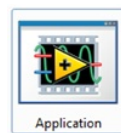


Figura D.4: Archivo ejecutable del programa de control

A continuación se desplegará la ventana principal de la interfaz gráfica del programa de control del registrador de datos universal como indica la Figura D.5, donde, se presenta la ventana de ingreso de parámetros de inicio para el archivo de registro, que consta de, el nombre, cargo del usuario y la opción de colocar calibración o por defecto prueba.



Figura D.5: Ingreso de parámetros para el archivo de registro de datos

D.2. Entradas analógicas

Al dar OK en la ventana de parámetros de inicio, se presenta la pantalla principal con las entradas disponibles a ser utilizadas para sensores con salida de voltaje, como se indica en la Figura D.6.



Figura D.6: Entradas para sensores con salida de voltaje

Al ubicarse en la entrada a utilizar, se tiene, una ventana similar a la de la Figura D.7, donde, se presenta la pestaña de selección de sensores disponibles, el cuadro de serie del sensor seleccionado (campo disponible para ser llenado), el botón de habilitación (el cual debe ser activado después de la selección del sensor), la imagen, ecuación de fábrica, gráfico de respuesta y una ventana con

la medida en magnitud física del sensor seleccionado.

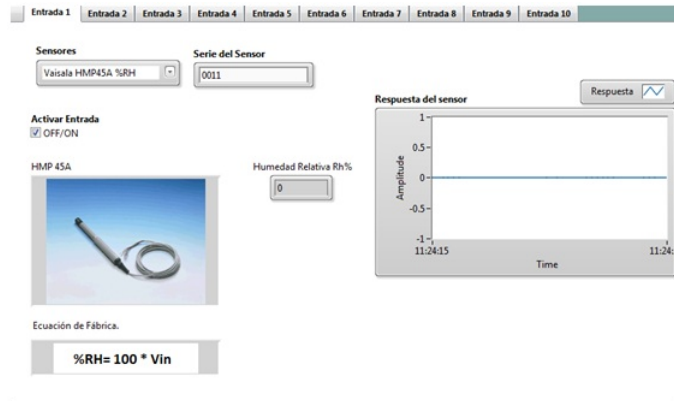


Figura D.7: Ventana de entradas para sensores con salida de voltaje

A continuación se debe plantear la ecuación de respuesta del sensor, esta opción se desplegará al ingresar el valor del orden de la ecuación que se desea ingresar en el menú de **opciones** para poder introducir las constantes de dicha ecuación como se muestra en la Figura D.8.

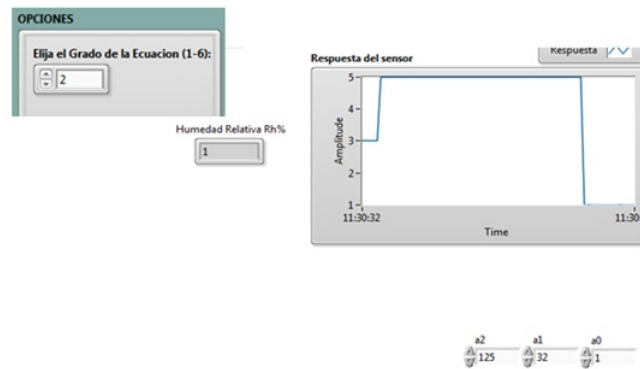


Figura D.8: Ingreso del orden de la ecuación de respuesta de los sensores

Desde ese instante, la entrada seleccionada comenzara a responder y reconocer los cambios a los cuales el sensor conectado al registrador esté siendo

expuesto.

Para facilitar al usuario el uso del registrador de datos universal se ha incluido una ventana de ayuda que contiene las características técnicas de cada sensor, disposición de cables, etc. Esta opción se encuentra en el menú **Ayuda**, el cual, desplegará una ventana similar a la de la Figura D.9 con la información antes descrita.

