



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE
AUTOMATIZACIÓN**

TEMA

**Implementación de un prototipo para el monitoreo de las condiciones del
ambiente de trabajo**

Proyecto de trabajo de graduación modalidad TEMI Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas de control automatizados e instrumentación virtual para procesos industriales de baja y alta potencia.

AUTOR: Cristian Raúl Sarsoza Tapia

TUTOR: Ing. Patricio Encalada.

AMBATO – ECUADOR

Enero 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO DE LAS CONDICIONES DEL AMBIENTE DE TRABAJO” del señor Cristian Raúl Sarsoza Tapia, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe de investigación reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para obtener el título terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Enero, 2015

El Tutor

Ing. Patricio Germán Encalada.

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO DE LAS CONDICIONES DEL AMBIENTE DE TRABAJO” es absolutamente original, auténtico y personal en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicas que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato Enero, 2015

Cristian Raúl Sarsoza Tapia

CC: 172185899-9

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. César Rosero Mg. e Ing. Santiago Aldás Mg., revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO DE LAS CONDICIONES DEL AMBIENTE DE TRABAJO” presentado por el señor Cristian Raúl Sarsoza Tapia de la Carrera Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Vicente Morales L., Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Santiago Aldás Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. César Rosero Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

Salmos 83:18 "Para que la gente sepa que tú, cuyo nombre es Jehová, tu solo eres el altísimo sobre toda la tierra. "

Mis padres: Raúl y Mónica por darme fuerzas y ánimo día tras día para fijar mi meta como algo real.

Mis hermanas: Gissela y Paulina por estar presentes, contagiarme con su alegría y estímulo para cumplir con mi objetivo.

Mis familiares por mostrar un interés desinteresado y así ser fuente de apoyo.

Cristian

AGRADECIMIENTOS

Al Rey Soberano Jehová nuestro magnífico instructor por brindarme el don de la vida y sobretodo darme conocimiento.

Mis padres cuyas normas con las cuales me criaron me sirvieron de gran utilidad para enfrentarme a los problemas que me sobrevengan.

Mis hermanas por la alegría que irradian sus rostros.

Al Ing. Patricio Encalado por encaminarme de una manera adecuada en el transcurso de este proyecto.

A la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial por darme los conocimientos necesarios.

A la Unidad Operativa DIDE por darme la oportunidad de realizar este proyecto.

PAGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xxi
ACRÓNIMOS	xxii
INTRODUCCIÓN	xxiii

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Delimitación del problema	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivo específicos	4

CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEORICO	5
2.1 Antecedentes investigativos	5
2.2 Fundamentación teórica.....	6
2.2.1 El ambiente de trabajo	6
2.2.2 Instrumentos para medición de factores medioambientales	10
2.2.3 Sensores	14
2.2.4 Interfaces y comunicaciones integradas	23
2.2.5 Acondicionamiento de señales	24
2.2.6 Adquisición de datos mediante labview	26
2.2.7 Single board RIO	29
2.2.8 FPGAs	31
2.2.9 Ambiente de programación en LabVIEW	34
2.3 Propuesta de solución	39
CAPÍTULO III.....	40
METODOLOGÍA	40
3.1 Modalidad de la investigación.....	40
3.1.2 Bibliográfica – documental	40
3.1.3 Investigación experimental.....	40
3.2 Población y muestra	40
3.3 Recolección de información	41
3.4 Procesamiento y análisis.....	41
3.5 Desarrollo del proyecto	41
CAPÍTULO IV	42
DESARROLLO DE LA PROPUESTA	42

4.1 Búsqueda de sensores para medir variables como: temperatura del aire, humedad relativa, iluminación, ruido, gas metano, monóxido de carbono, gas licuado de petróleo y alcohol.....	42
4.1.1 Sensor de temperatura	42
4.1.2 Sensor de humedad relativa.....	43
4.1.3 Sensor de iluminación	43
4.1.4 Sensor acústico	44
4.1.5 Sensor de gas metano	44
4.1.6 Sensor de monóxido de carbono.....	45
4.1.7 Sensor de GLP.....	45
4.1.8 Sensor de alcohol.....	46
4.2 Comparación de los sensores.....	46
4.2.1 Comparación sensores de temperatura	46
4.2.2 Comparación sensores de humedad relativa.....	46
4.2.3 Comparación sensores de iluminación	47
4.2.4 Comparación sensores acústicos	47
4.2.5 Comparación sensores de gas metano	48
4.2.6 Comparación sensores de monóxido de carbono	48
4.2.7 Comparación sensores de GLP.....	48
4.2.8 Comparación sensores de alcohol	49
4.3 Selección de los sensores para medir las variables ambientales	49
4.3.1 Selección sensor de temperatura ambiental.....	49
4.3.2 Selección sensor de humedad relativa	49
4.3.3 Selección sensor de iluminación	49
4.3.4 Selección sensor acústico	50
4.3.5 Selección sensor de gas metano	50

4.3.6 Selección sensor de monóxido de carbono.....	50
4.3.7 Selección sensor de GLP	50
4.3.8 Selección sensor de alcohol.....	50
4.4 Revisión de las normas ambientales y de seguridad industrial vigentes en el Ecuador.....	51
4.4.1 Constitución política del Ecuador	51
4.4.2 Tratados y convenios internacionales.....	52
4.4.3 Leyes orgánicas y ordinarias	52
4.4.4 Decretos del gobierno.....	54
4.5 Revisión de la hoja de datos de la tarjeta FPGA.	56
4.6 Acondicionamiento de señal de sensores	58
4.6.1 Acondicionamiento sensor de temperatura	58
4.6.2 Acondicionamiento sensor de humedad.....	60
4.6.3 Acondicionamiento del sensor de iluminación.....	61
4.6.4 Acondicionamiento del sensor acústico.	63
4.6.5 Acondicionamiento sensor de gas metano	64
4.6.6 Acondicionamiento sensor de monóxido de carbono.....	67
4.6.7 Acondicionamiento sensor GLP.....	71
4.6.8 Acondicionamiento sensor de alcohol.....	74
4.7 Construcción de la placa de circuito impreso (PCB) para los sensores.	77
4.7.1 Placa LCD	77
4.7.2 Placa para acondicionamiento de sensores.....	77
4.7.3 Placa de sensores	78
4.8 Construcción de un soporte para el alojamiento de sensores y tarjeta sb-RIO .	80
4.9 Programación gráfica con labVIEW.	80
4.9.1 Programación del VI en la FPGA.....	80

4.9.2 Programación de un VI en RT.....	84
4.9.3 Creación de una aplicación stand alone.....	98
4.10 Pruebas de funcionamiento.....	99
4.11 Cotización del prototipo.	100
4.12 Integración de los resultados de la investigación en el proyecto DIDE.	100
CAPÍTULO V	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
5.1 Conclusiones.....	101
5.2 Recomendaciones	102
Referencias.....	104
Anexos	110
Anexo1: Descripción de los pines digitales del conector P2.....	110
Anexo2: Descripción de los pines digitales del conector P3.....	111
Anexo3: Descripción de los pines digitales del conector P4.....	112
Anexo4: Descripción de los pines digitales del conector P5.....	113
Anexo5: Descripción de los pines analógicos del conector J7.....	114
Anexo6: Hoja de datos del sensor LM35	115
Anexo7: Hoja de datos del sensor HU-10S	117
Anexo8: hoja de datos del sensor TSL230 y del módulo MM1616.....	119
Anexo9: Hoja de datos del micrófono 40 PH.....	121
Anexo10: Hoja de datos NI 9234.	122
Anexo11: Hoja de especificaciones del sensor MQ-4.....	125
Anexo12: Hoja de datos del sensor MQ-7.	127
Anexo13: Hoja de datos del sensor MQ-6.	130
Anexo14: Hoja de datos del sensor MQ-3.	132
Anexo15: Esquemático de Eagle para acondicionamiento de sensores.	134

Anexo16: Realización de PCBs.....	135
Anexo17: Planos de conjunto y despiece del prototipo.....	136
Anexo18: Ensamble del prototipo.....	143
Anexo19: Reporte técnico mediante DIAdem de las variables de ambiente.....	144
Anexo20: Paper de la investigación.....	148
Anexo21: Manual de prácticas.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de iluminación recomendados para algunos tipos de industrias.....	9
Tabla 2 Factores medioambientales e instrumentos de medida.....	10
Tabla 3 Sensores de temperatura ambiental	42
Tabla 4 Sensores de temperatura ambiental	43
Tabla 5 Sensores de iluminación	43
Tabla 6 Sensores acústicos.	44
Tabla 7 Sensores para gas metano.	44
Tabla 8 Sensores de monóxido carbono.	45
Tabla 9 Sensores de GLP.....	45
Tabla 10 Sensores de alcohol.....	46
Tabla 11 Comparación de sensores de temperatura.....	46
Tabla 12 Comparación de sensores de humedad relativa.	47
Tabla 13 Comparación de sensores de iluminación.....	47
Tabla 14 Comparación de sensores acústicos.	47
Tabla 15 Comparación de sensores de gas metano.....	48
Tabla 16 Comparación de sensores de monóxido de carbono.....	48
Tabla 17 Comparación de sensores de GLP.	48
Tabla 18 Comparación de sensores de alcohol.	49
Tabla 19 Artículos relacionados con el ambiente de trabajo	51
Tabla 20 Niveles máximos permisibles de alcohol en personas que conduzcan un vehículo.....	53
Tabla 21 Niveles sonoros en dBA en función del tiempo de exposición.	54
Tabla 22 Niveles de iluminación mínima para ciertos tipos de trabajos	54
Tabla 23 Datos característicos del gas metano según la hoja MSDS	55

Tabla 24 Datos característicos del gas licuado de petróleo según la hoja MSDS	55
Tabla 25 Resumen de los valores máximos permisibles encontrados en la normativa. .	56
Tabla 26 Especificaciones de la tarjeta sb-rio 9631.	56
Tabla 27 Esquema general de la tarjeta FPGA.	58
Tabla 28 valores de la curva característica del sensor %RH vs. Vout.....	61
Tabla 29 Especificaciones del módulo de la serie C NI 9234.	64
Tabla 30 Relación de Rs/Ro vs. PPM.....	65
Tabla 31 Valores de PPM de monóxido de carbono en función de Rs/Ro.....	69
Tabla 32 valores de Rs/Ro en función PPM (GLP).....	72
Tabla 33 valores de Rs/Ro en función mg/L (alcohol).....	74
Tabla 34 Consumo de corriente de dispositivos electrónicos y electromecánicos.	79
Tabla 35 descripción los pines digitales utilizados para el LCD.	83
Tabla 36 Comparación de las mediciones de metano con diferentes Ro.....	93
Tabla 37 Comparación de las mediciones de monoxido de carbono con diferentes Ro.	94
Tabla 38 Comparación de las mediciones de GLP en el ambiente con diferentes valores de Ro.	95
Tabla 39 Comparación de la reacción del sensor ante el encendedor de butano.....	96
Tabla 40 Comparación de las mediciones de alcohol en el ambiente con diferentes valores de Ro.	96
Tabla 41 Comparación de la reacción del sensor ante alcohol.	97
Tabla 42 Descripción del costo total del Prototipo.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Esquema de funcionamiento de un termómetro de mercurio.....	11
Fig. 2 Luminancímetro.	13
Fig. 3 Detector de fuga de gas metano y ciudad (CH) cortesía de NIESSEN-ABB.	13
Fig. 4 Sensores ópticos y símbolos.....	18
Fig. 5 Esquema de los componentes internos del sensor de gas.....	19
Fig. 6 Circuito equivalente del sensor químico.	19
Fig. 7 Curva típica de los sensores de gases.	20
Fig. 8 Partes básicas de un micrófono tipo condensador.....	21
Fig. 9 Esquema de funcionamiento del micrófono piezoeléctrico.....	22
Fig. 10 Curva de respuesta en frecuencia de un micrófono.....	23
Fig. 11 Acondicionamiento de señal de algunos tipos de sensores y señales.....	25
Fig. 12 Amplificación de una señal débil cercana a la fuente para reducir los efectos del ruido.	25
Fig. 13 Esquema general de un canal de entrada analógico.	27
Fig. 14 Muestreo de una señal y frecuencia de muestreo.	27
Fig. 15 Cuantificación de una señal análoga.	28
Fig. 16 Flujo de comunicación entre ordenador y tarjeta de adquisición de datos.....	28
Fig. 17 Partes principales de una tarjeta sb-rio.....	29
Fig. 18 diagrama de conexión entre E/S FPGA y Real time de la tarjeta sb-rio.	30
Fig. 19 Una función programable sencilla.....	32
Fig. 20 Dispositivo con tecnología de enlaces fusible.....	33
Fig. 21 Enlaces de fusibles programados.....	33
Fig. 22 Panel frontal y diagrama de bloques.	35
Fig. 23 Paleta de funciones.....	35

Fig. 24 Paleta de controles.....	36
Fig. 25 a) VI b) Express VI c) función.....	37
Fig. 26 Estructura for loop.....	38
Fig. 27 Estructura while loop.....	38
Fig. 28 Estructura case.....	38
Fig. 29 Pirámide normativa de Kelsen.....	51
Fig. 30 Esquema general de los elementos y conectores que tiene la tarjeta FPGA.	57
Fig. 31 Esquema del sensor LM35	58
Fig. 32 Circuito de amplificación del sensor LM35	59
Fig. 33 Curva característica del sensor con el circuito de acondicionamiento.	60
Fig. 34 Descripción de los pines del sensor HU-10S.	60
Fig. 35 Curva característica del sensor de Humedad relativa vs. Voltaje de salida del sensor.	61
Fig. 36 Descripción de los pines de conexión.	62
Fig. 37 Acondicionamiento de señal sensor de iluminación.	62
Fig. 38 Esquema de conexión del micrófono 40PH.	63
Fig. 39 Diagrama para el acondicionamiento del sensor MQ-4.	64
Fig. 40 Esquema de conexión del sensor.....	65
Fig. 41 Esquema detallado de conexión del sensor	65
Fig. 42 Curva R_s/R_o vs. PPM (CH_4) del sensor MQ-4.....	66
Fig. 43 Esquema de conexión para el sensor MQ-7.	68
Fig. 44 Intervalos de tiempo para el voltaje de calefactor del sensor MQ-7	68
Fig. 45 Circuito para el sensor MQ-7.	69
Fig. 46 Curva característica del sensor PPM (CO) vs. R_s/R_o	70
Fig. 47 Curva del sensor MQ-6 R_s/R_o vs. PPM (GLP).....	72

Fig. 48 Esquema detallado para la conexión del sensor MQ-3.	74
Fig. 49 Curva del sensor MQ-6 Rs/Ro vs. mg/L (alcohol).....	75
Fig. 50 Esquemático del programa Eagle de la placa para el display LCD.....	77
Fig. 51 PCB del Eagle de la placa LCD.	77
Fig. 52 PCB del Eagle de la placa acondicionamiento de sensores.....	78
Fig. 53 Esquemático de Eagle de la placa sensores.	78
Fig. 54 PCB de Eagle de la placa sensores.	79
Fig. 55 Ensamble del prototipo.....	80
Fig. 56 Programación del VI en la FPGA parte1.....	81
Figura 4.57 Subvi estado_LCD.	82
Fig. 58 Programción del VI en la FPGA parte 2.	82
Fig. 59 Panel Frontal del VI realizado en la FPGA.	83
Fig. 60 Programación del VI en el RT parte1	84
Fig. 61 Programación del VI en el RT parte2.....	85
Fig. 62 Función SVL scale voltage to EU	85
Fig. 63 Parámetros para el acondicionamiento de la señal del sensor.....	85
Fig. 64 subVI que transforma voltaje a temperatura en grados centígrados.....	86
Fig. 65 subVI para la linealización a %RH.	86
Fig. 66 subVI para la linealización a %RH.	86
Fig. 67 subVI para la linealización a ppm de metano.....	87
Fig. 68 subVI para la linealización a ppm de monóxido de carbono.....	87
Fig. 69 subVI para la linealización a ppm de GLP.....	87
Fig. 70 subVI para la linealización a g/L de alcohol.	87
Fig. 71 Programación del VI en el RT parte 3.....	88
Fig. 72 Programación del VI en el RT parte 4.....	89

Fig. 73 Programación del VI en el RT parte 5.....	89
Fig. 74 Programación del VI en el RT parte 6.....	90
Fig. 75 Programación del VI en el RT parte 6.....	91
Fig. 76 Factor de calibración Ro de GLP y alcohol.....	92
Fig. 77 Factor de calibración Ro de metano y monóxido.....	92
Fig. 78 Medición de metano en el aire.....	93
Fig. 79 Medición de la presencia de monóxido de carbono en el aire.....	94
Fig. 80 Encendedor de butano.	95
Fig. 81 Alcohol antiséptico.....	97
Fig. 82 Creación de un aplicación en el RT de la tarjeta sb-RIO.	98
Fig. 83 Configuración de las propiedades del la stand alone application.....	98
Fig. 84 Opción para ejecutar la aplicación stand alone cada que se encienda lasb-RIO.....	99
Fig. 85 Recursos de la tarjeta sb-RIO 9631.....	100

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se implementa un sistema embebido en el cual se realiza la adquisición de señales eléctricas que corresponden a las variables del ambiente como: temperatura, humedad, iluminación, ruido, metano, monóxido de carbono, gas licuado de petróleo, alcohol. Se programa una tarjeta sb-RIO mediante el software LabVIEW de National Instruments que además de la adquisición de señales de los sensores, permite visualizar la variable en un display LCD y almacenar datos en la memoria no volátil de la tarjeta para posteriormente realizar un análisis de los datos obtenidos mediante el software DIAdem y así presentar un reporte técnico de las variables monitoreadas del ambiente.

ABSTRACT

In the present investigation is implement an embedded system in which the acquisition of electrical signals corresponding to the variables of the environment such as: temperature, humidity, lighting, noise, methane, carbon monoxide, liquefied petroleum gas, alcohol. A sb-RIO is programmed using the LabVIEW of the National Instruments software, in addition to the acquisition of sensor signals, the card allow to display the variable on a LCD display and store data in non-volatile memory card for later analysis in the DIAdem software and too, present a technical report of the environment variables.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

DBA lento.- Cuando el instrumento mide el nivel de presión sonora con un filtro de ponderación A en respuesta lenta que es en un intervalo de 1 segundo.

DBA rápido.- Cuando el instrumento mide el nivel de presión sonora con un filtro de ponderación A en respuesta rápida que es en un intervalo de 1/8 de segundo.

Gas.- Estado de agregación de la materia en el cual las sustancias no tienen forma ni volumen propio. Toma la forma del recipiente que lo contiene.

Gas ciudad.- El gas ciudad es una composición de hidrógeno e hidrocarburos. Éste se fabrica destilando el petróleo, comúnmente se lo conoce como gas de alumbrado debido a que cuando arde lo hace de una forma muy luminosa.

GLP.- El gas licuado de petróleo es una mezcla de propano y butano que son gases licuados presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo.

Higiene industrial.- Se encarga de prevenir enfermedades profesionales controlando agentes químicos, físicos o biológicos que se encuentran en el medio ambiente de trabajo.

Hoja MSDS.- Es la hoja de datos de seguridad de una sustancia cuyo contenido indica las propiedades de peligrosidad y medidas de seguridad que se debe tener en cuenta al trabajar con la sustancia química.

IEPE.- Es un acrónimo de Integral piezoeléctricos electrónicos que consiste en un amplificador de instrumentación y una fuente de corriente constante.

Sb-RIO.- combina un procesador embebido de bajo consumo y tiempo real un chipset de FPGAs de altas prestaciones.

Sistema embebido.- Es un dispositivo controlado por un procesador, dedicado a realizar una única tarea o serie de ellas

TLV.- Valor límite umbral. Son valores guía desarrollados por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales para facilitar a los higienistas industriales la toma de decisiones de niveles seguros de exposición a diferentes peligros que se encuentra en el lugar de trabajo.

ACRÓNIMOS

ADC.- Analog to Digital Converter.

DMA.- Direct Memory Access.

FIFO.- First In First Out.

FPGA.- Field Programmable Gate Array.

HDL.- Hardware Description Language.

IEEE.- Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

MAX.- Measurement Automation Explorer.

NTP.- Norma Técnica de Prevención.

OIT.- Organización internacional del trabajo.

PCB.- Printed Circuit Board.

RTOS.- Real-Time Operating System.

TDMS.- Technical Data Management Stream.

TED.- Transducer Electronic Datasheet.

TULAS.- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.

VHSIC.- Very High speed Integrated Circuit.

INTRODUCCIÓN

Tras la revolución industrial el aumento de las industrias ha ido en auge y por ende las enfermedades laborales han aparecido, es lo que ha llevado al ser humano a desarrollar instrumentos para medir el nivel de incidencia que el medio industrial ha causado a los trabajadores. El proyecto denominado “Implementación de un prototipo para el monitoreo de las condiciones del ambiente” se realiza con la necesidad de monitorear el ambiente de trabajo y presentar mediante un reporte técnico los niveles que la variable presenta en el medio. La problemática a tratar juntamente con la justificación sobre la importancia de la investigación se describe en el Capítulo I.

En el Capítulo II se muestra el marco teórico que muestra un conocimiento general sobre sensores, sistemas embebidos y el software de programación LabVIEW. No existen investigaciones realizadas de la misma índole pero si se encuentra parcialmente proyectos realizados que monitorean algunas de las variables que se pretenden adquirir. La forma en que en la que se reúne la información necesaria para el proyecto y como se desarrolla éste se detallan en el Capítulo III.

Se realiza un acondicionamiento de los sensores; construcción de una maqueta para el alojamiento de la tarjeta sb-RIO, sensores, placas de circuito impreso; y se realiza un reporte técnico de los datos adquiridos por los sensores lo cual se muestra en el Capítulo IV. Además también se detalla la programación de sistemas embebidos utilizando los toolkits de programación: NI LabVIEW FPGA, NI LabVIEW Real Time.

Muestra de los resultados de la investigación son las conclusiones y las recomendaciones que se especifican en el Capítulo V.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema

Implementación de un prototipo para el monitoreo de las condiciones del ambiente de trabajo.

1.2 Planteamiento del problema

En el planeta la calidad del aire está degradándose poco a poco debido al aprovechamiento desmedido de los recursos naturales en las industrias, éstas han originado evidentes beneficios al crecimiento económico pero al mismo tiempo han provocado la aparición de nuevos riesgos en el ambiente [1], para realizar una acción preventiva es necesario evaluar la cantidad de contaminantes reales que se presentan en el medio ambiente [2]. Las industrias manufactureras utilizan varios químicos para sus procesos los cuales se mezclan con el aire que es la fuente vital de los seres humanos o su proceso mismo genera factores adversos para la salud de las personas. Es más, aportan mucho a la contaminación ambiental la cual es la presencia de uno o más agentes físicos, químicos o biológicos en concentraciones, formas o espacios que puedan resultar nocivos para la salud, la seguridad o el bienestar de los individuos [3] que está acabando con la riqueza biológica del mundo que son problemas aún más graves que el calentamiento global o el derretimiento de la capa de ozono [4].