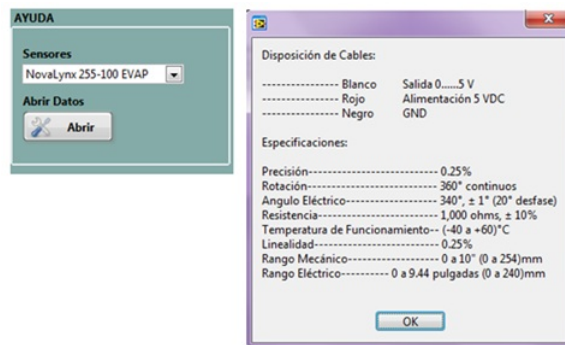


Figura D.9: Ventana con especificaciones técnicas de sensores

Una de las características del registrador universal de datos es la posibilidad de crear un archivo de registro de medidas en Excel, el cual, se encuentra en la opción **Registro** como se indica en la Figura D.10, formado por tres opciones detalladas a continuación:

- **Tiempo de muestreo.-** Permite al usuario introducir el intervalo de tiempo entre la toma de una muestra y la siguiente, este tiempo puede ser ente 2 a 59 segundos..
- **Insertar datos en archivo.-** Este botón se debe presionar luego de activar y seleccionar las entradas y sensores a ser utilizados ya que, in-

introduce automáticamente en el archivo de Excel el nombre de dichos sensores y entradas.

- **Adquisición.-** Al presionar este botón inicia la toma de medidas hacia el archivo de Excel.



Figura D.10: Registro de medidas en Excel

El archivo en Excel se genera presionando el botón **Abrir archivo Excel** mostrado en la Figura D.11, mientras que, en la Figura D.12 se indica el archivo generado activado tres entradas analógicas y llenando los parámetros de inicio.

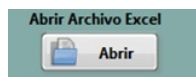


Figura D.11: Botón de apertura del archivo de registro en Excel

En el archivo junto con las mediciones adquiridas se tiene la fecha y hora de dichas adquisiciones con el siguiente formato: día/mes/año h:m:sg.:usg

	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1	Nombre:	Fabian Lalaleo S.									
2	Cargo:	Tecnista									
3	Proceso:	Pruebas									
4											
5											
6											
7		Vin (V)	Vaisala HMP45A %RH. CP897	Vin (V)	PTB101C (hPa)	CT563	Vin (V)	Met One 063-1 (°C)	CT423	Vin (V)	No Habilit
8		0	0	0	0	900	0	789	0		
9	02/10/2012 15:17:26:01	0	0	0	0	900	0	789	0		
10	02/10/2012 15:18:58:00	0	0	0	0	900	0	789	0		
11	02/10/2012 15:19:00:04	0	0	0	0	900	0	789	0		
12	02/10/2012 15:19:02:02	0	0	0	0	900	0	789	0		
13	02/10/2012 15:19:04:03	0	0	0	0	900	0	789	0		
14	02/10/2012 15:19:06:01	0	0	0	0	900	0	789	0		

Figura D.12: Archivo de registro en Excel

D.3. Entradas digitales

Para el uso de entradas digitales se tiene un botón en la ventana principal en **Opciones** como se indica en la Figura D.13, el cual, al presionarlo abre una nueva ventana donde se encuentran las entradas digitales y de igual forma que en las entradas analógicas pide llenar los parámetros de inicio para el archivo de registro, siendo estos, nombre, cargo de usuario y la opción de calibración o por defecto prueba como se indica en la Figura D.14.



Figura D.13: Ingreso a entradas digitales

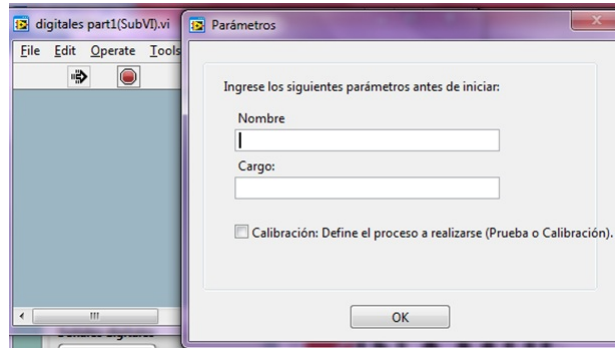


Figura D.14: Ventana inicial de entradas digitales

Al dar OK en la ventana de parámetros de inicio, se presenta la pantalla principal con los sensores que utilizan entradas digitales (anemómetros y pluviómetros), como se indica en la Figura D.15.



Figura D.15: Pestaña de sensores con salidas digitales

Al ubicarse en **Anemómetros**, se presenta, una pestaña de entrada, que, al ser seleccionada despliega una ventana similar a la de la Figura D.16, donde, se presenta un menú de selección de sensores disponibles, el cuadro de serie del sensor seleccionado (campo disponible para ser llenado), el botón de habilitación (el cual debe ser activado después de la selección del sensor), la imagen del sensor seleccionado, una brújula la cual indicará la dirección de viento y dos indicadores numéricos para mostrar la velocidad y dirección de viento.



Figura D.16: Ventana de anemómetros

Mientras que si se ubica en **Pluviómetros**, se tiene, cinco entradas digitales para ser utilizadas, al seleccionar alguna de ellas se despliega una ventana similar a la de la Figura D.17, donde, se presenta la pestaña de selección de sensores disponibles, el cuadro de serie del sensor seleccionado (campo disponible para ser llenado), el botón de habilitación (el cual debe ser activado después de la selección del sensor), la imagen del sensor seleccionado, dos indicadores numéricos para mostrar el número de basculaciones y los milímetros de precipitación, un botón para resetear los indicadores numéricos.

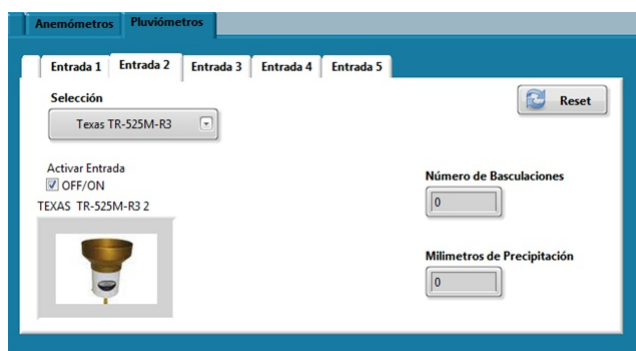


Figura D.17: Ventana de pluviómetros

De igual forma existe la venta de ayuda con especificaciones técnicas de los

sensores, la opción para crear el archivo de registro en Excel y el botón para abrir dicho archivo como se indica en la Figura D.18 en cuadros rojos , los cuales, se ejecutan con pasos similares al de las entradas de voltaje.

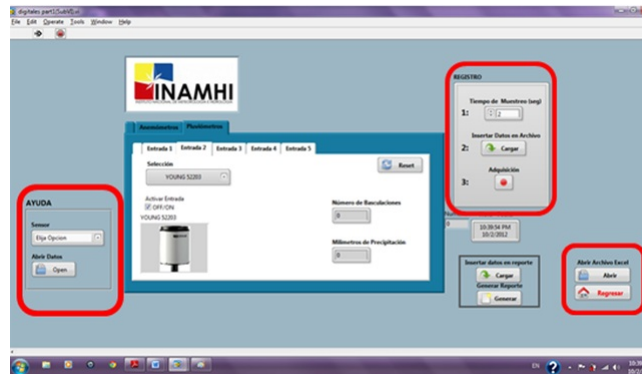


Figura D.18: Ayuda, registro y apertura del registro para entradas digitales

Adicional el programa genera un reporte en Word del estado del sensor, para lo cual, existe dos botones como indica la Figura D.19, el primero **Insertar datos en reporte** carga automáticamente los datos del sensor en una tabla que posteriormente será presentada en el reporte, mientras que, el segundo **Generar reporte** despliega una ventana con los siguientes campos para completar el formato del reporte.

- Número de reporte;
- Código de procedimientos;
- Parámetro calibrado;
- Fecha de calibración;
- Temperatura;
- Humedad relativa;

- Presión atmosférica; y
- Descripción del método utilizado



Figura D.19: Botones para generar reporte de sensores

Al presionar el botón **Regresar** este VI se cerrará pidiendo la ubicación y el nombre con el que se desea guardar el reporte en Word como se indica en la Figura D.20, luego se abrirá el **VI General** nuevamente.