El elevado crecimiento de las industrias ha generado varias fuentes de empleo en donde los trabajadores realizan las funciones para las cuales fueron contratados pero no siempre se desempeñan en ambientes adecuados, en las fábricas manejan diferentes factores que pueden afectar de alguna manera la salud de las personas que está en función de la salud ambiental de ese entorno. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la salud ambiental es “la que está relacionada con todos los factores físicos, químicos y biológicos

externos de una persona. Es decir, que engloba factores ambientales que podrían incidir en la salud y se basa en la prevención de las enfermedades y en la creación de ambientes propicios para la salud". Los efectos en las personas al estar expuestas en condiciones inapropiadas le provocan una enfermedad profesional la cual se da a largo plazo, a su vez el causante de estos factores negativos tiene que hacerse responsable por los hechos en base a las normativas ambientales, sin embargo dado que las industrias manejan grandes máquinas para la transformación de la materia prima en productos nos solo existen agentes químicos que podrían afectar la calidad del aire también existen agentes físicos como el ruido y las vibraciones que pueden llegar a dañar permanentemente los órganos de los sentidos [5], en ocasiones se utiliza el equipo de protección personal, pero no se puede determinar si el equipo utilizado contrarresta el nivel que existe en el entorno, ya que se tiene diferentes clases de éstos equipos de protección según el nivel de peligro del ambiente que es variable a cada instante. En el Ecuador las normas ambientales últimamente son tomadas muy en cuenta y las empresas están siendo auditadas regularmente por cuestiones ambientales, además existen contaminantes atmosféricos importantes de los cuales se tiene mayor cuidado como el monóxido de carbono el cual es un gas muy letal y a partir del boom del petróleo el consumo de estos derivados aumentó notablemente en el Ecuador [6], se han presentado muchos casos de intoxicación por este gas. [7] Gases peligrosos como éste son los que con regularidad existen en las fábricas por ese motivo existen entidades que se dedican al control de estos contaminantes o aparatos los cuales ayudan a medir los niveles de concentración en el ambiente pero estos son demasiado costosos. [8] Por ese motivo las empresas usualmente proporcionan el equipo de protección personal necesario al trabajador de acuerdo al riesgo que esté presente en el entorno de trabajo pero no se puede garantizar que el equipo de protección este a la altura o elimine totalmente los efectos dañinos que llegaren a producirse por el ambiente peligroso en el cual desempeñe sus actividades. Además en las industrias las variables que se encuentran inmersas en el proceso de producción o las que se dan como resultado de éste, siempre están variando en el tiempo y si se contrata a una empresa para realizar un análisis del ambiente de trabajo para proveer el correcto equipo de protección personal a los trabajadores, al modificar una pequeña parte en el proceso de producción o en el clima , estos parámetros no van a ser correctos y se estaría exponiendo la salud de las personas a contraer enfermedades profesionales.

1.3 Delimitación del problema

Área académica: Electrónica

Línea de investigación: Automatización

Sublínea de investigación: Sistemas de control automatizados e instrumentación virtual para procesos industriales de baja y alta potencia.

Delimitación Espacial: El presente proyecto va enfocado a la implementación de un prototipo para el monitoreo de las condiciones del ambiente de trabajo que se llevará a cabo en la “F.I.S.E.I.”.

Delimitación Temporal: El presente proyecto se desarrolla durante 6 meses, luego de su aprobación por parte del Honorable Consejo Directivo de la FISEI.

1.4 Justificación

Es factible realizar este proyecto ya que la mayoría de los materiales necesarios para su construcción se encuentran disponibles en la FISEI, además es parte de un proyecto de investigación con el DIDE titulado: “Implementación del laboratorio de procesamiento digital de señales para el desarrollo de proyectos de investigación en la carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la FISEI-UTA”. Aprobado por Consejo Universitario con resolución: 0947-CU-P-2012.

Entre los beneficiarios se tiene a los estudiantes de pregrado y docentes que requieran hacer prácticas para medición de los factores ambientales que inciden en el entorno de trabajo ya que por lo general estos equipos son demasiado costosos, de esta manera los estudiantes pueden combinar la práctica con la teoría recibida en clases llegando a una mejor captación y aprehensión de los conocimientos.

Además se cuenta con la biblioteca virtual de la UTA la cual facilita el ingreso a bases de datos internacionales que proporcionan información confiable y útil para la realización de este proyecto.

Es de interés realizar la investigación ya que está relacionada con un factor que es muy importante, medición de los ambientes de trabajo peligrosos para las personas, de esta manera permite realizar una acción correctiva o preventiva para evitar que la salud de las personas sea deteriorada al paso del tiempo o en el peor de los casos la muerte.

Lo característico de este prototipo es la monitorización de variables como: temperatura del aire, humedad relativa, iluminación, ruido, gas metano, monóxido de carbono, gas licuado de petróleo y alcohol. Además en la implementación se realizará con tecnología de alta potencia de procesamiento que agrega al prototipo una característica de tiempo de respuesta más veloz.

1.5 Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Implementar un prototipo para el monitoreo de las condiciones del ambiente de trabajo.

1.5.2. Objetivo específicos

- Seleccionar los sensores para medir variables como: temperatura del aire, humedad relativa, iluminación, ruido, gas metano, monóxido de carbono, gas licuado de petróleo y alcohol.
- Identificar los valores máximos permisibles de las variables a monitorearse, según las normativas ambientales y de seguridad industrial vigentes en el Ecuador.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo con equipos patrones.
- Integrar los resultados de la investigación en el proyecto DIDE titulado, “Implementación del laboratorio de procesamiento digital de señales para el desarrollo de proyectos de investigación en la carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la FISEI-UTA”

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes investigativos

En lo referente a lo propuesto en la justificación del proyecto que el prototipo analice algunas variables, no se encuentran antecedentes de tal característica pero si parcialmente como es el trabajo presentado por Paolucci que construye un analizador de ambientes para un calefón el cual mide varios gases producidos de la combustión incompleta del gas natural como el monóxido de carbono que es uno de los factores contaminantes, visto desde un punto de vista general el calefón al igual que una máquina en una industria sirve para realizar un pequeño proceso y deja contaminantes en el aire en el transcurso de su utilización. Además en el trabajo citado concluye que la falta de información puede llegar a cobrar la vida de las personas. [9]

Maldonado y Vega construyen un módulo para la determinación de los gases contaminantes generados por la combustión del diésel, este módulo mide variables contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno y material particulado, utiliza una interfaz visual bajo el software Labview de National Instruments los autores llegan a la conclusión que al utilizar tecnología de alta gama para el desarrollo de los equipos de medición de los factores contaminantes, tales mediciones son confiables y precisas. [10]

La temperatura también es otro factor que puede afectar el ambiente laboral en industrias manufactureras y es necesario realizar mediciones del entorno, para esto existen termómetros los cuales determinan los valores que dicha variable se presenta en el ambiente, pero la forma en que se monitorea influye mucho en los dispositivos como es el caso del proyecto realizado por Tituaña en el que la monitorización se la realiza

remotamente permitiendo que el módulo se lo puede trasladar a varios lugares y este envíe datos al computador. En este trabajo se utiliza el software Labview debido a su versatilidad y potencialidad y por último concluye que el módulo puede ser implementado para monitorear la temperatura de una estación o proceso, desde diferentes lugares donde se tenga cobertura bluetooth. [11]

El ambiente de trabajo de estar diseñado de tal manera que proporcione confort en el desempeño de las actividades de los trabajadores y la humedad relativa influye en gran parte, el trabajo presentado por Gómez y Fajardo se trata sobre el diseño y construcción de un prototipo para medición y detección de humedad relativa, en este proyecto para corroborar el correcto funcionamiento del prototipo se compara con las mediciones hechas de un termo-higrómetro el cual está certificado para la calibración de equipos de laboratorio. Además realiza una interfaz gráfica en Labview permite visualizar continuamente en el computador la humedad registrada por el prototipo. [12]

En el trabajo de Guagchinga y Guamaní desarrollan un analizador de ambientes para ciertos variables tanto de contaminación ambiental como de contaminación acústica, en el cual la medición se la hace en distintos lugares de Latacunga para medir el ruido que es generado en estos lugares, utiliza tecnología de comunicación Zigbee que es de consumo amigable con el medio ambiente. [13]

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 El ambiente de trabajo

Es un factor esencial en el rendimiento del ser humano; por lo que es indispensable que el hombre no trabaje más allá de los límites máximos de su resistencia y en condiciones ambientales adecuadas.

El trabajador se enfrenta a problemas como: temperatura, humedad, ruido y vibraciones, iluminación y fuerzas de aceleración y desequilibrio, etc. La atención a cada uno de estos aspectos proporciona al directivo estudioso los conocimientos indispensables para trabajar sobre ellos en forma permanente. [14]

Riesgos asociados al ambiente de trabajo

Los trabajadores en el desarrollo de su actividad laboral se encuentran expuestos a riesgos asociados al ambiente de trabajo como:

Exposición a agentes físicos

Se reconocen todos aquellos en los que el ambiente normal cambia, rompiéndose el equilibrio entre el organismo y su medio. Estas situaciones anormales traen como consecuencia repercusiones en la salud. Ejemplos: disminución de la agudeza visual, ceguera, alteraciones del sistema termorregulador del cuerpo, vasodilatación periférica o vasoconstricción, vértigo de Meniere o mal de montaña causado por el enrarecimiento del aire y la disminución de la presión atmosférica; trauma acústico, sorderas profesionales, neurosis por ruidos, etc. [15]

A continuación se analizan en forma detallada los principales agentes físicos:

• Ruido

Se considera al ruido como uno de los riesgos laborales con mayor extensión en el mundo laboral, y es uno de los agentes físicos que da lugar a mayor siniestralidad.

Se define al ruido como todo sonido no deseado por el receptor. Se entiende a su vez por sonido una vibración mecánica que se transmite en forma de ondas desde una fuente vibratoria y que el oído percibe como una sensación objetiva. Estas vibraciones constituyen un conjunto de ondas sonoras, que son de naturaleza puramente mecánica, por lo que cualquier sonido necesita para propagarse en un medio elástico.

La exposición por parte de los trabajadores sobre los límites máximos permisibles tendrá consecuencias sobre:

- Capacidad auditiva.
- Trastornos en el sueño, irritabilidad, cansancio.
- Sistema nervioso.
- El metabolismo.
- El sistema cardiovascular: tensión y frecuencia cardíaca.

- El tono muscular. [16]

- **Ambiente térmico**

En determinadas industrias los trabajadores están expuestos a ambientes térmicos agresivos que pueden causar daños en su salud, por ejemplo: enrojecimiento de la piel, quemaduras, agotamiento por calor, deshidratación, déficit salino, síncope por calor, golpe de calor. Desde el punto de vista térmico las variables que intervienen directamente en las condiciones de trabajo son las siguientes:

- **Temperatura del aire.-** Es aquella que tiene el aire que rodea al trabajador. Es la que marca un termómetro situado en el mismo lugar que ocupa el trabajador
- **Temperatura radiante media.-** Es una variable que tiene por objeto poder cuantificar los intercambios de calor por radiación que tienen lugar entre el trabajador y los objetos situados en la proximidades.
- **Velocidad del aire.-** La velocidad del aire que incide sobre el trabajador influye de forma directa en su situación térmica, favoreciendo el intercambio de calor por convección con el aire que le rodea y la evaporación del sudor.
- **Humedad relativa.-** La humedad relativa está relacionada con la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. [17]

- **Iluminación**

La iluminación correcta del ambiente industrial permite al hombre, en condiciones óptimas de confort visual, realizar su trabajo de manera más segura y productiva, ya que aumenta la visibilidad de los objetos y permite vigilar mejor el espacio utilizado. Por ello debe ser diseñada en el proyecto técnico y mantenido posteriormente por los servicios de mantenimiento de la empresa. La percepción visual tiene lugar cuando de los objetos iluminados o con luz propia parten rayos luminosos que, después de atravesar la córnea y el cristalino donde se refractan, llegan a la retina, ahí se forma la imagen invertida de los objetos mediante que mediante el nervio óptico pasa al cerebro encargado de su interpretación. Las unidades lumínicas que resulta ser más práctica es el lux, ya que es usada para fijar los niveles de iluminación recomendados en las diferentes normas. En la tabla 1 se observa algunos estándares de iluminación recomendados en actividades industriales basados en la norma DIN 5035. [18]

Tabla 1 Niveles de iluminación recomendados para algunos tipos de industrias. [18]

Clase de recinto y actividad	Iluminación lux
Curtidos, tratamiento de pieles	
Trabajos en bodegas y cavas.	120
Raspado, cortado, refinado y batanado de la piel.	250
Guarnecido, respunteado, cosido, pulido, clasificado, prensado, cortado, estampado, fabricación de zapatos.	500
Teñido de pieles.	750
Control, comprobación de colores, exigencias medias en la calidad.	750
Altas exigencias en la calidad.	1.000
Muy altas exigencias en la calidad.	1.500
Industria electrotécnica	
Fabricación de cables y conductores, barnizado, inmersión de bobinas, montaje de grandes máquinas, galvanizado, trabajo de montaje sencillo, bobinados e inducidos con alambre basto.	200
Montaje de teléfonos, pequeños motores, bobinados e inducidos con alambre tipo medio.	500
Montaje de aparatos de precisión, aparatos de radio y televisión, bobinado con alambre fino, fabricación de fusibles, ajuste, control y medida.	1.000
Montaje de piezas de precisión, piezas electrónicas para montaje.	1.500
Piezas subminiatura.	2.000
Industria y manufactura (distintos ramos)	
Cometidos visuales simples, p. ej. forja.	120
Cometidos visuales medios, p. ej. talleres de pintura y tapizado.	250
Cometidos visuales difíciles, p. ej. mosaicos.	500
Cometidos visuales en los que es importante el reconocer los colores, p. ej. teñido de pelo y matizado.	750

Exposición a agentes químicos

Los agentes químicos se asocian con el aire ambiental y se transmiten por este medio a las personas. Además se pueden presentar en forma molecular (gases y vapores) y en forma de aerosoles o agregados moleculares ya sean sólidos o líquidos. Entre los sólidos destacan los polvos y los humos, y entre los líquidos las nieblas. Las sustancias químicas requieren una atención especial para la salud y seguridad de las personas ya que producen efectos adversos. Es de importancia destacar algunas sustancias peligrosas como: explosivas, corrosivas, inflamables, tóxicas y oxidantes.

Los efectos en la salud y en el ambiente de trabajo que las sustancias químicas pueden causar son las siguientes: facilitan la inflamabilidad de productos químicos, favorecen la explosión de productos o agentes químicos, producen alteraciones pulmonares, generan situaciones de asfixia, irritaciones en la piel, afectan al sistema nervioso, alteran órganos del cuerpo humano. [19]

Para realizar mediciones del ambiente ya se han creado aparatos de medida como se observa en la tabla 2 en donde cada variable o factor medioambiental se mide con su respectivo aparato el cual presenta los niveles existentes de la variable en el ambiente que se realice la medición.[20]

Tabla 2 Factores medioambientales e instrumentos de medida. [20]

Factor medioambiental	Aparato de medición
Humedad	Higrómetro
Temperatura	Termómetro
Corrientes de aire	Anemómetro
Temperatura de superficies	Termómetro de contacto
Ruido	Sonómetro
Iluminación	Luxómetro
Calidad del aire:	
— Sensorial	Olfato humano
— Gases (CO, CO ₂ , NO ₂)	Detector de gases
— Partículas respirables	Detector de partículas
— Elementos biológicos	Análisis en laboratorios biológicos
— Compuestos Orgánicos Volátiles	Detector de VOCs

2.2.2 Instrumentos para medición de factores medioambientales

Medición de la humedad

Los instrumentos que tradicionalmente se han utilizado con este propósito son el higrómetro y el psicrómetro. El primero de ellos mide la humedad relativa del aire y el segundo, la temperatura del aire y la temperatura de rocío como parámetros esenciales para calcular de forma indirecta la humedad.

- **Higrómetro.-** Para comprender el sentido físico del funcionamiento del higrómetro se hace referencia a instrumentos que se construyen a lo largo de la historia por ejemplo en 1783 De Saussure usó el cabello humano para medir la humedad del aire y construyó el higrómetro de cabello que, con posteriores mejoras en la materia prima, se usa en las estaciones meteorológica en la actualidad. Su funcionamiento es simple, cuando el aire está seco las células de cabello están juntas unas de otras y cuando el aire está húmedo, los espacios entre las células absorben vapor de agua y el cabello aumenta de grosor y longitud. Este alargamiento del material es que se usa para medir la humedad relativa.

- **Psicrómetros.-** Es un dispositivo de medición de humedad relativa el cual tiene dos transductores de temperatura (termómetros), uno mide la temperatura de bulbo seco y el otro la temperatura de bulbo húmedo y mediante éstos datos calcula la humedad relativa. [21]

Medición de la temperatura del aire

Generalmente los instrumentos más utilizados para medir la temperatura del aire son el termómetro de mercurio y el termómetro digital.

- **Termómetro de mercurio.-** presenta varias ventajas para la construcción de termómetros. A temperatura ambiente se encuentra en estado líquido y se mantiene en aquel estado en una amplia gama de temperaturas: desde los $38.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bajo cero hasta los $357\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre cero. Una de sus principales desventajas se refiere al hecho de que los gases de mercurio son dañinos para la salud. Por esa razón si se llega a romper un termómetro y el mercurio escapa, debemos tomar las debidas precauciones. En ningún caso, empezar a jugar con él. En la figura 1 se observa esquemáticamente el funcionamiento del termómetro de mercurio. [22]

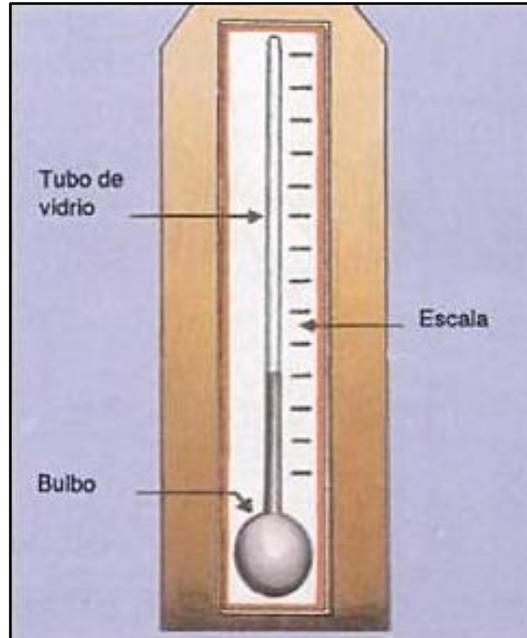


Fig. 1 Esquema de funcionamiento de un termómetro de mercurio. [22]

- **Termómetro digital.-** Contiene un pequeño semiconductor y cuya resistencia a la electricidad varía con la temperatura. Un chip electrónico convierte la resistencia en señales eléctricas que hacen funcionar la pantalla numérica. [23]

Medición de ruido

Para la estimación del ruido se pueden utilizar los siguientes aparatos de medición: el sonómetro y el dosímetro.

- **Sonómetro.-** Es un instrumento diseñado y construido para medir el nivel de presión acústica de los ruidos ambientales. La mayoría de los sonómetros son portátiles y su manejo no es difícil, lo que permite realizar cómodamente las medidas necesarias para valorar las distintas situaciones de exposición al ruido. [24] Básicamente un sonómetro consta de: un micrófono, amplificador, redes de ponderación, amplificador, rectificador, lector. De éstos componentes podemos destacar que el suele ser el componente más importante ya que es el más caro, además es el que transforma la onda de presión en onda eléctrica con las mismas condiciones de frecuencia y amplitud.
- **Dosímetro.-** Mantiene la estructura y funcionamiento del sonómetro, incorporando un circuito en el que se recibe la energía eléctrica proporcional a la energía sónica ambiental que acumula durante el tiempo de exposición, siendo su aplicación principal la determinación de la exposición sonora en las cercanías del oído. [25]

Medición de iluminación

El luxómetro y el luminancímetro son instrumentos para medir parámetros del ambiente lumínico. [26]

- **Luxómetro.-** La iluminación sobre una superficie puede medirse con suficiente precisión por medio de un luxómetro, que consta de un galvanómetro y un dispositivo sensible a las radiaciones luminosas e infrarrojas, acopladas eléctricamente.
El luxómetro puede ser de dos clases según sea el tipo de dispositivo sensible que se utilice: luxómetro de celda fotoeléctrica y luxómetro de celda fotovoltaica. Debido a que las celdas fotoeléctrica y fotovoltaica transforman las radiaciones calóricas y visibles en electricidad, es necesario introducir un filtro que absorba las radiaciones infrarrojas indeseables que también excitan las celdas. Además, al hacer mediciones directas de iluminación de una fuente de luz, debe procurarse que la cara del luxómetro sea normal a los rayos de incidencia, o en su defecto habrá que multiplicar la lectura por el coseno del ángulo de incidencia. [27]

- **Luminancímetro.-** Su constitución similar al luxómetro. El luminancímetro mide la luminancia siendo su unidad la candela por metro cuadrado (cd/m^2) llamada nit (nt), con un submúltiplo, la candela por centímetro cuadrado (cd/cm^2) es utilizada para fuentes con elevadas luminancias [28]. En la figura 2 se observa un luminancímetro.



Fig. 2 Luminancímetro. [28]

Medición de gases

- **Detectores de gas.-** Estos dispositivos se emplean para detectar una posible fuga de gas. Se distinguen dos tipos principalmente, según la naturaleza del gas a detectar: gases ligeros o gases pesados. Su colocación respecto de la posible fuente de gas es también distinta, en función del tipo de fuga de gas que se desea controlar. Los detectores de gases ligeros, como son el gas natural o el metano, deben colocarse en la parte superior de la estancia, próximos a la posible fuente de fugas. Por otra parte, los detectores de gases pesados, tales como el propano o el butano, se colocan cercanos al suelo y próximos a la potencial fuente de gas. En la figura 3 se observa un detector de fuga de gas metano. [29]



Fig. 3 Detector de fuga de gas metano y ciudad (CH) cortesía de NIESSEN-ABB. [29]

En la medición de gases se debe tener en cuenta unos conceptos importantes como:

Hoja (MSDS).- Es la hoja de datos de seguridad, la cual es un documento estándar disponible para cada químico. Ésta hoja contiene información específica para el usuario y cuidados de la salud. [30]

TLV.- Son los valores límites umbrales que se determinan en laboratorios por medio de investigaciones y anualmente, existen cuatro categorías de TLV.

1. **TLV-TWA.**- (Valor Límite Umbral-Media Ponderada en el Tiempo)Es la concentración media para una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 a la semana, a la que puede estar expuesta el ser humano sin que su salud se vea afectada.
2. **TLV-STEL.**- (Valor Límite Umbral-Límite de exposición de corta duración) Concentración a la que puede estar expuesto un trabajador en un periodo de tiempo sin sufrir daños crónicos o irreversibles por lo general 15 minutos no más de 4 veces.
3. **TLV-C.**- (Valor Límite Umbral-Techo) Concentración que por ningún motivo debe superar ni de forma instantánea. [31]

2.2.3 Sensores

Los sensores copian las características perceptivas de los seres humanos, incluso son más eficientes hasta el punto de reaccionar ante variables físicas que el ser humano no puede percibir. Por ello a menudo se los encuentra relacionados con los diferentes sentidos: vista, oído, tacto, es decir que reaccionan a la luz, el sonido, el contacto, etc. De la misma manera que nuestro cerebro reacciona cuando recibe información de que los órganos sensoriales le transmiten, los dispositivos que incorporan sensores reaccionarán a la información que reciben de ellos. Por lo tanto los sensores son dispositivos electrónicos que nos permiten interactuar con el entorno, de forma que nos proporcionan información de variables que nos rodean para procesarlas y así tomar decisiones para proporcionar instrucciones. [32]

Características estáticas de los sensores

El comportamiento del sistema de medida depende del sensor empleado. Las características estáticas del sensor, describen al sensor cuando actúa en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir. Las características estáticas más importantes son: exactitud, precisión, y sensibilidad, otras características como la linealidad, la resolución, histéresis, etc., son secundarias.

Para determinar las características estáticas más importantes es conveniente primero considerar el proceso de calibración del sensor el cual consiste en aplicar sucesivos valores de la magnitud a la entrada, cuyo valor se determina con un patrón de medida superior en calidad del que se está calibrando, e ir anotando los respectivos valores de la salida. La línea que une todos los puntos obtenidos es la que se conoce como curva de calibración. Lo más frecuente y práctico, es ajustar una recta a través de dichos puntos, por ejemplo con el método de los mínimos cuadrados. Aunque no siempre es posible obtener una curva de calibración que sea recta tampoco es necesario, lo importante es que a la misma entrada siempre tenga su correspondiente salida. [33] A continuación se detallan las características estáticas:

- **Exactitud.-** Es la capacidad de un instrumento de medida para dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud de medida. Define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de operación durante un tiempo determinado que normalmente es un año. La exactitud se expresa en términos de inexactitud, de esta manera un instrumento de temperatura de 0-100 °C con temperatura del proceso de 90 y que marca 89.98 °C se aproxima al valor real en 0.02 °C, entonces tiene una inexactitud de 0.02 °C. Existen muchas formas de representar la exactitud:
 - a) En porcentaje del alcance, campo de medida (rango). Por ejemplo: un termómetro que da una lectura de 120 °C y una exactitud de $\pm 0.5 \%$, el valor real de la temperatura estará comprendido entre $120 \pm 0.5 * 200/100 = 120 \pm 1$, es decir entre 119 °C y 121 °C.
 - b) Directamente, en función de la variable de medida. Ejemplo: exactitud $\pm 2 \text{ °C}$
 - c) Porcentaje de la lectura efectuada. Por ejemplo: exactitud de $\pm 1\%$ de 130 °C, por lo tanto, $\pm 1.3 \text{ °C}$.
 - d) Porcentaje del valor máximo del campo de medida. Por ejemplo: exactitud de $\pm 0.5\%$ de 300 °C = $\pm 1.5 \text{ °C}$.

La exactitud varía en cada punto del rango de medida, dependiendo si el fabricante especifica la misma exactitud en todo el margen del instrumento o en algunas zonas de la escala. Los valores de exactitud son proporcionados por los fabricantes de los instrumentos establecidos para el usuario. Sin embargo también se suele considerar

valores de calibración en fábrica y de inspección. Ejemplo: un instrumento que en fábrica tiene una exactitud de calibración de $\pm 0.7\%$, en inspección le corresponde $\pm 0.8\%$ y la dada al usuario es de $0.9 \pm\%$.

Siempre es necesario calibrar los instrumentos ya que estos pueden sufrir alteraciones debidas al desplazamiento de un punto a otro, efectos ambientales y desgaste por el tiempo, etc.

- **Sensibilidad.-** La sensibilidad es el cociente entre el incremento de la señal de salida o de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, posteriormente de haber alcanzado el estado de reposo. También se le considera como la pendiente de la curva de calibración del sensor. Por ejemplo en un transmisor electrónico de 0-20 bar, la presión pasa de 7 a 7.5 bar y la señal de salida de 12.4 a 13 mA.c.c., la sensibilidad es el cociente entre el incremento de la señal sobre la variable que lo ocasiona que se calcula mediante la ecuación (1).

$$S = \frac{\Delta \text{ salida}}{\Delta \text{ entrada}} \tag{1}$$

$$S = \frac{\Delta \text{ salida}}{\Delta \text{ entrada}} = \frac{13 - 12.4}{\frac{20 - 4}{7.5 - 7}} = 1.5 \text{ mA.c.c./bar}$$

Para el ejemplo antes mencionado la sensibilidad será de 1.5 mA.c.c./bar. Generalmente la sensibilidad viene dada en porcentaje del alcance de la medida.

- **Campo de medida.-** También es conocido como range, es el conjunto de valores que puede tomar la variable los cuales están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida del instrumento. Se define mediante dos valores extremos por ejemplo: un sensor de electrónico de temperatura que mide de -20 a 100 °C. Otro término derivado de este concepto es la rangeabilidad que es el cociente entre el valor máximo superior de medida e inferior.
- **Alcance.-** El alcance (span) es la diferencia algebraica entre el valor máximo y mínimo del campo de medida del instrumento. Por ejemplo si el rango de un instrumento es de -25 a 100 °C el alcance será de 100 menos -25, es decir, 125.

- **Zona muerta.-** Es el rango de valores en el que la variable no hace variar la señal de salida del instrumento, por lo tanto no produce respuesta. Se expresa mediante porcentaje del span.
- **Repetibilidad.-** Es la capacidad para reproducir valores idénticos de salida repetidamente, de una medición con las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación recorriendo todo el campo de medida. Cuando existe mayor repetibilidad los valores de la señal de salida estará más concentrados, por lo tanto habrá una menor dispersión y una mayor precisión. Por ejemplo, si un sensor tiene una repetibilidad de 0.07% y otro de 0.007% el segundo tendrá más repetibilidad y será más preciso.
- **Histéresis.-** Es la diferencia máxima que se aprecia en los valores indicados por la señal de salida del sensor cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos del campo de medida tanto ascendente como descendente. Se expresa en porcentaje del rango. Por ejemplo: en un sensor de presión con un rango de 0-20 bar, para el valor de la variable de 5 bar, el sensor marca 4.9 bar al subir la presión desde 0 pero marca 5.1 bar al bajar la presión desde 20. Para calcular la histéresis se aplica la ecuación (2).

$$histéresis = \frac{\Delta \text{señal de salida}}{\text{rango}} * 100 \quad (2)$$

$$histéresis = \frac{5.1 - 4.9}{20 - 0} * 100 = \pm 1 \%$$

- **Resolución.-** Es el menor cambio que el sensor puede distinguir. Por ejemplo un sensor de nivel graduado en cada 1% con una rango de 0 a 100% si en este sensor es posible observar una lectura entre la mitad de las divisiones 51 y 52, por lo tanto se puede considerar la resolución como $(0.5/100)= 0.05\%$.
- **Linealidad.-** La aproximación de una curva de calibración a una línea recta específica.
- **Temperatura de servicio.-** Rango de temperaturas en el cual el sensor funciona correctamente. [34]

Sensores de temperatura

- **Sensores de temperatura de silicio.**

Aprovechan la variación de la temperatura en base a las propiedades del silicio, en el mercado existe una amplia variedad de estos sensores y a precios bajos. Además,

circuitos prácticos integrados ayudan a obtener salidas analógicas tanto de voltaje como de corriente, son apropiados para medición y control de temperatura en el rango de -55 °C a 150 °C. No requieren etapas de amplificación, linealización ni compensación externa debido a que en el mismo circuito integrado tiene circuitos de procesamiento de señales. [35]

- **Sensores ópticos**

Los dispositivos semiconductores comúnmente son usados como sensores de intensidad luminosa, fotodiodos, fototransistores y fotosensores disponibles por los fabricantes. De la misma manera que el sentido de la vista es importante en los seres humanos la luz y su medición, es importante para muchas aplicaciones industriales para medidas lineales de alta precisión, ubicación de sobrecalentamiento, localización de objetos, medidas de posición, fotoprocesamiento, lectores de códigos de barras, etc. Las fotoceldas Son utilizadas para la detección y la transformación de la intensidad de luz en señales de energía eléctrica. Las fotoceldas se clasifica en: fotovoltaicas, fotorresistencias, fotoemisoras y semiconductores.

- **Fotorresistencia**

Cambian su resistencia con la intensidad de la luz. Éstas usualmente se fabrican de materiales como el selenio, el óxido de circonio, el óxido de aluminio y el sulfuro de cadmio.

En la figura 4 se observa los símbolos de los sensores ópticos que reaccionan de alguna manera ante la presencia de luz. [36]

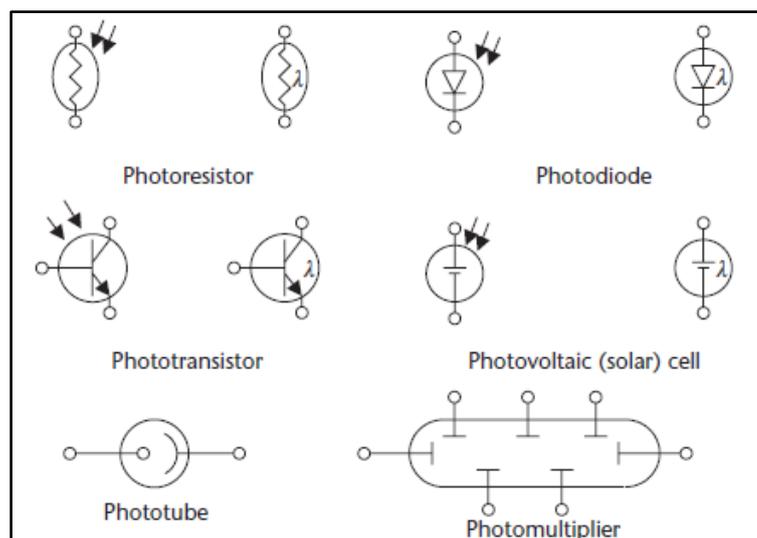


Fig. 4 Sensores ópticos y símbolos. [36]

- **Sensores químicos**

El aprovechamiento del silicio ha sido de gran ventaja para los avances de sensores como lo es en la industria de la detección química, algunos fabricantes como FIS sensor una empresa japonesa la cual ha fabricado sensores en base de óxido de semiconductor de gas de metal, ofrece una gama amplia de sensores para la detección de monóxido de carbono, detectores de gas inflamable, detección de gas tóxico, el control de la combustión, controles de calidad del aire en interiores. El elemento de detección de estos sensores es una pequeña banda de tipo semiconductor compuesta principalmente de dióxido de estaño, también consta de una bobina de calentador y un cable conductor como se observa en la figura 5.

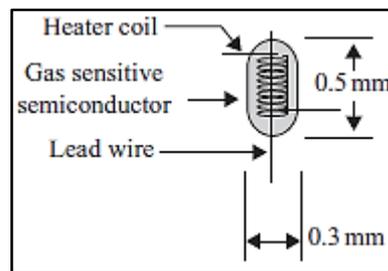


Fig. 5 Esquema de los componentes internos del sensor de gas. [37]

Este elemento base es encapsulado en una malla de acero inoxidable doble lo que le proporciona al sensor una característica de antiexplosivo. El sensor tiene 3 pines de salida y una fuente de alimentación para el calefactor. En la figura 6 se observa el circuito equivalente de los sensores de gases basados en semiconductores.

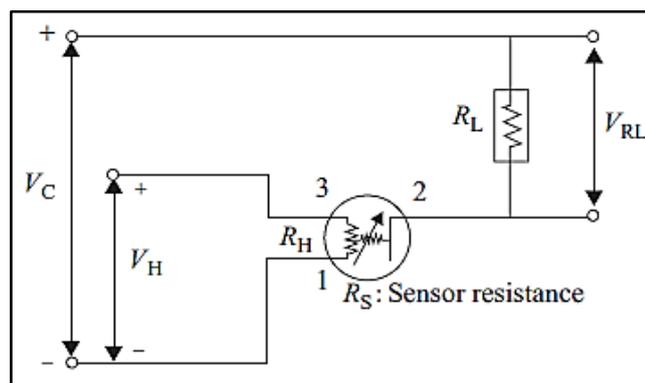


Fig. 6 Circuito equivalente del sensor químico. [37]

Como se observa en la figura V_H es la tensión de calefacción que regula la temperatura del sensor para que tenga un rendimiento correcto. Generalmente cuando existe un cambio en la resistencia del sensor varía el voltaje en R_L con el principio de divisor

de voltaje. Como se observa en la figura 7, las curvas típicas de estos sensores en donde el eje y está representado por una relación de resistencias y en el eje x las partes por millón de concentración del gas. [37]

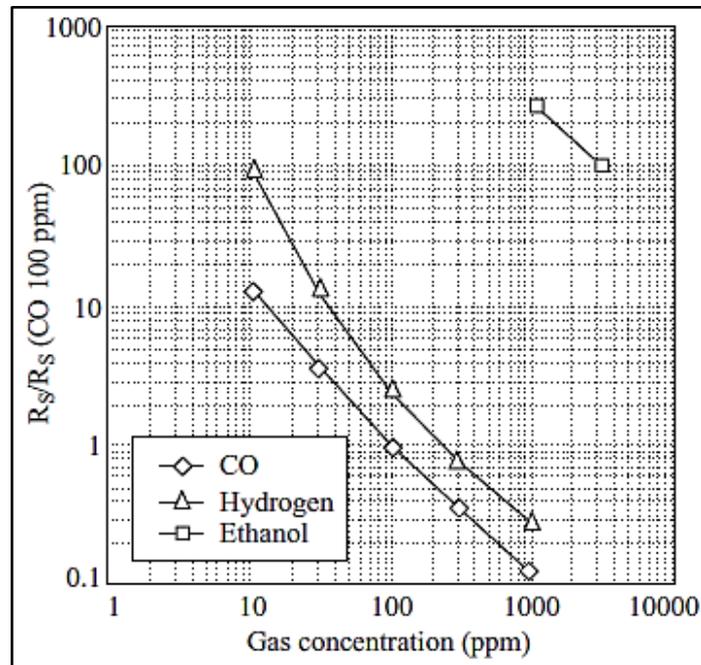


Fig. 7 Curva típica de los sensores de gases. [37]

- **Sensores inteligentes**

Son sensores que en su construcción se basan en el estándar IEEE 145.4 que reduce el tiempo en algunas configuraciones del sensor como por ejemplo: reducir la configuración de entrada eliminando los manuales de entradas de datos, mejoran el rastreo de sensores almacenando hoja de datos de manera electrónica, mejorar la exactitud proveyendo información detallada de calibración, etc. Son muy utilizados en aplicaciones industriales. Estos cuentan con un chip TED (transducer electronic datasheet) el cual proporciona algunos datos característicos del sensor. [38]

- **Sensores acústicos**

La medición del campo acústico puede ser principalmente descrita como la medida de la presión. Esto significa que otros parámetros acústicos pueden ser derivados de la medida de la presión.

- **Micrófonos tipo condensador**

Los micrófonos tipo condensador básicamente constan de 5 elementos: la carcasa del micrófono, la rejilla de protección, el diafragma, la placa trasera y el aislante. Como se aprecia en la figura 8. Son llamados de tipo condensador ya que el

diafragma y la placa posterior forman en paralelo placas de un condensador al aire. El condensador es polarizado con una carga de una fuente de alimentación externa o mediante una carga eléctrica se alimenta directamente dentro de un material aislante en la placa posterior. Cuando existe presión de sonido, las distancias entre el diafragma y la placa posterior van a cambiar y en consecuencia cambia la capacitancia del diafragma/ condensador de la placa posterior.

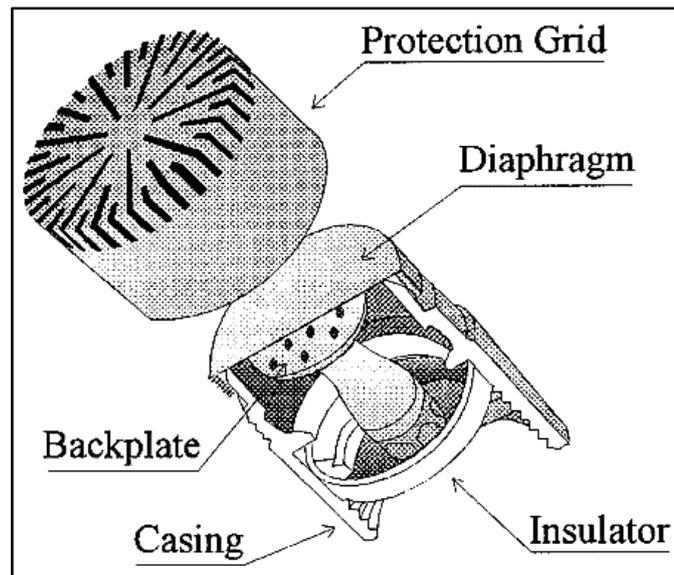


Fig. 8 Partes básicas de un micrófono tipo condensador. [39]

Al mismo tiempo que la carga del condensador permanece constante, la variación en la capacitancia generará un voltaje de salida en el terminal de salida del micrófono.

El rendimiento acústico está determinado por las dimensiones físicas del micrófono tales como el área del diafragma, distancia entre el diafragma y la placa posterior, la rigidez y la masa suspendida del diafragma, así como también del volumen de la carcasa del micrófono.

Además existentes características que determinan su funcionamiento como la sensibilidad que se describe como la salida del micrófono para una excitación de presión sonora determinada. Por ejemplo un micrófono con una sensibilidad de 2.5 mv/pa, el nivel más bajo que puede medir es alrededor de 40 db, en cambio, un micrófono con una sensibilidad de 50 mv/pa puede medir niveles bajos aproximadamente 15 db. [39]

➤ Piezoeléctricos

Aprovechan la propiedad de los cristales piezoeléctricos de generar tensión cuando son deformados por alguna causa mecánica. Existen algunos materiales que tienen esta propiedad como la “sal de Rochele” que genera diferentes voltajes y se emplea para micrófonos de bajo costo. Para micrófonos con mejores características se emplea materiales más caros como los materiales piezocerámicos que contienen plomo, bario, titanio.

Los micrófonos piezoeléctricos generan una diferencia de potencial en mv relativamente grande. Sin embargo, en algunos casos su respuesta a frecuencias altas es más pobre comparado con otros tipos de micrófonos. [40]

Son muy utilizados como instrumentos de medida de sonido. La principal desventaja es que tienen una impedancia de salida muy alta la cual los hace susceptibles a ruidos eléctricos y sensibles a la vibración mecánica.

En la figura 9 se observa un esquema básico de estos sensores, es un circuito equivalente al de un condensador en serie con un generador de tensión. Cuando existe energía acústica, ésta choca contra el diafragma y vibra el cristal o elemento piezoeléctrico, deformándolo. En respuesta, el elemento piezoeléctrico genera una tensión proporcional a la deformación, que es una representación eléctrica de sonido. [41]

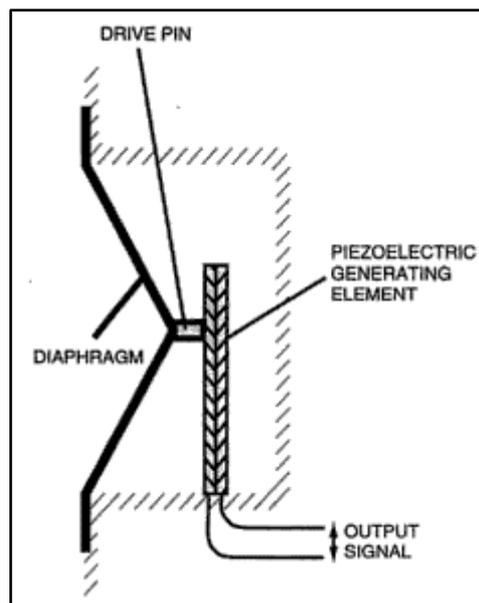


Fig. 9 Esquema de funcionamiento del micrófono piezoeléctrico. [41]

En los micrófonos o sensores acústicas hay ciertas características que se debe tener en cuenta como:

- **Sensibilidad.-** Es importante conocer cuánto voltaje produce un micrófono al ser expuesto a una presión dada. Las unidades internacionales para medir la presión es el pascal, que abreviando se designa por Pa, de modo que la sensibilidad de un micrófono se expresa en voltios por pascal. Por ejemplo si un micrófono genera 1 mV ante una presión de 0.2 Pa su sensibilidad será de 50 mV/Pa. De esta manera se puede conocer la presión que genera un micrófono que al mismo tiempo si se quiere obtener el nivel de presión sonora que se mide en decibeles se aplica la ecuación (3).

$$db = 20 \log \frac{P}{P_{ref}} \quad (3)$$

En donde Pref representa la presión de referencia que es equivalente a 20 μ Pa.

- **Respuesta en frecuencia.-** Se representa mediante una gráfica en donde se observa que ante sonidos con la misma amplitud pero diferente frecuencia el micrófono generara diferentes tensiones. Por ejemplo en la figura 10 se observa que un micrófono mide un sonido 50 hz con una tolerancia de -5 db de la medida. [42]

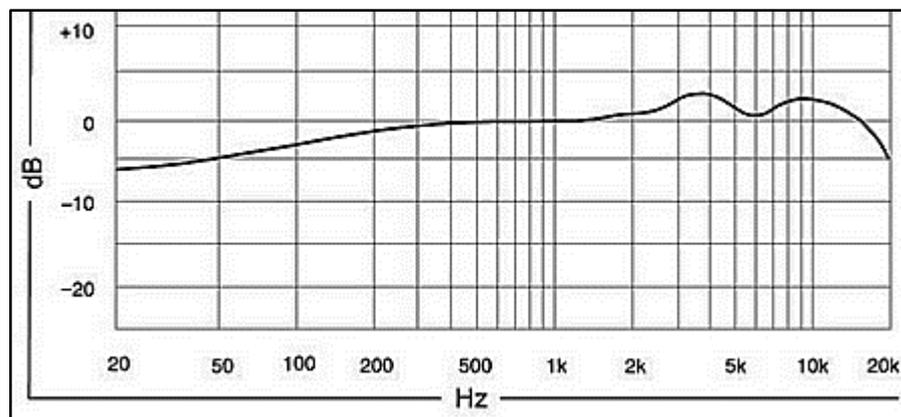


Fig. 10 Curva de respuesta en frecuencia de un micrófono. [42]

2.2.4 Interfaces y comunicaciones integradas

En la actualidad es muy común encontrar a sensores con buses de comunicación como: I2C, 1 wire, interfaz analógica, etc.

- **I2C.-** Es un protocolo basado en la relación maestro esclavo. El maestro es el microcontrolador que tiene el control sobre los esclavos cuando la comunicación es

establecida. Los esclavos en el protocolo I2C no pueden enviar información a menos que el microcontrolador haga un llamado para empezar la comunicación. [43]

➤ **1-wire.-** Es una manera económica para el intercambio de datos entre microprocesadores y chips auxiliares. Es denominado 1-wire debido a que únicamente utiliza un cable para comunicarse con el maestro microcontrolador. Por un cable los esclavos y el maestro se comunican y la comunicación es comandada por el maestro. Los datos son transmitidos de manera serial por una línea de datos a una tasa equivalente de 14kb/s. [44] Cada esclavo tiene un único código serial de 64 bit. El protocolo 1-wire también es denominado micro LAN debido a que solo puede existir un maestro y muchos esclavos. Una característica importante de este protocolo es que no se necesita hardware especial o un bus especial para ejecutar los dispositivos 1-wire. [45]

➤ **Interfaz analógica.-** Un sensor con salida analógica (voltaje, resistencia, corriente) usualmente son convertidos a forma digital ya que de esta manera es más fácil su procesamiento, transmisión o almacenamiento de los datos. La mayoría de los sensores con salida analógica requieren una forma de acondicionamiento como conversión de voltaje, filtrado o aislamiento de la señal para asegurar que los voltajes están en el correcto rango para el convertidor análogo-digital.

Existen 3 tipos de conversión de voltaje: división, amplificación y desplazamiento. División de voltaje es requerida cuando el rango sobrepasa el ADC del rango de voltaje de entrada, para lograr esto se utiliza un divisor de voltaje. Amplificación de voltaje se realiza cuando el sensor genera pequeños voltajes como acelerómetros. La salida analógica es amplificada utilizando un amplificador operacional que incrementa el rango y la sensibilidad del circuito. La relación entre la señal de salida y la señal de entrada seguida por una amplificación lineal se conoce como ganancia.