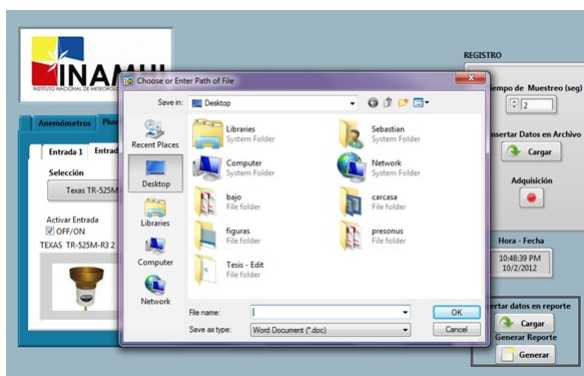


Figura D.20: Ventana para guardar el reporte de sensores

D.4. Entrada SDI-12

El registrador de datos universal tiene la capacidad de acoplar sensores con protocolo de transferencia de datos SDI-12, el software principal cuenta con un

botón de acceso para el programa de control para sensores SDI-12 mostrado en la Figura D.21.



Figura D.21: Ingreso a entradas SDI-12

Al dar Clic en el botón SDI-12, se despliega una nueva ventana similar a la de la Figura D.22, la cual, es el programa para sensores con el protocolo de transmisión serial.

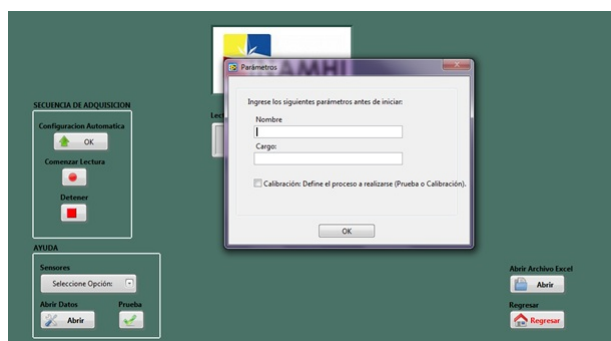


Figura D.22: Ventana principal de entradas SDI-12

Se muestran los parámetros de inicio para ser llenados, que son los campos necesarios para el archivo de registro en Excel del sensor. Al dar **Ok**, se presenta toda la ventana que contiene los visualizadores de los datos transmitidos por los sensores (trama total enviada, datos obtenidos desde la trama principal), los menús de selección y de control del programa como **Secuencia de**

Adquisición, Ayuda y Prueba, Abrir archivo Excel, como se indica en la Figura D.23.

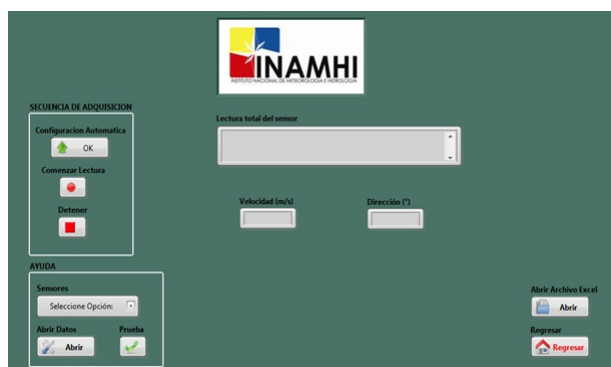


Figura D.23: Interfaz de entradas SDI-12

En la Figura D.24 se indica el menú de **Secuencia de Adquisición** que es el encargado del control y configuración de la adquisición de datos desde el programa.



Figura D.24: Menú de secuencia de adquisición

- El botón **Configuración Automática** se encarga de enviar una secuencia de comandos propios del conversor SDI-12 a RS-232, necesarios para configurar el sensor y el traductor previos a la adquisición de los datos.
- El botón **Comenzar Lectura** envía un comando hacia el sensor, que

activa la transferencia continua de datos desde el sensor hacia el programa. Este botón se queda encendido para indicar que se está transfiriendo datos, para dejar de recolectar datos de manera momentánea es necesario deshabilitar este botón.

- El botón **Detener**, es el que se encarga de enviar un comando de Stop hacia el sensor, el cual suspende la transferencia de datos de manera permanente desde el sensor hacia el registrador.
- Para volver a recolectar datos desde el sensor después de haber presionado el botón **Detener**, es necesario volver a habilitar el botón **Configuración Automática**.

Al igual que en todas las ventanas de este programa de control, la ventana de ayuda se encarga de desplegar información característica acerca de los sensores utilizados como se muestra en la Figura D.25. Una de las características propias de esta ventana de control es el botón **Prueba**, que es para enviar un comando de prueba, que encenderá un Led en el traductor SDI-12 a RS-232 el cual indica el correcto funcionamiento y conexión de este dispositivo.



Figura D.25: Menú de ayuda

Nota: Si al presionar el botón Prueba el led del conversor no titila, se debe reconectar los 12V de alimentación con el programa sdi-12 ejecutado y volver a presionar el botón Prueba.

D.5. Ventana de calibración

La característica principal del registrador de datos universal es la capacidad de analizar el comportamiento de los sensores, desplegar curvas de respuesta, y generar coeficientes de corrección de comportamiento de sensores. A esta ventana se puede acceder desde el programa principal, con el botón **Ventana de Calibración** indicado en la Figura D.26.

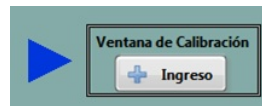


Figura D.26: Ingreso a ventana de calibración

En la Figura D.27 se indica la ventana de calibración que se despliega al presionar el botón de ingreso.

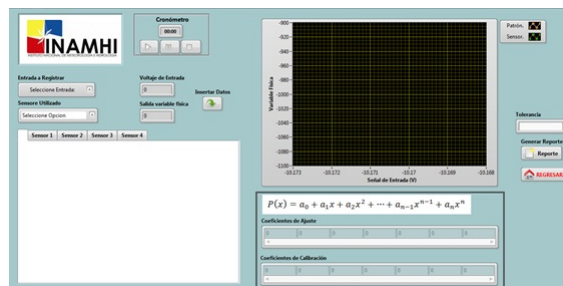


Figura D.27: Ventana principal de calibración

El programa de calibración se encuentra dividido en varias partes que a continuación se detallan

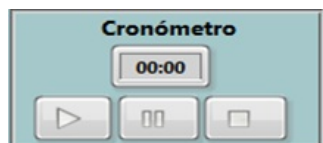


Figura D.28: Cronómetro

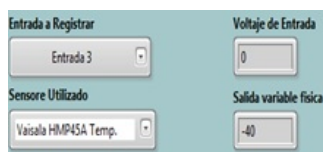


Figura D.29: Menú de opciones

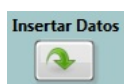


Figura D.30: Botón para insertar datos

La opción de **Cronómetro** mostrada en la Figura D.28 se desarrolló para facilitar la toma de datos, en base a un tiempo establecido, generalmente la toma de datos se realiza cada 30 segundos en el laboratorio del INAMHI.

Para facilitar la toma de datos, se ha incluido menús de opciones que despliegan la **Entrada a registrar** y el **Sensor utilizado** en esa entrada como se indica en la Figura D.29, permitiendo de esta forma mostrar el **Voltaje de entrada** y la **Salida de variable física**.

El botón **Insertar datos** mostrado en la Figura D.30 permite capturar los datos reflejados en los indicadores de Voltaje de entrada y Salida de variable física, e insertarlos en las tablas que son las que servirán para el establecimiento de las curvas de comportamiento y las constantes de los sensores utilizados.

La Figura D.31 muestra las pestañas de selección de sensores, junto con las tablas de valores necesarios para la corrección y generación de constantes, **voltaje** generado, valor del sensor **patrón**, valor del **sensor**, y la **desviación**

entre el valor del sensor patrón y el sensor a calibrar. También muestra el campo **grado del polinomio** de ajuste que es el que se encarga de definir el grado de la ecuación de respuesta del sensor a calibrar.

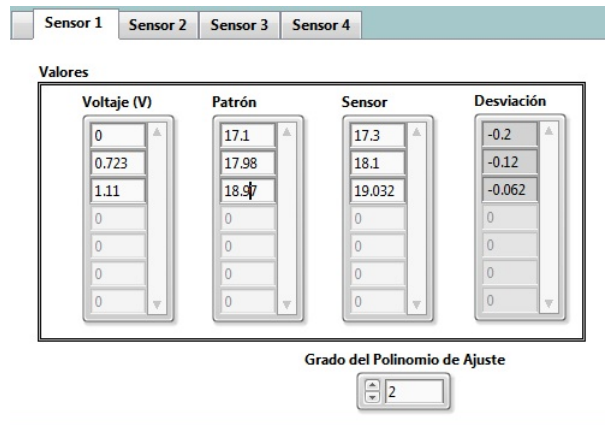


Figura D.31: Ventana con mediciones adquiridas

La Figura D.32 muestra la ventana gráfica que presenta las siguientes respuestas:

- sensor vs voltaje de entrada (blanco); y
- patrón vs voltaje de entrada (rojo)

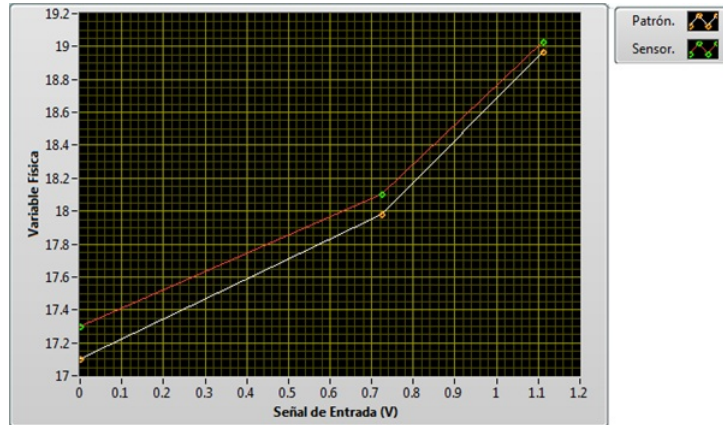


Figura D.32: Ventana de respuesta gáfica del sensor patrón y sensor a calibrar

La Figura D.33 muestra el polinomio de salida en base a los valores ingresados en las tablas, según la figura desplegada y el **grado del polinomio de ajuste** ingresado previamente. La orientación de los coeficientes va desde el menos significativo hasta el más significativo.

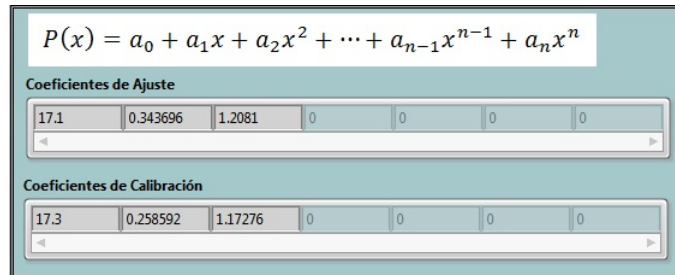


Figura D.33: Polinomio de ajuste del sensor

En la Figura D.34 se indica el menú de generación de reporte en Word para el cual se debe llenar el parámetro **Tolerancia** mediante el promedio de las desviaciones obtenidas, luego, presionar el botón **Generar reporte** para desplegar los parámetros faltantes para completar el reporte (parámetros

similares al reporte de entradas digitales).

Con el botón **Regresar** se cierra la ventana de calibración y se retorna al VI General.



Figura D.34: Menú de generación de reporte

D.6. Pines en las borneras

El registrador universal de datos cuenta con una bornera para sensores con salida analógica y una para sensores con salida digital, en las siguientes tablas se indica la distribución de pines de las mismas.

D.6.1. Bornera para sensores con salida analógica

Tabla D.1: Pines en la bornera para sensores con salida analógica

Entradas	Pines
Entrada 1	Pin 2
Entrada 2	Pin 5
Entrada 3	Pin 7
Entrada 4	Pin 10
Entrada 5	Pin 12
Entrada 6	Pin 15
Entrada 7	Pin 17
Entrada 8	Pin 20
Entrada 9	Pin 3
Entrada 10	Pin 4
Dirección 1 Vaisala	Pin 24
Dirección 2 Vaisala	Pin 28
Dirección Met One	Pin 33
Gnd Analógica	Pin 1, Pin11, Pin 16, Pin21, Pin26, Pin 31, Pin 36, Pin50

D.6.2. Bornera para sensores con salida digital

Tabla D.2: Pines en la bornera para sensores con salida digital

Entradas	Pines
Pluviómetro 1	Pin 3
Pluviómetro 2	Pin 5
Pluviómetro 3	Pin 7
Pluviómetro 4	Pin 9
Pluviómetro 5	Pin 11
Entrada velocidad Vaisala	Pin 23
Entrada velocidad Met One	Pin 25
Gnd digitales	Pin 1, Pin 8, Pin 12, Pin 14, Pin 16, Pin 18, Pin 20

D.7. Distribución de la placa electrónica

En la Figura D.35 se indica la distribución de la placa diseñada para el acondicionamiento de la señal de salida de pluviómetros, anemómetros, sensor de temperatura MET ONE 063-1, borneras para sensores sdi-12 y fuentes de 5V y 12V.