2.2.5 Acondicionamiento de señales

Es un proceso de medida, manipulación de señales con el objetivo de mejorar su precisión, aislamiento, filtrado, etc. Cuando se mide señales de un sensor se debe convertir en un formato que acepte el microcontrolador o el dispositivo de adquisición de datos. Por ejemplo en los sensores de temperatura conocidos como termopares su voltaje de salida es muy pequeño y sensible a ruidos por lo tanto, se debe amplificar la salida antes de ingresar al ADC. De esta manera la amplificación de una señal es una forma de

acondicionamiento de señal. Entre los tipos más comunes de acondicionamiento de señal son la linealización, amplificación, excitación y aislamiento. Por ejemplo en la figura 11 se muestra, algunas operaciones de acondicionamiento que se realiza sobre algunas señales de sensores

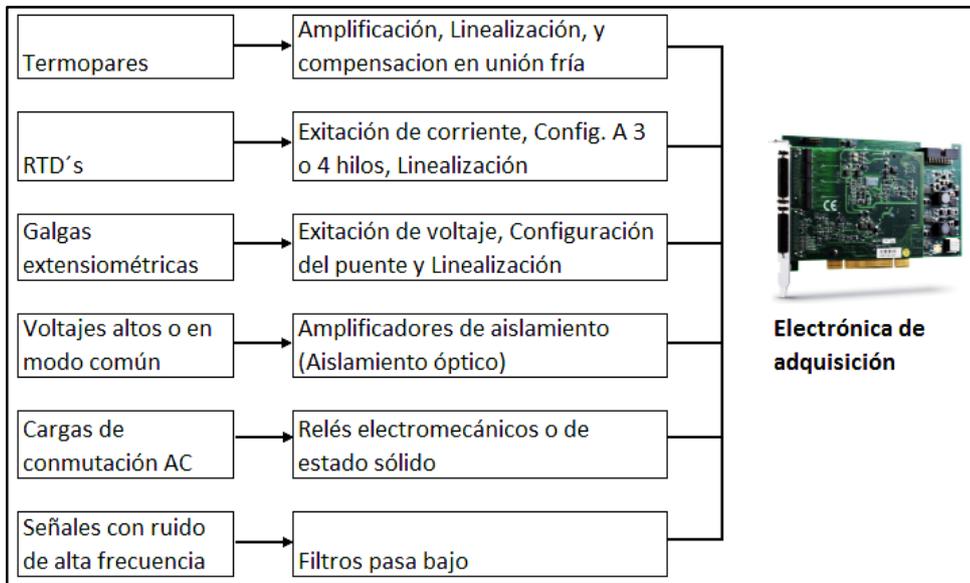


Fig. 11 Acondicionamiento de señal de algunos tipos de sensores y señales. [46]

➤ Amplificación

Es la forma más habitual de acondicionamiento de señal ya que de esta manera se mejora la precisión de la señal digitalizada y además se reduce los efectos del ruido. Para disminuir los efectos del ruido en señales de muy poca tensión es pertinente utilizar amplificadores situados lo más cerca de la fuente de la señal como se observa en la figura 12. Lo idóneo es amplificar la señal hasta el rango máximo de entrada del dispositivo de adquisición de datos.

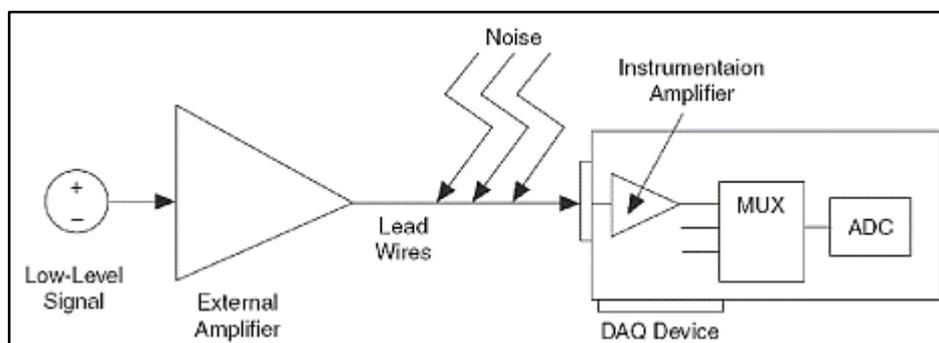


Fig. 12 Amplificación de una señal débil cercana a la fuente para reducir los efectos del ruido. [46]

➤ **Linealización**

Muchos sensores, como por ejemplo los termopares, no tienen una respuesta en línea recta a las variaciones del fenómeno físico que miden. Por lo tanto se debe realizar una linealización con la ayuda de módulos de hardware específico.

➤ **Excitación de sensores**

Algunos sensores necesitan determinados voltajes o corrientes ya sea a.c. o d.c. para excitar su circuito de medida.

➤ **Aislamiento**

Una forma común de acondicionamiento es aislar del sensor del dispositivo de adquisición de datos por motivos de seguridad. Por ejemplo, en el caso que se requiera medir una señal que tenga picos altos de tensión se debe aislar del dispositivo de adquisición de datos ya que los podría dañar al superar su rango de entrada. También es útil este tipo de acondicionamiento para asegurar que las diferencias de potencial de masa no afecten a la electrónica de adquisición.

➤ **Filtrado**

En los circuitos de acondicionamiento también se utiliza el filtrado de señales no deseadas. Estos circuitos incorporan filtros pasa-bajos con el fin de eliminar señales de altas frecuencias que ocasionen lecturas de datos erróneas. [46]

2.2.6 Adquisición de datos mediante labview

Labview dispone de varias herramientas para la adquisición y generación de señales eléctricas a través de tarjetas de adquisición de datos.

Las capacidades que generalmente tienen las tarjetas de adquisición de datos son:

- Adquisición de señales analógicas.
 - Generación de señales analógicas.
 - Generación y adquisición de señales digitales.
 - Contadores y timers.
 - Triggers.
 - Autocalibración, sensores, etc.
- Adquisición de señales analógicas

Los canales de entradas analógicas en una tarjeta de adquisición de datos son indispensables que se las debe tener muy en cuenta por ejemplo en la figura 13 se observa

un esquema general del canal de entrada analógica en la figura se aprecia que todos los canales de entrada se multiplexan, ya que ésta la configuración que más se utiliza, sin embargo, se puede encontrar tarjetas con canales sin multiplexar, pero eso aumenta su precio, el bloque que sigue después del multiplexor, es un amplificador de ganancia programable que adecua la señal al convertidor, los bloques siguientes son un filtro antialiasing, un circuito de muestreo y retención y un convertidor análogo digital, y por último se guarda dentro de una memoria FIFO dentro de la propia tarjeta.

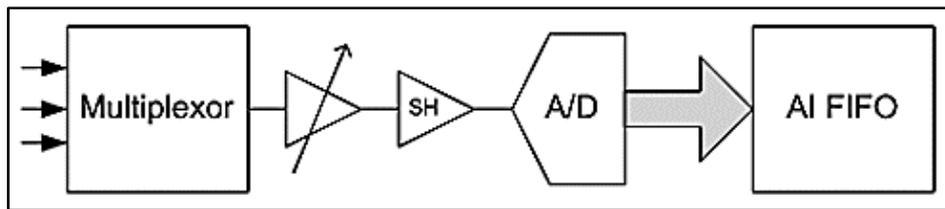


Fig. 13 Esquema general de un canal de entrada analógico. [47]

El ADC o conversor análogo digital cumple una función importante en la adquisición de datos que es la digitalización. Para lograr esto se utiliza un circuito de muestreo y retención que captura una tensión de la entrada y la mantiene estable por un tiempo para que el ADC pueda calcular el valor de su salida.

Muestrear una señal es obtener el valor de la señal en determinados momentos esos valores también se los denomina samples. Cuando se realiza una adquisición continua de los datos el tiempo entre una muestra y la siguiente, se denomina frecuencia de muestreo como se observa en la figura 14 los puntos sobre la curva representan las muestras o samples y también se observa el tiempo entre muestra.

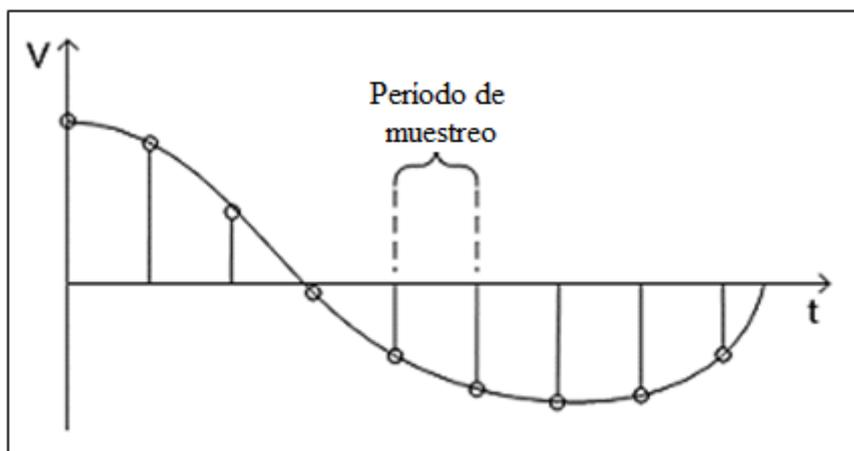


Fig. 14 Muestreo de una señal y frecuencia de muestreo. [47]

El paso siguiente es la codificación del valor muestreado para que sea representado de manera digital. Para esto se divide el rango de entrada de la señal del conversor en algunos niveles y a cada uno de ellos se designa un código binario. Cuantos más bits tenga el ADC mejor resolución tendrá al reproducir la señal. En la figura 15 se observa la cuantificación de una señal analógica con 8 niveles.

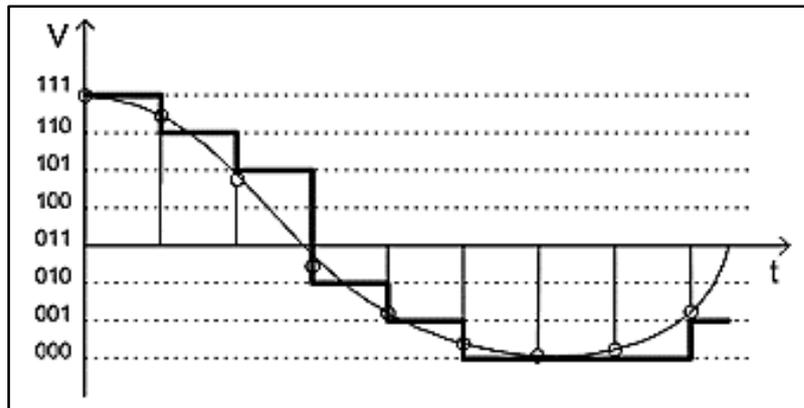


Fig. 15 Cuantificación de una señal analógica. [47]

Para el procesamiento de la señal las tarjetas de adquisición de datos tienen una memoria en la que almacenan las muestras o los samples adquiridas. Esta memoria de tipo FIFO (First Input First Output). En la transferencia de los datos al ordenador dependiendo de la aplicación existirá mayor o menor flujo de la información. El volcado de los datos puede utilizarse por medio de DMA (Direct Memory Access) ya que es el más eficaz.

Las tarjetas de adquisición de datos pueden tener varios FIFO, por ejemplo para entrada analógica o salida etc. Las memorias FIFO tienen un tamaño limitado así que debe evitarse errores por overflow y underflow que se producen al saturar las memorias. En la figura 16 se observa un esquema de la comunicación entre el ordenador y la tarjeta de adquisición utilizando FIFO. [47]

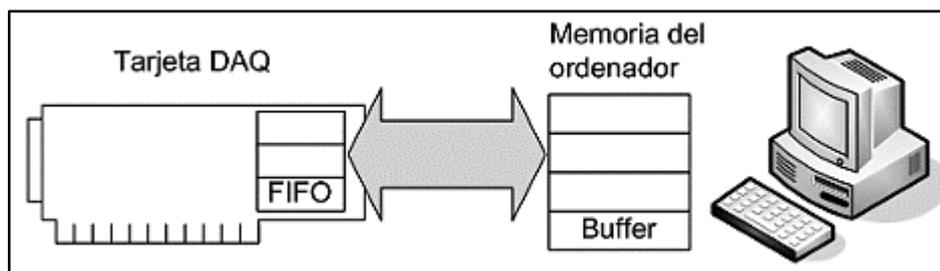


Fig. 16 Flujo de comunicación entre ordenador y tarjeta de adquisición de datos. [47]

2.2.7 Single board RIO

National Instruments es una empresa que crea productos sb-rio los cuales están diseñados para tareas de elevado volumen, control embebido y adquisición de datos que requieren gran prestación y fiabilidad. La arquitectura del sistema es embebida y abierta, flexible y de pequeño tamaño. Esto permite que ingenieros y desarrolladores de sistemas embebidos usen los productos y puedan lanzar con rapidez al mercado aplicaciones para usos específicos. NI sb-RIO está potenciado con herramientas que ofrece el software de National Instruments como LabVIEW FPGA y LabVIEW Real-Time lo que proporciona a los ingenieros de desarrollo la posibilidad de programar y personalizar un sistema embebido NI Single-Board RIO con herramientas de programación amigable. En la figura 17 se observa un esquema básico de cómo está constituido una tarjeta sb-rio.

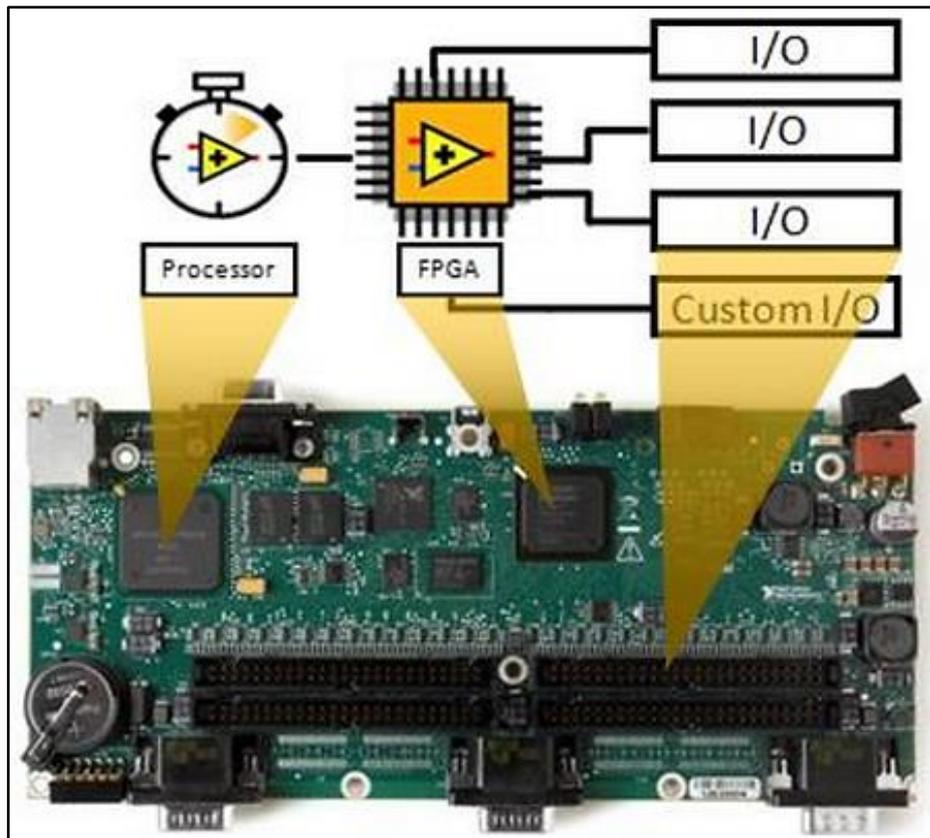


Fig. 17 Partes principales de una tarjeta sb-rio. [48]

La tarjeta sb-rio muestra las siguientes características:

- Una solución para la adquisición y control embebida en una sola tarjeta.

- Herramientas de programación que el software LabVIEW proporciona para desarrollar aplicaciones con rapidez.
- Un procesador en tiempo real para un funcionamiento y procesamiento de señales fiable.
- Un chip FPGA para la personalización del procesamiento y temporización de las E/S.
- E/S analógicas y digitales incorporadas en la tarjeta.

Todos los productos NI single board RIO integran en la misma tarjeta los siguientes componentes: un procesador en tiempo real embebido, una FPGA de alto rendimiento e incorpora entradas y salidas digitales y analógicas como se observa en la figura 18. Todas las E/S se conectan directamente a la FPGA lo que proporciona la personalización de bajo nivel y procesamiento de las señales de E/S. La FPGA está conectada al procesador en tiempo real a través de un bus PCI de alta velocidad. LabVIEW maneja mecanismos de transferencia de datos para transmitirlos a desde las entradas/salidas a la FPGA y desde la FPGA al procesador embebido para realizar el análisis en tiempo real, registro de datos, post-procesado o la comunicación en la red con un ordenador central.

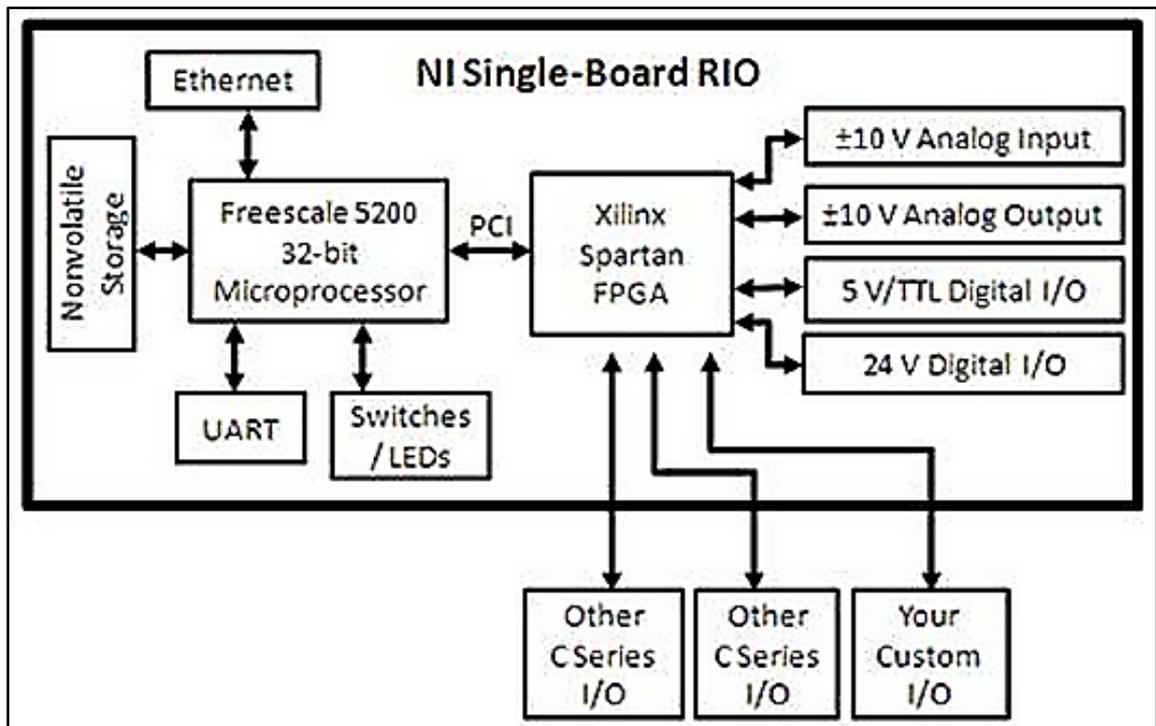


Fig. 18 diagrama de conexión entre E/S FPGA y Real time de la tarjeta sb-rio. [48]

Por lo general las tarjetas sb-rio que National Instruments proporciona las siguientes entradas y salidas disponibles:

- 110 líneas de entradas y salidas digitales 5 V/TTL.
- 32 entradas analógicas de $\pm 10V$.
- 4 salidas analógicas de $\pm 10V$.
- 32 líneas de entradas digitales industriales de 24 V.
- 32 líneas de salidas digitales industriales de 24 V.

Además se pueden conectar hasta 3 módulos de E/S de la serie-C a cada sistema NI sb-rio. Existe mucha variedad de módulos de la serie C como para entradas de tensión, corriente, termopares, RTD, acelerómetros, galgas extensiométricas, etc. Una característica fundamental de los módulos de la serie C es el muestreo simultáneo y además pueden soportar $\pm 60V$. Cada módulo contiene una función de acondicionamiento de señales para rango de tensión ampliados sin la necesidad de circuitos extras u otros acondicionamientos externos.

Las tarjetas sb-rio contiene un procesador industrial en tiempo real MPC5200 de freescale a 266 MHz o 400 MHz el cual ejecuta de forma determinística aplicaciones de LaVIEW Real-Time sobre el sistema operativo confiable en tiempo real de Wind River VxWorks.

La FPGA embebida en la tarjeta es un chip de alto rendimiento reconfigurable que los ingenieros fácilmente pueden programar con las herramientas de Labview FPGA. Tradicionalmente, los desarrolladores de aplicaciones en FPGA se veían obligados a utilizar lenguajes complejos de diseño como VHDL. Pero gracias a las herramientas que proporciona LabVIEW cualquier ingeniero o científico puede realizar aplicaciones personalizadas con FPGAs. [48]

2.2.8 FPGAs

- Que son las FPGAs

Arreglos de compuertas programables en campo (FPGAs) son circuitos digitales integrados que contienen bloques lógicos configurables (programables) junto con interconexiones configurables entre estos bloques. Los ingenieros de desarrollo pueden

configurar a manera de programación gran cantidad de dispositivos para desarrollar una amplia variedad de tareas. Dependiendo de la manera en que sean implementadas.

El término “programable en campo” de la parte del nombre de FPGAs hace referencia a que su programación toma lugar “en el campo” (opuestamente con otros dispositivos que tienen internamente la misma funcionalidad pero su circuitería lógica es hecha por el fabricante). Esto significa que las FPGAs son configuradas en el laboratorio.

La palabra clave al referirnos a una FPGA es “programmable”, el punto es que para ser programable, se necesita un mecanismo que permita configurar un chip de silicio pre-construido.

Se considera una función programable sencilla para entender el aspecto más importante de la FPGA, dicha función tiene dos entradas a, b y una salida denominada y, como se observa en la figura 19.

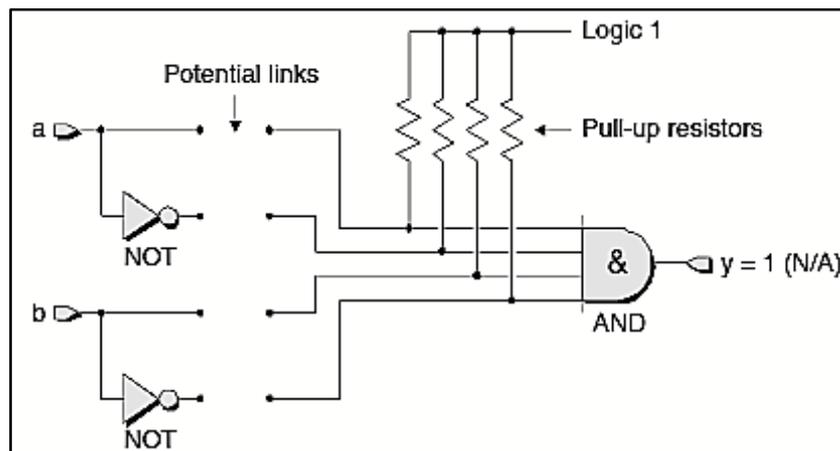


Fig. 19 Una función programable sencilla. [49]

En la figura 19 la compuerta invertida NOT en cada entrada, hace posible que se tenga disponibles en cada entrada su complemento. Observe los posibles enlaces si todos fueran puenteados se tendría a la salida un 1 lógico por la compuerta AND. Para hacer nuestra función más interesante, se necesita de algún mecanismo que permita establecer uno o más de los enlaces posibles.

Una de las técnicas que se utiliza en las FPGAs son las tecnologías de enlace fusible, las cuales permiten a los usuarios programar sus propios dispositivos. En el caso que se observa en la figura 20 el dispositivo es manufacturado con cada enlace referido a un fusible.

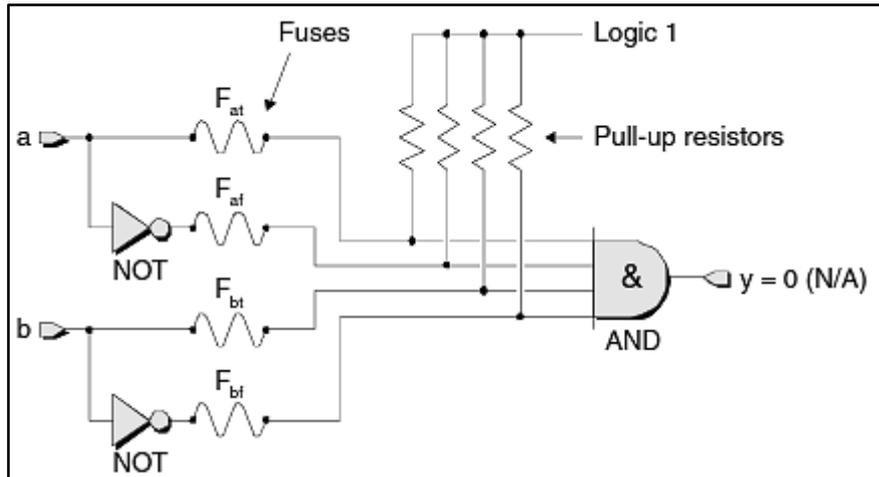


Fig. 20 Dispositivo con tecnología de enlaces fusible. [49]

El término fusible es similar a los fusibles empleados en los aparatos electrónicos para protegerlos contra sobre corrientes, ya que los fusibles en el chip de silicio son formados usando el mismo proceso, son empleados para crear los transistores y cables en el chip, además son microscópicamente pequeños. Cuando un ingeniero desarrolla un dispositivo programable basado en enlaces fusible todos los fusibles inicialmente son intactos. Es decir, se encuentran en un estado desprogramado para el ejemplo que se está analizando en la figura 20 sería igual la salida a 0 lógico. El objetivo es que los ingenieros en diseño puedan selectivamente remover los fusibles no deseados aplicando pulsos con un voltaje y corriente relativamente alto a las entradas de los dispositivos. Como se observa en la figura 21 en la que se ha removido los fusibles de las entradas negadas. [49]

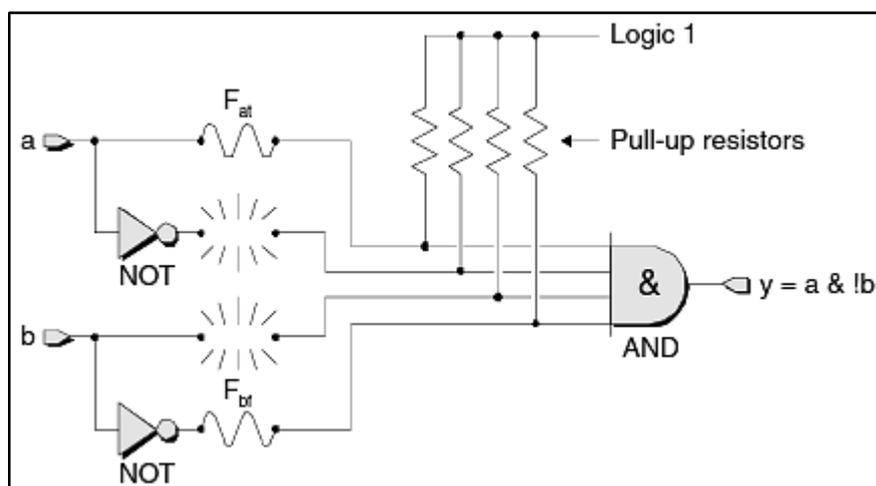


Fig. 21 Enlaces de fusibles programados. [49]

2.2.9 Ambiente de programación en LabVIEW

Labview constituye un ambiente de programación gráfico en el cual se realiza adquisición, análisis y control de señales en corto tiempo comparado con ambientes de programación basados en texto.

Los programas gráficos de LabVIEW son llamados Vis (Instrumentos virtuales). Los Vis están basados en el concepto de flujo de datos de programación. Es decir, que la ejecución de un bloque o un componente gráfico depende de un flujo de datos o siendo más específicos, un bloque se ejecuta cuando los datos en todas sus entradas están disponibles. Los datos de salida del bloque se envían a todos los otros bloques conectados.

- Virtual Instruments (VIs)

Un VI consta de dos componentes principales: el panel frontal y el diagrama de bloques. El panel frontal provee al usuario una interfaz, mientras que, el diagrama de bloques incorpora todo su código gráfico. Cuando un VI es localizado dentro de otro diagrama de bloques este se denomina subVI. Los instrumentos virtuales de LabVIEW son modulares lo que significa que un VI o subVI puede correr por sí mismo.

- Panel frontal y diagrama de bloques

Un panel frontal contiene la interfaz de usuario de un VI mostrada en el diagrama de bloques. Las entradas para un VI son representadas por controles. Las perillas, botones y dials son algunos ejemplos de los controles. Las salidas de un VI están representadas por indicadores. Los gráficos, los LED son algunos ejemplos de indicadores. Cuando se ejecuta un VI el panel frontal proporciona un display o interfaz de usuario para los controles (entradas) e indicadores (salidas).

Un diagrama de bloques contiene iconos, nodos, cables, y estructuras. Las terminales de los iconos son interfaces a través de las cuales los datos son intercambiados entre el panel frontal y el diagrama de bloques. Las terminales de los iconos corresponden a controles o indicadores que aparecen en un diagrama de bloques. Cada vez que un control o indicador se coloca en el panel frontal, un icono que hace referencia al control o al indicador se agrega en el diagrama de bloques. Un nodo representa un objeto que tiene conectores de entrada y/o salida y lleva a cabo una determinada función. Los subVIs y

funciones son ejemplos de nodos. Los cables establecen el flujo de datos en un diagrama de bloques. Las estructuras tales como repeticiones o ejecuciones condicionales se utilizan para controlar el flujo en un programa. En la figura 22 se observa una ventana que indica el panel frontal y otra que es el diagrama de bloques.

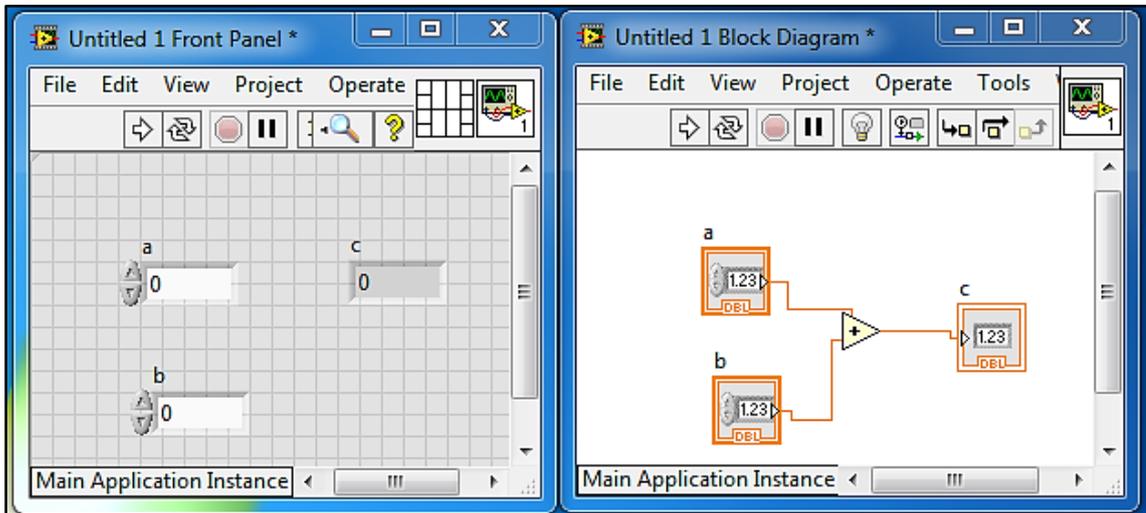


Fig. 22 Panel frontal y diagrama de bloques. [47]

- Paleta de funciones

Como se observa en la figura 23, la paleta de funciones provee varias funciones VIs o bloques para construir un sistema. Esta paleta puede ser desplegada al presionar clic derecho en cualquier parte vacía del diagrama de bloques. Además ésta paleta únicamente puede ser desplegada en el diagrama de bloques.

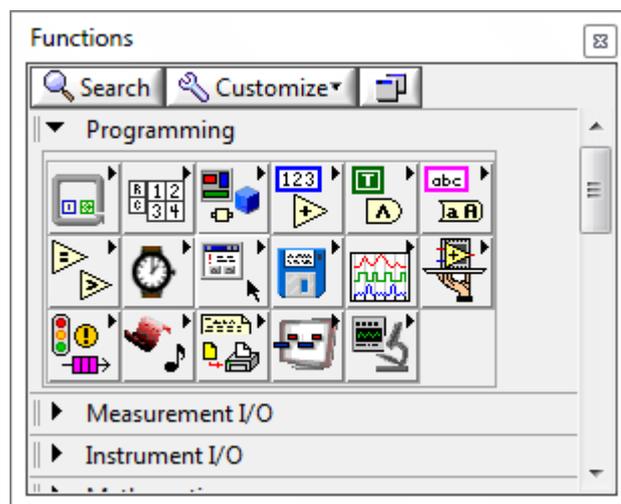


Fig. 23 Paleta de funciones. [47]

- Paleta de controles

La paleta de control como se muestra en la figura 24, proporciona controles e indicadores en el panel frontal. Ésta paleta únicamente aparece en el panel frontal y se la puede desplegar al dar clic derecho en un área vacía del panel frontal.

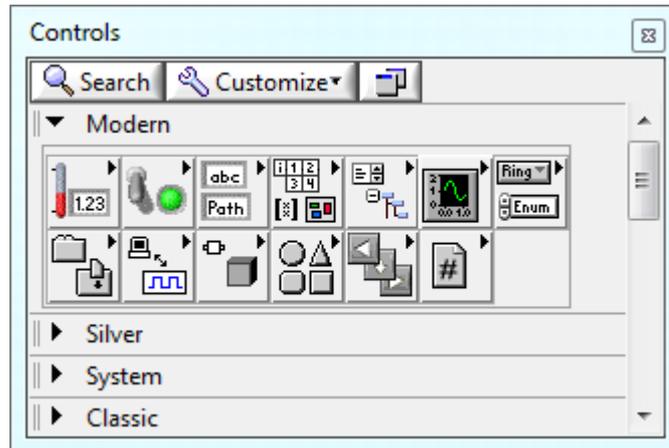


Fig. 24 Paleta de controles. [47]

- Controles

Los controles son las entradas de un VI. Los controles están agrupados en diferentes grupos como: numéricos, botones e interruptores y controles de texto.

- Indicadores

Constituyen las salidas de un VI. De la misma manera que los controles los indicadores están agrupados en grupos como: indicadores numéricos, LEDs, indicadores de texto e indicadores gráficos.

- Express VI y funciones

Los Express VI denotan un alto nivel de instrumento virtual (VI) los cuales tiene que ser configurados para incorporar bajos nivel como VI y funciones. Éstos VIs son visualizados como nodos de expansión con un fondo azul. Como se observa en la figura 25 en el literal a) se tiene a un VI en el literal b) a un Express VI y en el literal c) a una función

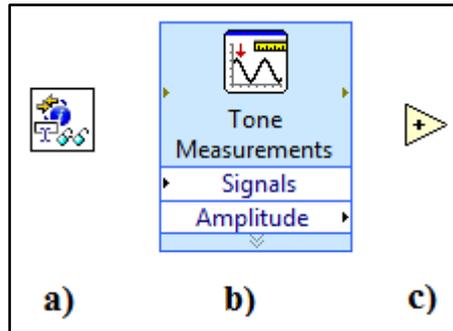


Fig. 25 a) VI b) Express VI c) función. [47]

Los subVI y los Express VI pueden ser visualizados como iconos o como nodos expandibles, en el caso que se utilice como nodos expandibles se tornara de color amarillo el fondo de subVI o Express VI.

- Terminales de los iconos

Los objetos en el panel frontal son visualizados como iconos terminales en el diagrama de bloques. Un icono terminal muestra la entrada o salida así como también su tipo de dato. Es una característica que LabVIEW de esta manera proporciona una indicación del tipo de dato que se está utilizando.

- Cables

Los cables transfieren datos de un nodo a otro en el diagrama de bloques. Basados en el tipo de datos de la fuente, el color y el espesor de sus cables la conexión cambia.

- Estructuras

Una estructura es representada como una caja gráfica en la cual el código es encerrado por una estructura repetitiva o condicional. Una estructura tipo loop es equivalente a una estructura for o while en los lenguajes de programación basados en texto, mientras que una estructura caso es equivalente a un condicional if-else.

El for loop es una estructura utilizada para el desarrollo de repeticiones. Como se observa en la figura 26, en donde N representa el número de veces que el ciclo es repetido. Éste número N debe ser colocado por un valor entero fuera de la estructura. La iteración denotado por i muestra el número de iteraciones completadas, además el for loop siempre comienza desde cero.

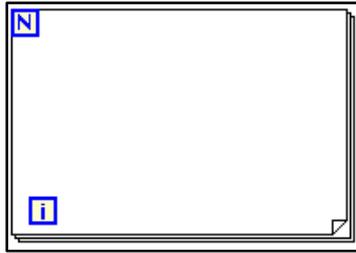


Fig. 26 Estructura for loop. [47]

La estructura while loop permite repeticiones dependiendo de una condición como se muestra en la figura 27, El terminal condicional que se encuentra en la parte inferior derecha detiene el ciclo si existe una condición de verdadero. De manera similar que en el for loop funciona la iteración denotada por i, igualmente comienza desde cero el número de iteraciones.

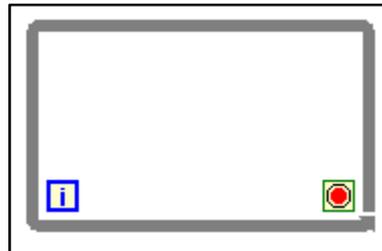


Fig. 27 Estructura while loop.[47]

La estructura case como observa en la figura 28, permite ejecutar diferentes operaciones dependiendo de los valores que se reciba en su terminal de selección representado por un signo de interrogación. Además de un tipo booleano el terminal de selección también puede ser de tipo entero, cadena, etc. Esta entrada determina cual caso es el que se ejecutará.

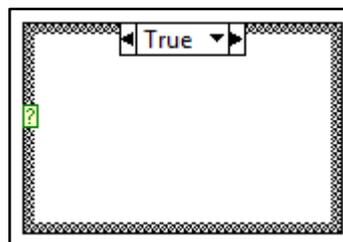


Fig. 28 Estructura case.[47]

- Agrupación de datos

Un array representa un grupo de elementos del mismo tipo, consiste de elementos de datos que tienen una dimensión de hasta $2^{31} - 1$.

Un cluster consiste en una colección de diferentes tipos de elementos, similares a las estructuras de datos en los lenguajes de programación basados en texto. Los clusters permiten reducir el número de cables en el diagrama de bloques por la agrupación de diferentes elementos de tipos de datos juntos y pasarlos a un solo terminal. Un elemento individual del cluster puede ser añadido o extraído por medio de las funciones bundle by name o unbundle by name. [50]

2.3 Propuesta de solución

Se propone la implementación de un prototipo para el análisis de las condiciones el ambiente de trabajo, de esta manera se determina si el entorno es idóneo para que la persona desempeñe sus actividades laborales sin que su salud se vea afectada.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto se utilizará como tipo de investigación una Investigación Aplicada (I). Porque se busca la aplicación o utilización de los conocimientos técnicos y científicos adquiridos durante la formación profesional para dar una solución práctica al problema; transformando el conocimiento puro en una realidad, para la producción de tecnología al servicio de la mejora de las condiciones de vida de las personas evaluando el entorno que los rodea y anticiparse a los posibles daños que pudieran ocurrir en la salud de las personas.

3.1 Modalidad de la investigación

3.1.2 Bibliográfica – documental: porque será necesario la búsqueda , recopilación y organización de información sobre temas específicos con la finalidad de ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema del proyecto basándose en los libros, revistas, artículos técnicos, tesis y publicaciones existentes lo cual nos garantiza que es una información confiable.

3.1.3 Investigación experimental: Debido a que se realizará varias pruebas hasta obtener el adecuado funcionamiento del prototipo para el análisis de las condiciones ambientales en el trabajo, como resultado de la aplicación teórica por parte de los docentes y trabajo autónomo.

3.2 Población y muestra

La presente investigación no requiere de población y muestra ya que en la propuesta planteada se elaborará un prototipo para el monitoreo de las condiciones del ambiente de trabajo.

3.3 Recolección de información

- a) Selección de técnicas a emplear en el proceso.
- b) Revisión de documentos
- c) Fichaje

3.4 Procesamiento y análisis

Una vez obtenida la información se procede a realizar los siguientes pasos:

- a) Análisis y revisión de la información recopilada.
- b) Selección de alternativas para dar solución al problema planteado.
- c) Retroalimentación con información alternativa.
- d) Interpretar y analizar los resultados

3.5 Desarrollo del proyecto

1. Búsqueda de sensores para medir variables como: temperatura del aire, humedad relativa, iluminación, ruido, gas metano, monóxido de carbono, gas licuado de petróleo y alcohol.
2. Comparación de las características de los sensores.
3. Selección de sensores para medir las variables ambientales.
4. Revisión de las normas ambientales y de seguridad industrial vigentes en el Ecuador.
5. Revisión de hoja de datos de la tarjeta FPGA.
6. Acondicionamiento de señales de sensores.
7. Construcción de la placa de circuito impreso (PCB) para los sensores.
8. Construcción de un soporte para el alojamiento de los sensores y tarjeta FPGA.
9. Programación gráfica con LabVIEW.
10. Realización de pruebas de funcionamiento del prototipo.
11. Cotización del prototipo.
12. Integración de los resultados de la investigación en el proyecto DIDE.

4.1.2 Sensor de humedad relativa

En la tabla 4 se registra los sensores de humedad relativa.

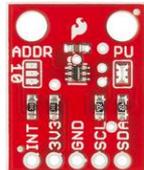
Tabla 4 Sensores de temperatura ambiental

NOMBRE	ENCAPSULADO
HU-10S	
HH10D	
SHT15	
HIH6130	
HTU21D	
RHT03	

4.1.3 Sensor de iluminación

En la tabla 5 se registra los sensores de iluminación.

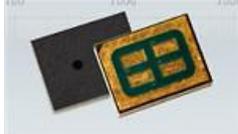
Tabla 5 Sensores de iluminación

NOMBRE	TSL2561	Fotocelda	MM1616	ALS-PT19	TEMT6000	TEPT5700
ENCAPSULADO						

4.1.4 Sensor acústico

En la tabla 6 se registra los sensores acústicos.

Tabla 6 Sensores acústicos.

NOMBRE	ENCAPSULADO
40PH	
Electret Microphone	
ADMP401	
MP34DT01	
2530	
MI-1531	

4.1.5 Sensor de gas metano

En la tabla 7 se registra los sensores para gas metano.

Tabla 7 Sensores para gas metano.

NOMBRE	MQ-4	TGS 3870	Ultrakera CH4 sensor
ENCAPSULADO			

4.1.6 Sensor de monóxido de carbono

En la tabla 8 se registra los sensores de monóxido de carbono.

Tabla 8 Sensores de monóxido carbono.

NOMBRE	ENCAPSULADO
Mq-7	
CO-D4	
CO-A4	
CO-AX	
CO-BF	
CO-CE	

4.1.7 Sensor de GLP

En la tabla 9 se registra los sensores de GLP.

Tabla 9 Sensores de GLP.

NOMBRE	MQ-6	MQ-5	MQ-306	HS133
ENCAPSULADO				

4.1.8 Sensor de alcohol

En la tabla 10 se registra los sensores de alcohol.

Tabla 10 Sensores de alcohol.

NOMBRE	ENCAPSULADO
MR513	
MQ-3	
MQ-303A	
HS-130AS	

4.2 Comparación de los sensores

4.2.1 Comparación sensores de temperatura

En la tabla 11 se registra los ítems de comparación de los sensores de temperatura.

Tabla 11 Comparación de sensores de temperatura.

Tabla comparativa de sensores de temperatura					
Sensor	Rango	Interfaz	Exactitud	Alimentación	costo(\$)
LM35	(-55 a 150) °C	Analógica	± 0.75 °C en (-55 a 150) °C	(4-30) V	2,5
MCP9700	(-40 a 125) °C	Analógica	± 2°C en (0 a 70) °C	(2.3 a 5.5) V	4,95
TMP102	(-25 a 85) °C	I2C	± 0.5 °C en (-25 a 85) °C	(1.4 a 3.6) V	5,95
DS18B20	(-55 a 125) °C	1 wire	± 0.5 °C en (-10 a 85) °C	(3 a 5.5) V	9,95
TMP36	(-40 a 125) °C	Analógica	± 2°C en (-40 a 125) °C	(2.7 a 5.5) V	2,5
LM335	(-40 a 100) °C	Analógica	± 1 °C en (-40 a 150) °C	(5 a 40) V	2,5

4.2.2 Comparación sensores de humedad relativa

En la tabla 12 se registra los ítems de comparación de los sensores de humedad relativa.

Tabla 12 Comparación de sensores de humedad relativa.

Tabla comparativa de sensores de humedad relativa					
Sensor	Rango	Interfaz	Exactitud	Alimentación	costo(\$)
HH10D	(1 a 99) %	I2C	± 3 % en (1 a 99) %	(2.7 a 3.3) V	9,95
HU-10S	(20 a 95) %	Analógica	± 5 % en (20 a 95) %	5V	10
HIH-6130	(0 a 100) %	I2C	± 4 % en (0 a 100) %	(2.3 a 5.5) V	29,95
HTU21D	(0 a 100) %	I2C	± 3 % en (0 a 100) %	(1.5 a 3.6) V	14,95
RHT03	(0 a 100) %	1-wire	± 2 % en (0 a 100) %	(3.3 a 6) V	9,95
SHT15	(0 a 100) %	I2C	± 2 % en (0 a 100) %	(2.4 a 5.5) V	28,95

4.2.3 Comparación sensores de iluminación

En la tabla 13 se registra los ítems de comparación de los sensores de iluminación.

Tabla 13 Comparación de sensores de iluminación.

Tabla comparativa de sensores de iluminación					
Sensor	Rango	Interfaz	Temperatura de operación	Alimentación	costo(\$)
ALS-PT19	(0 a 4000) lux	Analógica	(-40 a 85) °C	(2.5 a 5.5) V	20
LDR	(10 a 100) lux	Analógica	(-30 a 70) °C	150 V máx	1,5
TSL230	(0 a 2500) lux	I2C, Analógica	(-30 a 85) °C	(3.3 o 5) V	11
TEMT6000	(10 a 1000) lux	Analógica	(-40 a 85) °C	5v	10
TEPT5700	(10 a 1000) lux	Analógica	(-40 a 85) °C	5v	14
TSL2561	(0 a 40000) lux	I2C	(-30 a 70) °C	(2.7 a 3.6) V	23

4.2.4 Comparación sensores acústicos

En la tabla 14 se registra los ítems de comparación de los sensores acústicos.

Tabla 14 Comparación de sensores acústicos.

Tabla comparativa de sensores acústicos					
Sensor	Rango	Respuesta en frecuencia	Sensibilidad	Rango de frecuencia	costo(\$)
40PH	(32 a 135) dB(A)	± 2 db en (5 a 20) Khz	50 mV/Pa	5 Hz a 20Khz	590
Microphone 2530	(32 a 135) dB(A)	± 2 db en (4 a 70000) Hz	1.45 mV/Pa	10 Hz a 50Khz	300
ADMP401	(70 a 160) dB	± 3 db en (100 a 15000) Hz	8 mV/Pa	100 Hz a 15Khz	200
Electret Microphone	(50 a 120) dB	± 3 db en (100 a 800) Hz	6.3 mV/Pa	100 Hz a 10Khz	7,95
MI-1531	(30 a 157) dB(A)	± 1 db en (10 Hz a 100Khz)	4 mV/Pa	10 Hz a 100Khz	30
MP34DT01	(63 a 120) dB	± 2 db en (100hz a 4Khz) 2/+4 en (4Khz a 10Khz)	50 mV/Pa	100 Hz a 10Khz	520

4.2.5 Comparación sensores de gas metano

En la tabla 15 se registra los ítems de comparación de los sensores de gas metano.