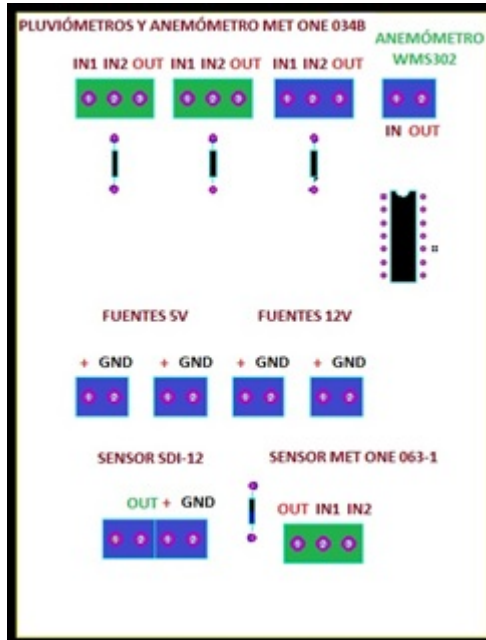


Figura D.35: Distribución de placa electrónica para acondicionamientos de señal de salida de sensores

E

Anexo E. Formato de los reportes de ajuste de sensores

A continuación se indica los reportes de ajuste de sensores generados en Word para sensores con salida analógica y digital respectivamente.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

1. INFORMACION DEL CLIENTE

Número de pedido:
Cliente:
Dirección:
Teléfono:
Correo Electrónico:

2. IDENTIFICACION DEL REPORTE

Número de Reporte:
Código de Procedimiento:
Parámetro calibrado:
Fecha de Calibración:

3. EQUIPO DE REFERENCIA

Instrumento:
Modelo:
Numero de serie:
Fecha de calibración:

6. DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO

4. CONDICIONES DE LABORATORIO

Temperatura:
Humedad relativa:
Presión Atmosférica:

5. EQUIPO BAJO PRUEBA

Instrumento:
Modelo:
Numero de serie:
Fabricante:
Resolución:
Examinación física:

7. RESULTADOS

Voltaje Sensor (V)	Valor Patrón	Valor Sensor	Desviación	Incertidumbre
--------------------	--------------	--------------	------------	---------------

8. COEFICIENTES OBTENIDOS

Formato de salida de ecuación:

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1} + a_nx^n$$

Orden

Coefficientes de ajuste

Coefficientes de calibración:

a0
a1
a2
a3
a4
a5
a6

9. RESULTADOS DE AJUSTE Y RECALIBRACION

Tolerancia:

Como se encontró:

Como se dejó:

Ajuste Realizado:

Ajuste Requerido:

Fecha sugerida para la próxima calibración:

10. COMENTARIOS Y/O SUGERENCIAS

Comentarios:

Llevado a cabo por:

Autorizado por:

CERTIFICADO DE CALIBRACION

1. INFORMACION DEL CLIENTE

Número de pedido:
Cliente:
Dirección:
Teléfono:
Correo Electrónico:

2. IDENTIFICACION DEL REPORTE

Número de reporte:
Código de procedimiento:
Parámetro calibrado:
Fecha de calibración:

3. EQUIPO DE REFERENCIA

Instrumento:
Modelo:
Numero de serie:
Fecha de calibración:

4. CONDICIONES DE LABORATORIO

Temperatura:
Humedad relativa:
Presión atmosférica:

5. EQUIPO BAJO PRUEBA

Instrumento:
Modelo:
Numero de serie:
Fabricante:
Resolución:
Examinación física:

6. DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO

7. RESULTADOS

Punto/Unidades	Referencia (mm)	Observados (mm)	Corrección	Incertidumbre
----------------	-----------------	-----------------	------------	---------------

--	--	--	--	--

--	--	--	--	--

8. RESULTADOS DE AJUSTE Y RECALIBRACION

Tolerancia:
Como se encontró:
Como se dejó:
Ajuste realizado:
Ajuste requerido:
Fecha sugerida para la próxima calibración:

9. COMENTARIOS Y/O SUGERENCIAS

Comentarios:

Llevado a cabo por:

Autorizado por:

F

Anexo F. Diagramas de bloques de programación



Anexo G. Características Técnicas

A continuación se indica las características técnicas del conversor Vegetronix SDI-12 a RS-232 y del PIC 16F877A.