Tabla 15 Comparación de sensores de gas metano.

Tabla comparativa de sensores de gas metano					
Sensor	Rango	Consumo de calefacción	Alimentación	tensión de calefacción	costo(\$)
MQ-4	(200 a 10000) ppm	< 750 mW	5V	5V	4,95
TGS-3870	(1000 a 10000) ppm	38mW	5V	VHH=0.9V VHL=0.2V	7,5
Ultrakera CH4 sensor	(500 a 10000) ppm	50mW	2.5V	1.18V	6

4.2.6 Comparación sensores de monóxido de carbono

En la tabla 16 se registra los ítems de comparación de los sensores de monóxido de carbono.

Tabla 16 Comparación de sensores de monóxido de carbono.

Tabla comparativa de sensores de monóxido de carbono				
Sensor	Rango	Rango de humedad(Rh %)	Vida útil de servicio	costo(\$)
CO-A4	(0 a 500) ppm	15 a 90	4 años	10
CO-AX	(0 a 2000) ppm	15 a 90	3 años	13
CO-BF	(0 a 5000) ppm	15 a 90	3 años	16
CO-CE	(0 a 1000) ppm	15 a 90	4 años	12
CO-D4	(0 a 1000) ppm	15 a 90	4 años	11,5
MQ-7	(2 a 2000) ppm	< 95	5 años	7,25

4.2.7 Comparación sensores de GLP

En la tabla 17 se registra los ítems de comparación de los sensores de GLP.

Tabla 17 Comparación de sensores de GLP.

Tabla comparativa de sensores de GLP					
Sensor	Rango	Consumo de calefacción	Alimentación	tensión de calefacción	costo(\$)
HS133	(300 a 2000) ppm	< 800 mW	5V	5V	8
MQ-5	(200 a 10000) ppm	< 800 mW	5V	5V	11
MQ-6	(200 a 10000) ppm	< 750 mW	5V	5V	4,95
MQ-306	(100 a 10000) ppm	< 250 mW	6V	3V	7

4.2.8 Comparación sensores de alcohol

En la tabla 18 se registra los ítems de comparación de los sensores de alcohol.

Tabla 18 Comparación de sensores de alcohol.

Tabla comparativa de sensores de alcohol					
Sensor	Rango	Consumo de calefacción	Alimentación	tensión de calefacción	costo(\$)
HS130AS	(10 a 10000) ppm	< 120 mW	5V	0.9V	7
MQ-3	(0.05 a 10) mg/L	< 750 mW	5V	5V	4,95
MQ-303A	(20 a 1000) ppm	< 140 mW	6V	0.9V	10
MR513	(0 a 1000) ppm	-	3V	-	8,5

4.3 Selección de los sensores para medir las variables ambientales

4.3.1 Selección sensor de temperatura ambiental

El sensor que se requiere tiene que tener un rango en el que la temperatura ambiental se encuentra, esa condición cumplen los 6 sensores como se observa en la tabla 11. Se descarta los sensores que tienen comunicación digital ya que estos son más utilizados cuando se tienen redes de sensores. [51] De los 4 sensores que tienen interfaz analógica se elige el LM35 debido a que su precio es relativamente bajo en compensación de ofrecer una exactitud de 0.75°C.

4.3.2 Selección sensor de humedad relativa

Como se observa en la tabla 12, de los 6 sensores 4 tienen comunicación I2C y 1 1-wire estos tipos de comunicación son utilizados cuando se tiene múltiples maestros y múltiples esclavos en redes de sensores por tal motivo se descartan estos sensores, además cuenta con una exactitud de $\pm 1.5\%$ en todo el rango de medición, por lo tanto, se elige el sensor HU-10S.

4.3.3 Selección sensor de iluminación

Para la selección del sensor de iluminación se toma en cuenta la tabla 1 en donde se observa que se necesita un sensor que tenga un rango de medición amplio por tal razón como se observa en la tabla 13, los sensores que cumplen ese requerimiento son: el ALS-PT19, el TSL2561 y el TSL230. Para el primer sensor se tiene un amplio rango de medición, una interfaz analógica y su costo es elevado. En el segundo sensor cuenta con una interfaz I2C, por lo tanto se descarta como opción. El sensor TSL230 tiene un rango

de medición aceptable del que se pretende medir y su costo es la mitad del sensor ALS-PT19. Por lo tanto se elige el sensor TSL230.

4.3.4 Selección sensor acústico

En los sensores acústicos cuanto mayor sea su sensibilidad es mejor ya que la señal de salida será mayor, por lo tanto, tendrá mejor respuesta a señales de bajo nivel de presión sonora. [52] Por ese motivo los sensores que cumplen con esa propiedad son: el 40 PH y el MP34DT01 como se muestra en la tabla 14. Sin embargo, el micrófono 40 PH se tiene en existencia como parte del proyecto de investigación DIDE, por lo tanto se escoge este sensor.

4.3.5 Selección sensor de gas metano

Para la medición de gas metano se elige el sensor MQ-4 ya que cuenta con un rango de medición amplio como se observa en la tabla 15 y además se tiene en existencia como parte del proyecto DIDE.

4.3.6 Selección sensor de monóxido de carbono

La vida de servicio es importante en un sensor, el sensor MQ-7 tiene una vida de servicio larga, un rango amplio de medición como se muestra en la tabla 16 y además se tiene en existencia como parte del proyecto de investigación DIDE.

4.3.7 Selección sensor de GLP

Los sensores de GLP de la tabla 17 tienen características similares, pero por tener en existencia el sensor MQ-6 como parte del proyecto de investigación DIDE se elige este sensor.

4.3.8 Selección sensor de alcohol

Los sensores mostrados en la tabla 18 tienen características similares pero se puede observar que los sensores MQ-3 y MR-513 tienen una fuente de alimentación de un solo nivel de voltaje DC de esa manera no es necesario circuitos auxiliares para generar otros niveles de voltaje, de los 2 sensores se elige el sensor MQ-3 ya que se tiene en existencia como parte del proyecto de investigación DIDE.

4.4 Revisión de las normas ambientales y de seguridad industrial vigentes en el Ecuador

Para la revisión de la normativa se toma en cuenta la pirámide Kelsen ya que ésta proporciona un orden jerárquico de los documentos legales, en la figura 29 se observa la estructura de la pirámide de Kelsen. [53]



Fig. 29 Pirámide normativa de Kelsen. [54]

4.4.1 Constitución política del Ecuador

De acuerdo con la pirámide de Kelsen el documento legal de más relevancia es la constitución política, de esta manera se revisa la constitución política del Ecuador en cuanto a artículos relacionado con el ambiente de trabajo como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19 Artículos relacionados con el ambiente de trabajo. [55]

Constitución Política del Ecuador 2008					
Titulo	Capítulo	Sección	Artículo	Numeral/Literal	Detalle
VI	5	Tercera	326	N:5	Toda persona tendrá derecho a desarrollar sus labores en un ambiente adecuado y propicio, que garantice su salud, integridad, seguridad, higiene y bienestar.

II	2	Segunda	66	N: 27	Reconocer y garantizar a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.
VII	1	Segunda	364	-	Al Estado le corresponderá desarrollar programas coordinados de información, prevención y control del consumo de alcohol, tabaco y sustancias estupefacientes y psicotrópicas.

4.4.2 Tratados y convenios internacionales

En el primer nivel de la pirámide de Kelsen después de la constitución política del Ecuador, se tiene los tratados y acuerdos internacionales. En la página oficial del ministerio del ambiente se tiene los tratados y convenios internacionales como:

- Convenio de Estocolmo
- SAICM
- Convención marco de las naciones unidas para el cambio climático.
- Convenio de Basilea
- Convenio de Rotterdam
- Protocolo de Montreal

Estos convenios internacionales están más dedicados a resolver la problemática del calentamiento global y problemas ambientales que afectan al planeta en general pero en cuanto a artículos relacionados al ambiente de trabajo no se encontraron.

4.4.3 Leyes orgánicas y ordinarias

El nivel de menor jerarquía que los convenios y tratados internacionales son las leyes. Las leyes relacionadas con el ambiente son las siguientes:

- Ley de gestión ambiental

En la ley de gestión ambiental se explican principios y directrices de la política de ambiental; responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado

en la gestión ambiental pero no se encuentra artículos relevantes en cuanto al ambiente de trabajo.

- Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre

En la ley forestal se trata temas acerca de la conservación de áreas naturales y vida silvestre.

- Ley orgánica de transporte terrestre, tránsito, y seguridad vial.

En la ley orgánica de transporte se encuentra los siguientes ítems sobre los niveles máximos permisibles de alcohol en las personas que conducen un vehículo, como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20 Niveles máximos permisibles de alcohol en personas que conduzcan un vehículo. [56]

Ley orgánica de transporte terrestre, tránsito, y seguridad vial.						
Libro	Título	Capítulo	Sección	Artículo	Numeral	Detalle
III	III	5	Séptima	145.2	1	Si el nivel de alcohol por litro de sangre excede de 0,3 gramos y es inferior a 0,8 gramos, se aplicará la multa de una remuneración básica del trabajador en general, pérdida de cinco (5) puntos en su licencia de conducir y cinco (5) días de prisión
III	III	5	Séptima	145.2	2	Si el nivel de alcohol por litro de sangre es de 0,8 gramos o más, se aplicará la multa de una remuneración básica del trabajador en general, pérdida diez (10) puntos en su licencia de conducir y quince (15) días de prisión
III	III	5	Séptima	145.3	-	En el caso del conductor que condujere un vehículo de transporte público, comercial o de carga, la tolerancia al consumo de cualquier sustancia estupefaciente o drogas es cero, y un nivel máximo de alcohol de 0,1 gramos por cada litro de sangre. En caso de exceder dicho límite será sancionado con una multa de dos remuneraciones básicas unificadas del trabajador en general, pérdida de treinta (30) puntos en su licencia de conducir y sesenta (60) días de prisión

4.4.4 Decretos del gobierno

- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria(TULAS)

En el tercer nivel de la pirámide de Kelsen se tiene los decretos del gobierno como lo es el TULAS donde se mencionan varios ítems acerca del ambiente de trabajo.

En el libro VI anexo IV artículo 4.1.2.1 se menciona lo siguiente: “La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico ($10\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder cuarenta mil microgramos por metro cúbico ($40\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de una vez en un año”.

- Decreto ejecutivo 2393

En el artículo 55 se menciona literal 7 se menciona acerca de los valores máximos permisibles del ruido medidos en decibelios tipo A, en la tabla 21 se observa de manera más detallada estos niveles.

Tabla 21 Niveles sonoros en dBA en función del tiempo de exposición. [57]

Nivel sonoro (dBA)	Tiempo de exposición por jornada/hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0,25
115	0,125

En el artículo 56 se encuentra los niveles mínimos de iluminación para ciertas áreas de trabajo que se explican a más detalle en la tabla 22.

Tabla 22 Niveles de iluminación mínima para ciertos tipos de trabajos. [57]

Niveles de iluminación mínima para trabajos específicos y similares	
Iluminación mínima	Actividades
20 luxes	Pasillos, patios y lugares de paso
50 luxes	Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos

100 luxes	Cuando sea necesaria una ligera distinción de detalles como: fabricación de productos de hierro y acero, taller de textiles y de industria manufacturera; salas de máquinas y calderos, ascensores.
200 luxes	Si es esencial una distinción moderada de detalles, tales como: talleres de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas.
300 luxes	Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, tales como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía.
500 luxes	Trabajos en que sea indispensable una fina distinción de detalles, bajo condiciones de contraste, tales como: corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo.
1000 luxes	Trabajos en que exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difícil es, tales como: trabajos con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónicos, relojería.

En cuanto a los dos últimos escalones de la pirámide de Kelsen no se encuentra normativa relacionada con las variables que se mide, por lo tanto se sujeta a normas internacionales y documentos certificados. Se revisa las hojas MSDS, un dato característico que parece en ésta hoja son los TLV por ejemplo para el metano tenemos la siguiente información de la hoja MSDS que se muestra en la tabla 23.

Tabla 23 Datos característicos del gas metano según la hoja MSDS

Hoja de datos de seguridad del gas Metano	
Especificación	Detalle
Peligro incendio	Extremadamente inflamable
Inhalación	Produce asfixia
Almacenamiento	Mantener en un lugar fresco A prueba de incendio
Peligro físico	Gas más ligero que el aire
Estado físico	Gas licuado o comprimido inoloro e inoloro
Límite de exposición (TLVA)	1000 ppm

De la misma forma se observa en la tabla 24 datos relevantes acerca del gas licuado de petróleo.

Tabla 24 Datos característicos del gas licuado de petróleo según la hoja MSDS

Hoja de datos de seguridad del gas licuado de petróleo	
especificación	Detalle
Inflamabilidad	Muy alto
Inhalación	Asfioxante simple

Almacenamiento	Lejos de fuentes de ignición y calor
Límite de exposición (TLVA)	1000 ppm

Además se recurre a las normas técnicas de prevención (NTP) que son normas españolas desarrolladas por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). En la NTP 501 que hace relación al ambiente térmico se establece valores de referencia de humedad relativa en los ambientes de trabajo de 30% a 70% excepto de los locales donde exista riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será de 50%. Además establece un rango de temperaturas general de 14 a 27 °C para que la persona no tenga riesgo de sufrir estrés térmico. Además en la Unión General de Trabajadores (UGT) que es una organización sindical obrera española también se establece los mismos parámetros en el documento denominado ficha de prevención de la temperatura en los centros de trabajo.

En la tabla 25 se presenta un resumen de los valores máximos permisibles que se encuentran en las normas de las variables a medir.

Tabla 25 Resumen de los valores máximos permisibles encontrados en la normativa.

Variable	Valor de característico
Temperatura	Entre (14 a 27)°C
Humedad	Entre (30 y 70) % excepto lugares con riesgo eléctrico (50%)
Iluminación	Depende del lugar (más detalle en la tabla 24)
Ruido	85 dBA (8 horas de jornada, más detalle en la tabla 21)
Metano	1000 ppm
Monóxido de carbono	50 ppm(en 1 hora)
GLP	1000 ppm
Alcohol	0,8 gramos de alcohol por litro de sangre 0,3 gramos de alcohol por litro de sangre 0,1 gramos de alcohol por litro de sangre

4.5 Revisión de la hoja de datos de la tarjeta FPGA.

En la tabla 26 se registra las características de la tarjeta sb-rio 9631.

Tabla 26 Especificaciones de la tarjeta sb-rio 9631.

Tarjeta sb-rio 9631	
Especificación	Detalle
Velocidad procesador	266 MHz

Memoria no volátil	128 MB
Memoria del sistema	64 MB
Entradas/salidas digitales	110 canales
Entradas digitales	3.3V típico
	5.25V máx.
	3 mA por canal
Salidas digitales	3.3V máx.
	3 mA por canal
Entradas analógicas	32 canales de un solo terminal ó 16 diferencial
	16 bits de resolución ADC
	Rango de entrada nominal: $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 1V$, $\pm 0.2V$
	Impedancia de entrada: $10\ G\Omega$
Salidas analógicas	4 canales de salida analógica
	16 bits de resolución DAC
	Rango de salida: $\pm 10V$
	3 mA por canal
	Impedancia de salida: $0.1\ \Omega$
Alimentación	19-30 VDC
	1.8 A
Temperatura de operación	(-20 a 55) °C

En la figura 30 se observa un esquema general de los elementos y conectores que tiene la tarjeta sb-RIO y en la tabla 27 se describe detalladamente a que se hace referencia.

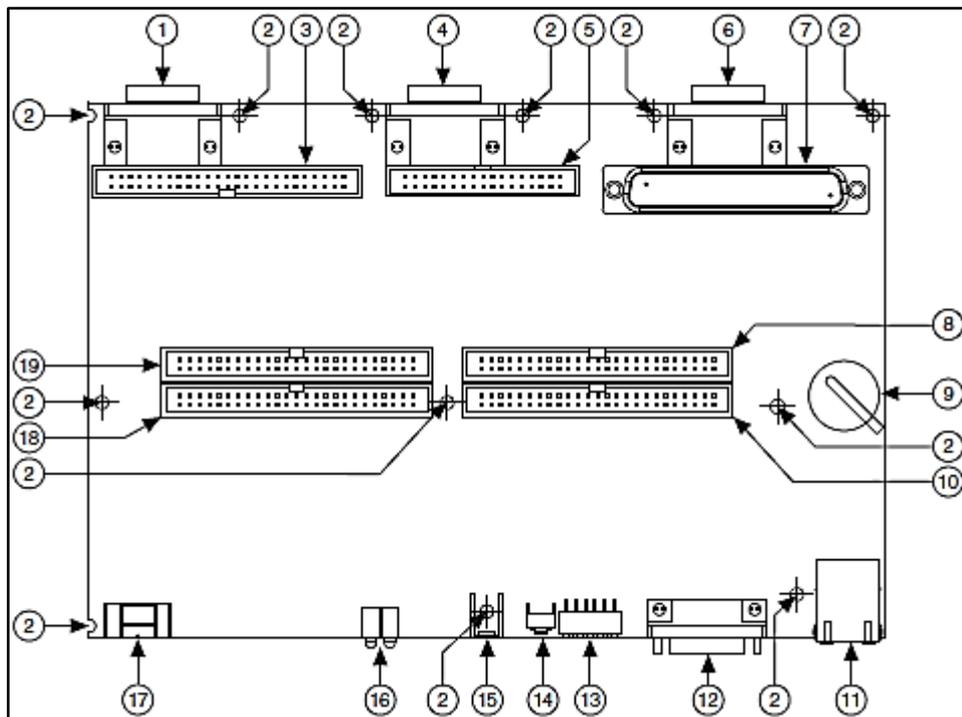


Fig. 30 Esquema general de los elementos y conectores que tiene la tarjeta FPGA. [58]

Tabla 27 Esquema general de la tarjeta FPGA.

Esquema general de la tarjeta FPGA	
Nº	Detalle
1	Conector para el módulo de la serie C #3
2	Agujeros de montaje
3	Conector de entradas/salidas analógicas
4	Conector para el módulo de la serie C #2
5	Entrada digital 24 V(solo sbRIO 964x)
6	Conector para el módulo de la serie C #1
7	Salida digital 24 V(solo sbRIO 964x)
8	Conector P4 3.3 V entradas/salidas digitales
9	Batería de reserva
10	Conector P2 3.3 V entradas/salidas digitales
11	Puerto Ethernet RJ-45
12	Puerto serial RS-232
13	DIP switches
14	Botón de reseteo
15	Conector para terminal de tierra
16	LEDs
17	Conector de alimentación
18	Conector P3 3.3 V entradas/salidas digitales
19	Conector P5 3.3 V entradas/salidas digitales

La descripción de los pines de los conectores digitales y analógicos aparece en los anexos 1, 2, 3, 4 y 5.

4.6 Acondicionamiento de señal de sensores

4.6.1 Acondicionamiento sensor de temperatura

De la hoja de datos del sensor LM35 (Anexo6) se observa un esquema general del sensor como se muestra en la figura 31.

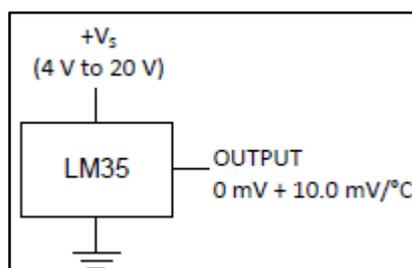


Fig. 31 Esquema del sensor LM35

Como es una salida muy pequeña de voltaje se utiliza un amplificador operacional y se realiza el circuito que se observa en la figura 32.

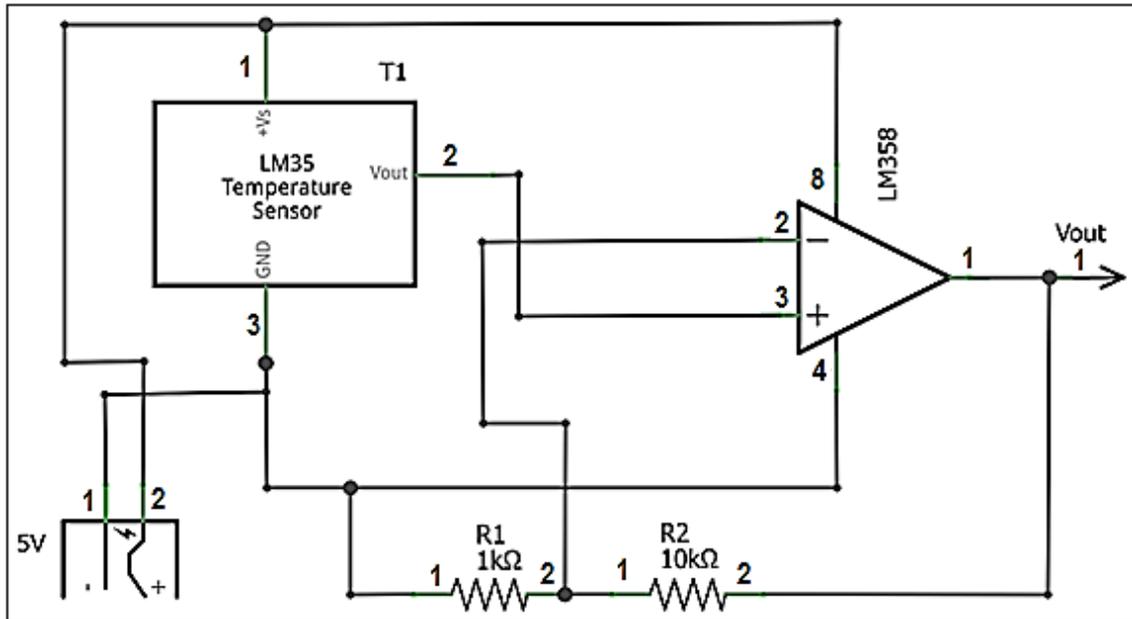


Fig. 32 Circuito de amplificación del sensor LM35

Por medio de la ecuación (4) se calcula el voltaje de salida V_{out} amplificado de la señal del sensor LM35.

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (4)$$

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{10k}{1k} \right)$$

$$V_{out} = V_{in}(11)$$

$$V_{out} = \left(\frac{10mV}{^{\circ}C} \right) (11) = \frac{110mV}{^{\circ}C}$$

Como se observa en el resultado de la ecuación anterior el factor de ganancia en voltaje es de 11 veces el voltaje que proporciona el sensor LM35. En otras palabras existirá un cambio de un grado centígrado cada 110 mV. En la figura 33 se observa la curva característica del sensor con el circuito de acondicionamiento y además la ecuación de la

recta temperatura vs. voltaje de salida del sensor. El sensor viene calibrado de fábrica así que no existe la necesidad de calibración.

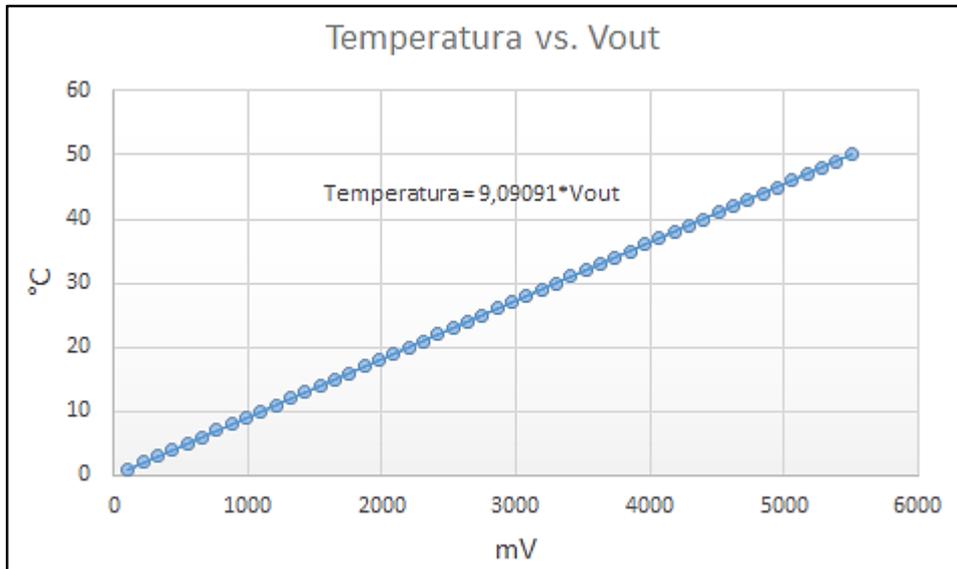


Fig. 33 Curva característica del sensor con el circuito de acondicionamiento.

Por lo tanto mediante la ecuación (5) se calcula la temperatura en función del voltaje de salida amplificado.

$$Temperatura[{}^{\circ}C] = 9,09091 * Vout \quad (5)$$

4.6.2 Acondicionamiento sensor de humedad

En base al datasheet (Anexo 7) se obtiene la descripción de los pines del sensor como se muestra en la figura 34.

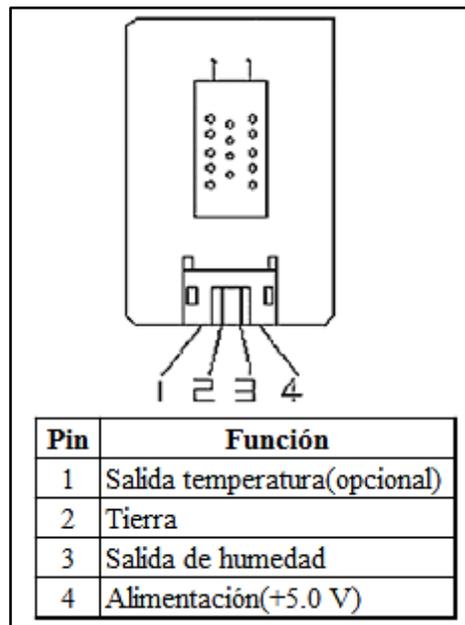


Fig. 34 Descripción de los pines del sensor HU-10S.

La curva característica del sensor HU-10S responde a los valores de la tabla 28(Anexo 7)

Tabla 28 valores de la curva característica del sensor %RH vs. Vout

%RH	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Voltaje de Salida (V)	1.30	1.43	1.56	1.68	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20
%RH	65	70	75	80	85	90	95		
Voltaje de Salida (V)	2.30	2.40	2.48	2.56	2.63	2.70	2.76		

Se ingresa los datos en Excel para realizar un análisis de dispersión y obtener la ecuación que satisface los datos de la tabla 28, como se puede observar en la figura 35.

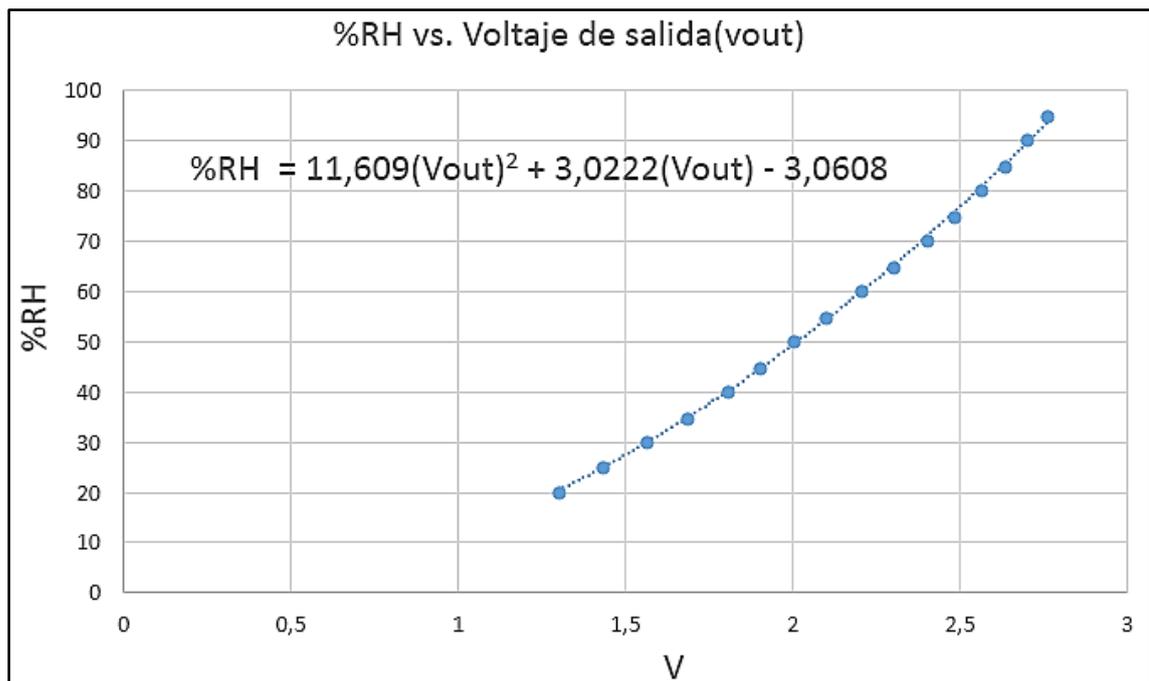


Fig. 35 Curva característica del sensor de Humedad relativa vs. Voltaje de salida del sensor.

Por lo tanto, mediante la ecuación (6) se calcula el porcentaje de humedad relativa en función del voltaje de salida del sensor.

$$Humedad[\%RH] = 11,609(Vout)^2 + 3,0222(Vout) - 3,0608 \quad (6)$$

4.6.3 Acondicionamiento del sensor de iluminación

Se revisa el datasheet del sensor (Anexo 8) para identificar los pines de conexión como se muestra en la figura 36. En ésta figura se muestra que el sensor puede ser alimentado con 5V o 3.3V, pero como se observa en el puertos digitales de la tarjeta sb-rio (Anexo 1) ésta proporciona un voltaje para alimentación de dispositivos, por esta razón se elige alimentar al sensor con 5V. Además se aprecia que el voltaje de salida del sensor se calcula mediante la ecuación (7).

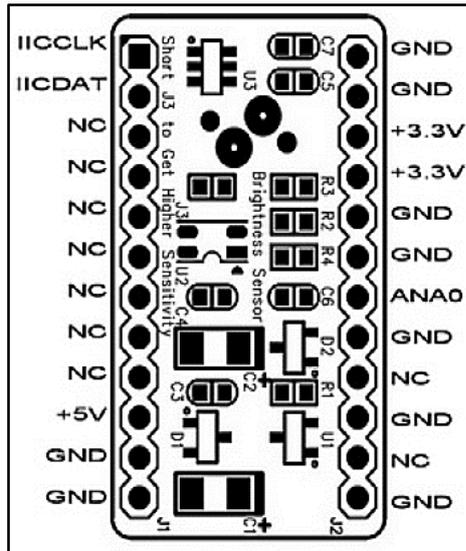


Fig. 36 Descripción de los pines de conexión.

$$Iluminación[lux] = ANAO * 1000 \quad (7)$$

Debido a que la salida analógica del sensor es en milivoltios se utiliza un amplificador operacional para eliminar el efecto de ruido en la medición, por lo tanto se realiza el circuito que se muestra en la figura 37 en donde los pines 1 y 2 son para la alimentación del sensor (MM1616) y el pin 3 es la salida analógica del sensor (MM1616) que ingresa al amplificador operacional.

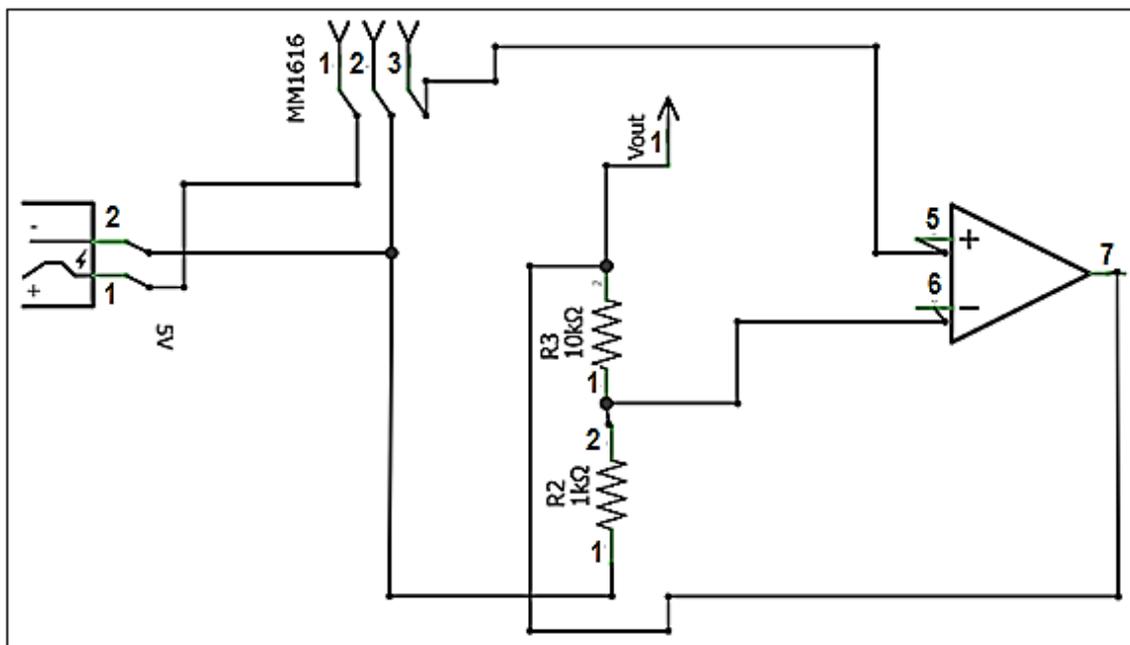


Fig. 37 Acondicionamiento de señal sensor de iluminación.

Por medio de la ecuación (4) se calcula el voltaje de salida V_{out} amplificado de la señal.

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{10k}{1k}\right)$$

$$V_{out} = V_{in}(11)$$

La ecuación 7 permite calcular la iluminación en unidad de luxes, sin embargo debido a la amplificación que se realiza para eliminar el ruido la señal se amplifica 11 veces se realiza una división entre 1000 y 11 para obtener el factor que se debe multiplicar para cumplir con la condición de la ecuación (7), por lo tanto mediante la ecuación (8) se calcula el valor de la iluminación en función del valor de salida del sensor después de la amplificación.

$$Iluminación2[lux] = v_{out} * 90,9091 \quad (8)$$

4.6.4 Acondicionamiento del sensor acústico.

Debido a que la empresa G.R.A.S. Sound & Vibration que fabrica el micrófono 40 ph está asociada con National Instruments deben cumplir rigurosos estándares de calidad y calibración. Además están hechos de manera que conjuntamente con el hardware de National Instruments el usuario no tenga que realizar ningún circuito extra para la medición de señales. Otro factor importante es que National Instruments proporciona toolkits específicos para manejar los dispositivos que ofrece, para el caso del micrófono 40 ph es el NI Sound & Vibration.

El dato más importante que se extrae de la hoja de datos del sensor (Anexo 9) es el de su sensibilidad que es igual a 50 mV/Pa. Este dato es necesario cuando se utiliza en toolkit NI Sound & Vibration para interpretación de las señales del sensor.

En la figura 38 se observa un esquema de la conexión del micrófono



Fig. 38 Esquema de conexión del micrófono 40PH.

Se revisa el datasheet del módulo de la serie C NI 9234 (Anexo 10) y se muestra las siguientes características en la tabla 29.

Tabla 29 Especificaciones del módulo de la serie C NI 9234.

Ítem	Detalle
Número de canales	4
Resolución del ADC	24 bits
Velocidad de muestreo	51.2 Ks/s
Máximo voltaje de entrada analógica	5V
Muestreo simultaneo	Si
Impedancia de entrada	305 K Ω
Excitación de corriente	2 mA
Temperatura de operación	(-40 a 70) °C

4.6.5 Acondicionamiento sensor de gas metano

Para el acondicionamiento del sensor MQ-4 se sigue el diagrama que se muestra en la figura 39.

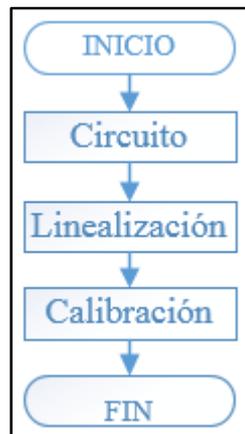


Fig. 39 Diagrama para el acondicionamiento del sensor MQ-4.

- Circuito

En base a la hoja de datos (Anexo 11) se obtiene el diagrama de conexión para el sensor, como se observa en la figura 40.

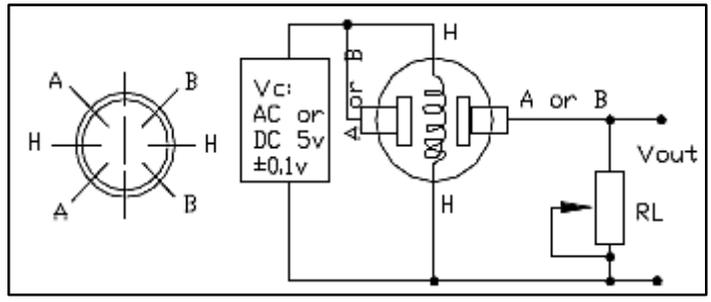


Fig. 40 Esquema de conexión del sensor

En la figura 41 se observa un esquema detallado de conexión con una RL recomendada.

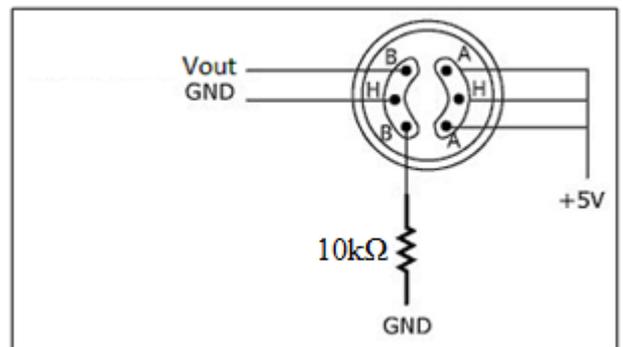


Fig. 41 Esquema detallado de conexión del sensor

- Linealización

En base la curva característica del sensor en la hoja de datos (Anexo 11) se obtienen los siguientes valores que se muestran en la tabla 40.

Tabla 30 Relación de Rs/Ro vs. PPM.

ppm	Rs/Ro	ppm	Rs/Ro
10000	0,45	1000	1
9000	0,46	900	1,06
8000	0,48	800	1,13
7000	0,5	700	1,2
6000	0,54	600	1,26
5000	0,58	500	1,33
4000	0,63	400	1,46
3000	0,69	300	1,6
2000	0,79	200	1,8

Se obtiene la ecuación de la curva característica del sensor mediante la tabla 32 como se observa en la figura 42. Además el coeficiente de correlación cercano a 1 indica que la ecuación relaciona la mayoría de los datos.

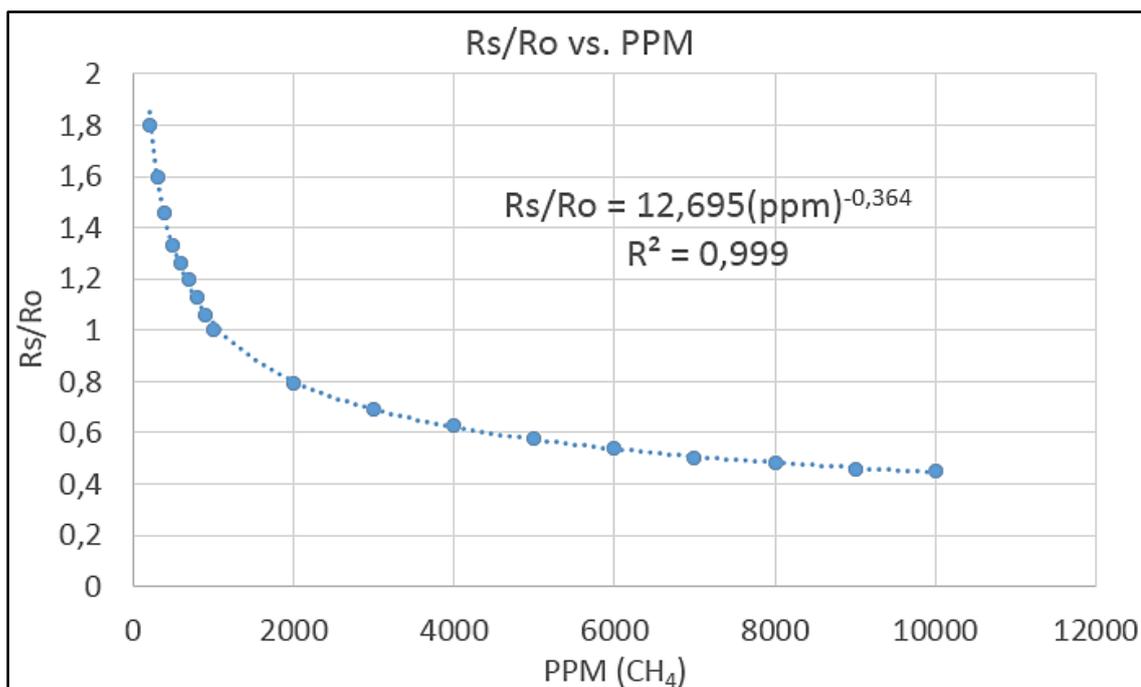


Fig. 42 Curva Rs/Ro vs. PPM (CH₄) del sensor MQ-4.

Por lo tanto, mediante la ecuación (9) se obtiene la relación de Rs/Ro en función de PPM de gas metano (CH₄).

$$R_s = R_o * 12,695(ppm)^{-0,364} \quad (9)$$

Donde:

Rs: Es la resistencia del sensor en varias concentraciones de gases.

ppm: Partes por millón de gas metano.

Ro: Resistencia del sensor en 1000 ppm de CH₄ en aire limpio.

El circuito de medición proporciona un circuito divisor de voltaje [59]. Por lo tanto mediante la ecuación (10) se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

$$R_s = \frac{(V_{cc} - V_{out})}{V_{out}} * R_L \quad (10)$$

Donde:

V_{cc}: Voltaje del circuito del sensor que es igual a 5V.

V_{out}: Voltaje de salida del sensor.

RL: Resistencia de carga que para el sensor MQ-4 es igual a 10kΩ.

Al igualar la ecuación (9) con la ecuación (10) se obtiene la ecuación (11) la cual muestra el valor de ppm de gas metano en función del voltaje de salida del sensor.

$$\frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * RL = R_o * 12,695(ppm)^{-0,364}$$

$$\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{RL}{R_o * 12,695} = (ppm)^{-0,364}$$

$$\ln (ppm)^{-0,364} = \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{R_o * 12,695} \right]$$

$$-0,364 \ln(ppm) = \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{R_o * 12,695} \right]$$

$$\ln(ppm) = \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{R_o * 12,695} \right]}{-0,364}$$

$$ppm = e^{\left[\frac{\ln \left(\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{R_o * 12,695} \right)}{-0,364} \right]} \quad (11)$$

- Calibración

Como se observa en el datasheet el sensor es sensible a muchos gases pero mediante un factor de calibración el sensor responde a gas metano. El factor de calibración es Ro, que es la resistencia del sensor a 1000 ppm de gas metano en aire limpio, también el datasheet indica un rango en que está el valor de la resistencia de calibración, el valor de Ro esta entre 10kΩ y 60kΩ. Este rango de valores se utiliza para realizar las comparaciones con el instrumento patrón. El proceso de determinación de Ro se describe en la sección 4.9.2.

4.6.6 Acondicionamiento sensor de monóxido de carbono

Para el acondicionamiento del sensor se sigue el diagrama de la figura 39.

- Circuito

Se revisa el datasheet del sensor (Anexo 12) para el esquema de conexión del sensor como se observa en la figura 43.

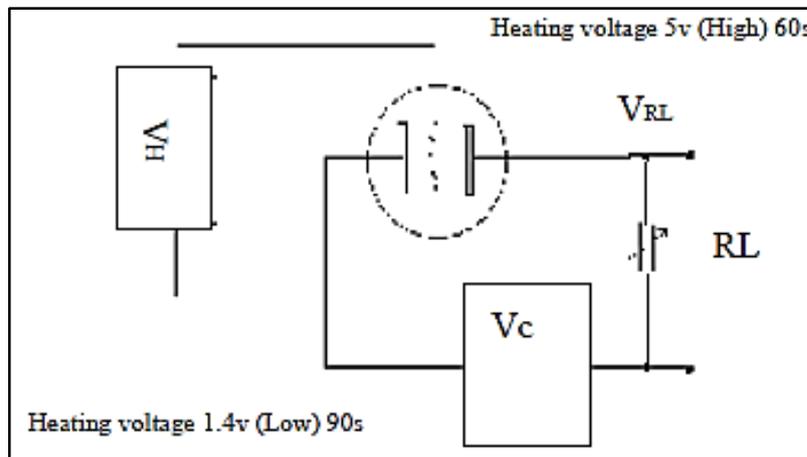


Fig. 43 Esquema de conexión para el sensor MQ-7.

Para este sensor el voltaje de calefactor (VH) tiene que obedecer unos intervalos de tiempo que se muestran en la figura 44.

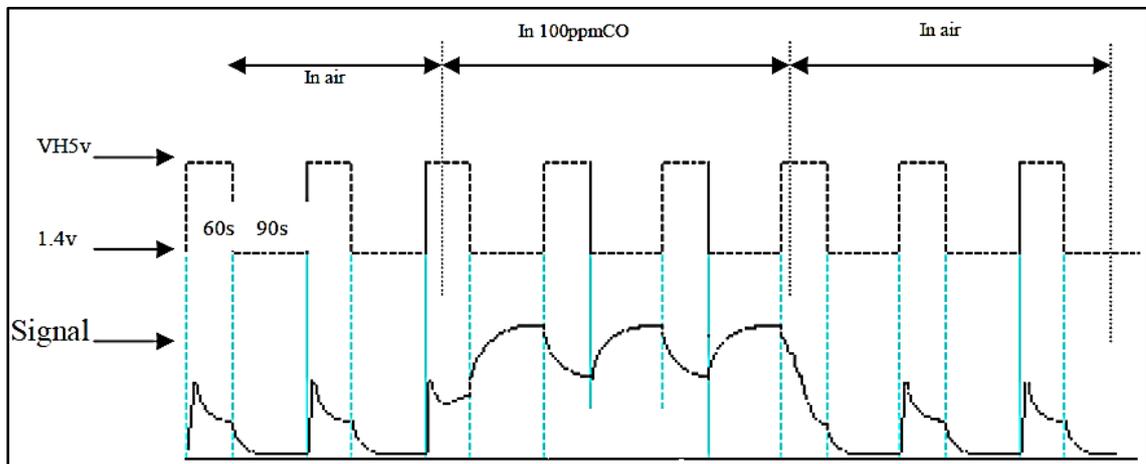


Fig. 44 Intervalos de tiempo para el voltaje de calefactor del sensor MQ-7

En la figura 45 se observa el circuito completo para el sensor MQ-7, se utiliza un puerto de salida digital de la tarjeta sb-rio para generar el intervalo de 60 segundos en 5v y 90 segundos en 1.4v.