Vegetronix SDI-12 to RS232 Translator

Quickly turn your PC or modem into a SDI-12 compliant data logger, with the Vegetronix SDI-12 RS232 translator board.

The translator will connect to your PC or modem through a RS232 interface, and allow you to communicate with SDI-12 compliant sensors with simple serial commands.

You can use any serial port communication program such as the HyperTerminal program which is installed on all Windows platforms, to communicate with the device through a command line interface. You can also write your own software programs to communicate with the translator board, and merely need to target a serial port.

The translator allows you to pass through standard SDI-12 commands, or you can set up the on-board scheduler, and it will retrieve data at specified intervals.



SDI-12 to RS232 Translator

Applications

- Ultra-fast prototyping of SDI-12 sensor networks.
- Replacement of expensive data loggers.
- Environmental/Weather monitoring.
- Control and monitoring of irrigation systems.
- SDI-12 testing of sensors.
- Remote SDI-12 monitoring of sensors through a modem.
- Wireless access of SD-12 Sensors.

Features

- Affordable.
- Fully SDI-12 compliant.
- Sends SDI-12 commands and passes back the responses.
- Uses standard RS232 12V voltage levels (not TTL voltage levels).
- Low power.
- Can be used with any serial communication program.
- Command line interface.
- Can interface with up to 62 SDI-12 sensors.
- 4 mounting holes in each corner.

Specifications

Power consumption	< 50mA
Supply Voltage	6V to 40 VDC.
Dimensions	1.5in x 2.0in
Supported number of sensor	62

Wiring Table

Terminal Block TB1 (SDI-12 INTERFACE)	
Pin	Description
1	GROUND
2	SDI-12 Bus
Terminal Block TB2 (INPUT POWER INTERFACE)	
1	GROUND
2	+V in (6 to 40VDC)

Commands

Open HyperTerminal - Normally under Start/Programs/Accessories/Communications in Windows.

Set up the session for the appropriate comm port. Set the comm port setting to: 9600 baud, 8-N-1. The easiest way to figure out, which comm port number the board is being references as, is to plug it in and look at the list, then remove it and see which comm port disappears from the list.

You can setup the board to act as a data logger and to sample the various sensors at periodic times, by using the "ADD" command, or you can use the transparent mode, and send the sensors any SDI-12 text string that you desire. "<CR>" as used below means carriage return with no line feed. Some communication software programs have an option to automatically send a line feed with the carriage return. Make sure this feature is disabled.

Command	Description
H	Help - Lists all of the available commands
ADD [sensor number (0-9)]:[Measurement number], [sample period (in seconds, 0 for no sampling)],[use CRC (1:true/0:false)], [Type (0:Normal,1:Concurrent,2:Continuous)]<CR>	Add a sensor/measurement number to the scheduler which periodically goes out and samples the specified sensor and measurement. You can specify sample period, and type, and if you want to use CRC. Example: ADD 0:0,120,0,0<CR> - sensor 1 is sampled every 2 minutes without CRC.
DEL [sensor number (0-9)]:[Measurement number]<CR>	Remove a sensor/measurement from the scheduler.
START<CR>	Turn on the scheduler and begin sampling for each sensor/measurement added using the ADD command.
STOP<CR>	Turn off the scheduler and stop sampling.

QUERY [sensor address (0-9)]:[Measurement number]<CR>	Returns the information specified by a particular ADD commands, and SDI ID string.
V<CR> -	Returns the version Number of the SDI RS232 Translator.(Current Version: V2.6)
READ [sensor address (0-9)]:[Measurement number]<CR>	Perform immediate measurement.
TRANS [String]<CR>	Transparently sends a string to SDI bus.
DATA [sensor number (0-9)]:[Measurement number]<SDI values>	Response from logger to measurements.



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A • PIC16F876A
- PIC16F874A • PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during Sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™
(Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference
(V_{REF}) module
 - Programmable input multiplexing from device
inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM
technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2