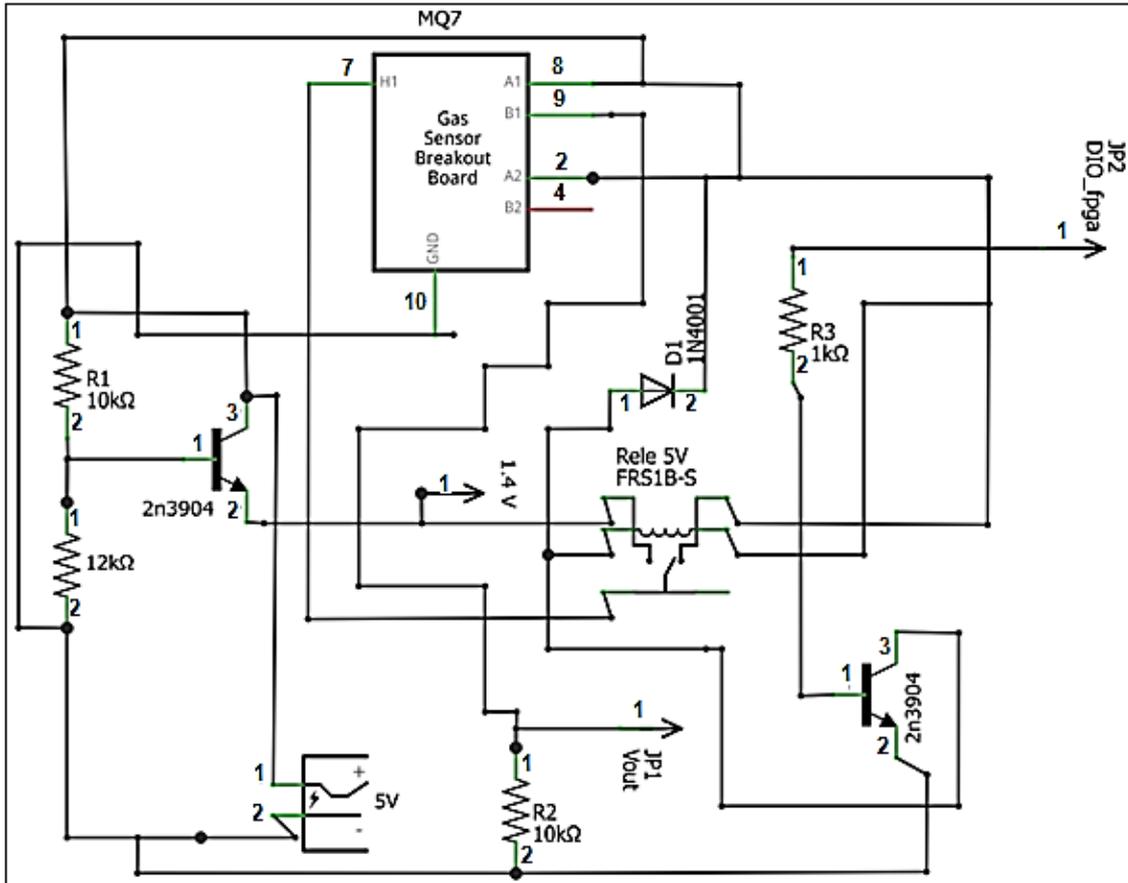


Fig. 45 Circuito para el sensor MQ-7.

- Linealización

En base al datasheet se obtienen los siguientes datos que se muestran en la tabla 31.

Tabla 31 Valores de PPM de monóxido de carbono en función de R_s/R_o

Ppm (CO)	R_s/R_o
4000	0,05
3000	0,065
2000	0,086
1000	0,15
600	0,2
400	0,27
100	1
40	1,4

Mediante la tabla 31 se ingresa los valores al software Microsoft Excel para realizar un análisis de dispersión y encontrar la ecuación que satisfaga los datos como se puede

observar en la figura 46. Además el coeficiente de correlación de los datos cercano a 1 da la seguridad de que la ecuación abarca la mayoría de los datos.

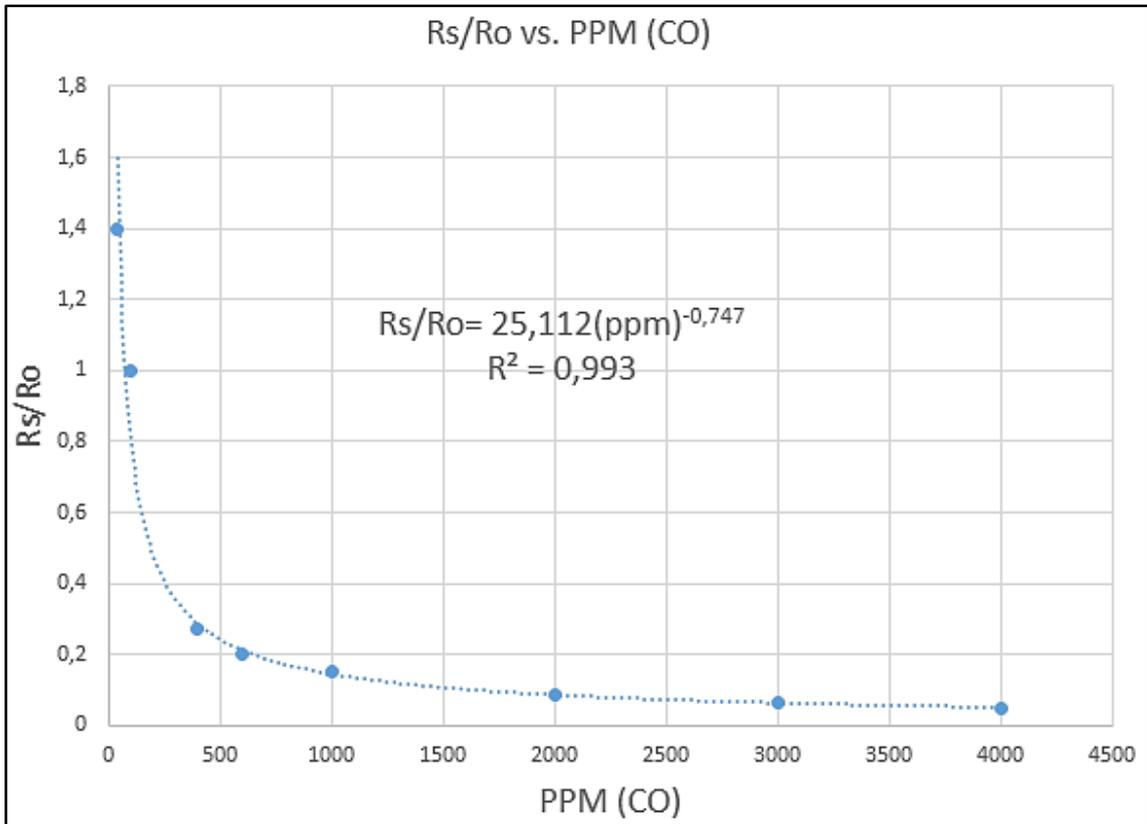


Fig. 46 Curva característica del sensor PPM (CO) vs. Rs/Ro.

Por lo tanto, el valor de Rs se puede calcular mediante la ecuación (12).

$$Rs = Ro * 25,112(ppm)^{-0,747} \quad (12)$$

Donde:

Rs: Es la resistencia del sensor en varias concentraciones de gases.

ppm: Es el número de partes por millón de monóxido de carbono (CO).

De la misma manera el circuito equivalente para este sensor es un divisor de voltaje que se calcula mediante la ecuación (10) con la diferencia que la resistencia de carga RL para el sensor MQ-7 es igual a 20kΩ.

Se iguala la ecuación (10) con $R_L=20\text{ k}\Omega$ con la ecuación (12) para obtener la ecuación (13) que sirve para encontrar el valor de ppm de monóxido de carbono en función del voltaje de salida del sensor MQ-7.

$$\begin{aligned} \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * R_L &= R_o * 25,112(ppm)^{-0,747} \\ \frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 25,112} &= (ppm)^{-0,747} \\ \ln(ppm)^{-0,747} &= \ln\left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 25,112}\right] \\ -0,747 \ln(ppm) &= \ln\left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{R_o * 25,112}\right] \\ \ln(ppm) &= \frac{\ln\left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 25,112}\right]}{-0,747} \\ ppm &= e^{\left[\frac{\ln\left(\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 25,112}\right)}{-0,747}\right]} \end{aligned} \quad (13)$$

- Calibración

En base a la hoja de datos del sensor se observa que el valor de la resistencia de calibración R_o se obtiene mediante una condición específica en el ambiente que es de 100 ppm de monóxido de carbono (CO) en aire limpio. Además, en datasheet también proporciona un rango de valores en el que se encuentra comprendido R_o , que es entre $2\text{ k}\Omega$ y $20\text{ k}\Omega$. Este rango se utiliza para realizar las comparaciones con el instrumento patrón que se describen en detalle en el apartado 4.9.2.

4.6.7 Acondicionamiento sensor GLP

Para el acondicionamiento del sensor se sigue el diagrama de la figura 39.

- Circuito

Se revisa el datasheet del sensor (Anexo 13) para el esquema de conexión del sensor como se observa en la figura 40. Además, R_L recomendada para el sensor es $20\text{ k}\Omega$.

- Linealización

En base a curva característica del sensor en respuesta a GLP se obtienen los datos mostrados en la tabla 32.

Tabla 32 valores de Rs/Ro en función PPM (GLP).

PPM (GLP)	Rs/Ro
10000	0,39
7000	0,45
5000	0,51
3000	0,64
2000	0,75
1620	0,85
1000	1
800	1,12
500	1,42
200	2

Se obtiene la ecuación de la curva característica del sensor de Rs/Ro en función de ppm de GLP mediante la tabla 32 como se observa en la figura 47. Además el coeficiente de correlación cercano a 1 indica que la ecuación relaciona la mayoría de los datos.

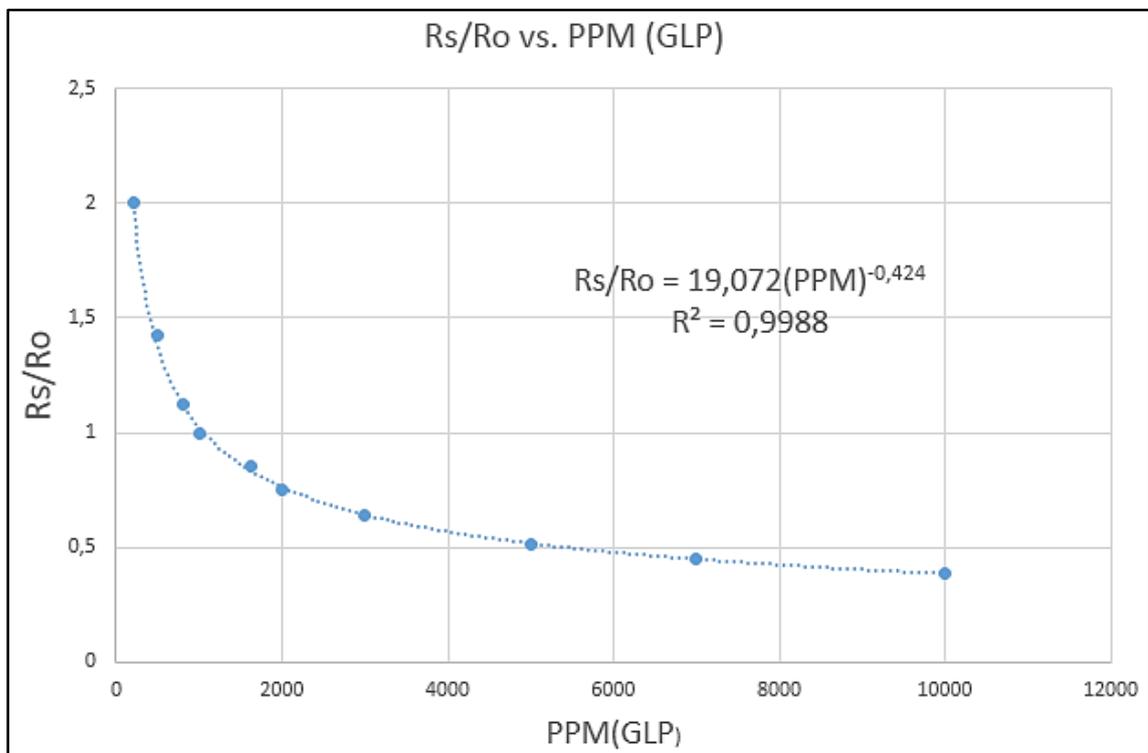


Fig. 47 Curva del sensor MQ-6 Rs/Ro vs. PPM (GLP)

Por lo tanto, el valor de R_s se puede calcular mediante la ecuación (14).

$$R_s = R_o * 19,072(ppm)^{-0,424} \quad (14)$$

Donde:

R_s : Es la resistencia del sensor en varias concentraciones de gases.

ppm: Es el número de partes por millón de GLP.

El circuito de medición proporciona un circuito divisor de voltaje [59]. Por lo tanto mediante la ecuación (10) se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

Se relaciona la ecuación (10) con la ecuación (14) para obtener la ecuación (15) la cual permite calcular el número de PPM (GLP) en función del voltaje de salida del sensor.

$$\begin{aligned} \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * R_L &= R_o * 19,072(ppm)^{-0,424} \\ \frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 19,072} &= (ppm)^{-0,424} \\ \ln (ppm)^{-0,424} &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 19,072} \right] \\ -0,424 \ln(ppm) &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 19,072} \right] \\ \ln(ppm) &= \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 19,072} \right]}{-0,424} \\ ppm &= e^{\left[\frac{\ln \left(\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{R_o * 19,072} \right)}{-0,424} \right]} \end{aligned} \quad (15)$$

- Calibración

Para calcular R_o se debe generar una condición especial en el ambiente que es 1000 ppm de GLP en aire limpio. Sin embargo, en la hoja de datos del sensor proporciona un rango de valores en el que se encuentra la resistencia de calibración R_o , que está entre 10k Ω y

60k Ω , valores que se utiliza para realizar las comparaciones con el instrumento patrón. El proceso de determinación de R_o se detalla en la sección 4.9.2.

4.6.8 Acondicionamiento sensor de alcohol

Para el acondicionamiento del sensor se sigue el diagrama de la figura 39.

- Circuito

Se revisa el datasheet del sensor (Anexo 14) para el esquema de conexión del sensor como se observa en la figura 40. Además, R_L recomendada para el sensor es 200 k Ω , sin embargo al conectar el sensor con una resistencia tan grande consume mucho voltaje y no se aprecia los cambios en la variable, se realiza varias pruebas y con una resistencia de carga de 10k Ω se tiene una mejor sensibilidad. Por lo tanto en la figura 48 se observa un esquema detallado de la conexión del sensor MQ-3.

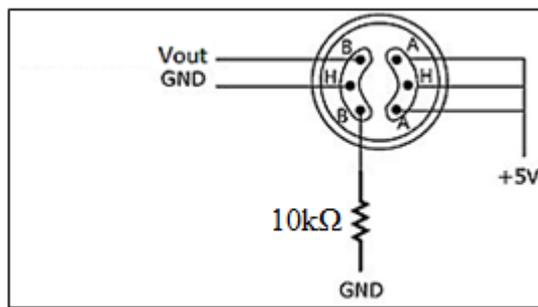


Fig. 48 Esquema detallado para la conexión del sensor MQ-3.

- Linealización

En base al datasheet se obtienen los siguientes datos que se muestran en la tabla 33.

Tabla 33 valores de R_s/R_o en función mg/L (alcohol)

mg/L	10	8	6,2	4,1	2,6	1,72	1,1	0,4	0,219	0,1
R_s/R_o	0,119	0,14	0,161	0,2	0,29	0,4	0,51	1	1,6	2,33

Mediante la tabla 33 se ingresa los valores al software Microsoft Excel para realizar un análisis de dispersión y encontrar la ecuación que satisfaga los datos como se puede observar en la figura 49. Además el coeficiente de correlación de los datos cercano a 1 da la seguridad de que la ecuación abarca la mayoría de los datos.

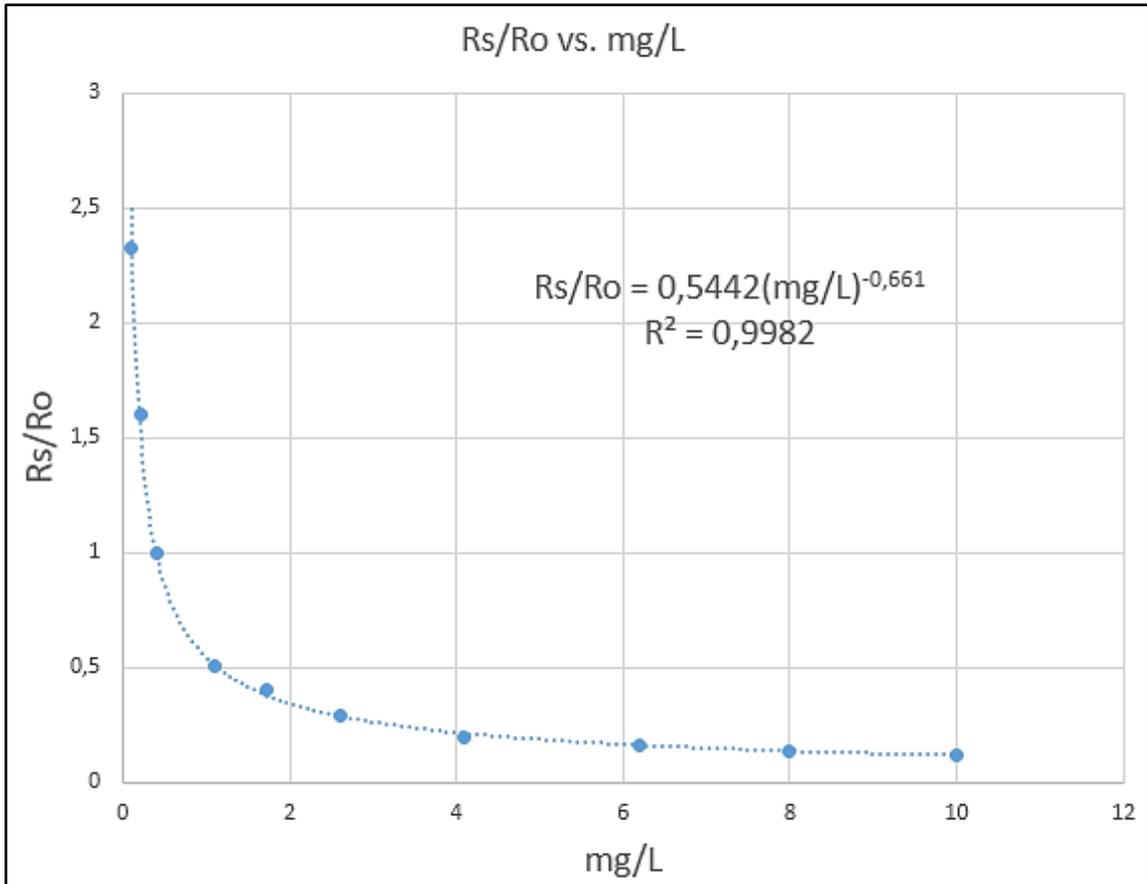


Fig. 49 Curva del sensor MQ-6 Rs/Ro vs. mg/L (alcohol).

Por lo tanto, el valor de Rs se puede calcular mediante la ecuación (16).

$$R_s = R_o * 0.5442(mg/L)^{-0,661} \quad (16)$$

Donde:

Rs: Es la resistencia del sensor en varias concentraciones de gases.

mg/L: Miligramos de alcohol por cada litro de aire espirado.

El sensor mq-3 mide el contenido de alcohol en miligramos por cada litro de aire espirado, pero como se observa en la tabla 25 en base a las normas ambientales la unidad de medida para el alcohol que se utiliza es gramos de alcohol por cada litro de sangre.

Miligramos de alcohol por cada litro de aire expirado son conocidos como BrAC, sin embargo, para determinar si una persona ha ingerido alcohol se utiliza el BAC que es el contenido de alcohol en gramos por cada litro de sangre. Pero, existe una relación entre BAC y BrAC que es igual a 2100 [60] , como se observa en la ecuación (17)

$$BAC = 2100 * BrAC \quad (17)$$

El circuito de medición proporciona un circuito divisor de voltaje [59]. Por lo tanto mediante la ecuación (10) se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

Se relaciona la ecuación (10) con la ecuación (16) para obtener la ecuación (18) la cual permite calcular los mg/L (alcohol) en función del voltaje de salida del sensor.

$$\begin{aligned} \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * RL &= Ro * 0,5442(mg/L)^{-0,661} \\ \frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{Ro * 0,5442} &= (mg/L)^{-0,661} \\ \ln(mg/L)^{-0,661} &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{Ro * 0,5442} \right] \\ -0,661 \ln(mg/L) &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{Ro * 0,5442} \right] \\ \ln(mg/L) &= \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{Ro * 0,5442} \right]}{-0,661} \\ mg/L &= e^{\left[\frac{\ln \left(\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{Ro * 0,5442} \right)}{-0,661} \right]} \end{aligned} \quad (18)$$

En la ecuación (18) se calcula los mg de alcohol por cada litro de aire expirado, por lo tanto, se relaciona la ecuación (18) con la ecuación (17) para encontrar la ecuación (19) que permite encontrar el valor g de alcohol por cada litro de sangre en función del voltaje de salida del sensor.

$$g/L = 2100 * e^{\left[\frac{\ln \left(\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{Ro * 0,5442} \right)}{-0,661} \right]} \quad (4.19)$$

- Calibración

Ro se obtiene mediante una condición específica en el ambiente que es de 0.4 mg/L de alcohol en aire limpio. Sin embargo, en la hoja de datos del sensor se proporciona un rango de valores en el que se encuentra esta resistencia que es de 1MΩ a 8MΩ, este rango

de valores se utiliza para comparar el valor arrojado por el sensor con el instrumento patrón. La calibración se muestra en la sección 4.9.2.

4.7 Construcción de la placa de circuito impreso (PCB) para los sensores.

Se realizan 3 tipos de placas:

4.7.1 Placa LCD

Se utiliza el programa Eagle para realizar el PCB, en la figura 50 se muestra el esquemático de la placa LCD.

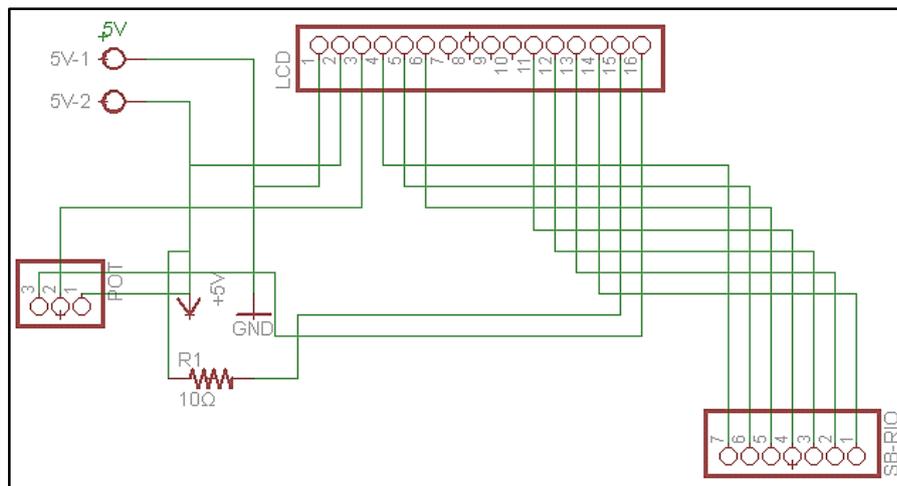


Fig. 50 Esquemático del programa Eagle de la placa para el display LCD.

En la figura 51 se muestra el PCB del esquemático del Eagle de la placa del LCD.

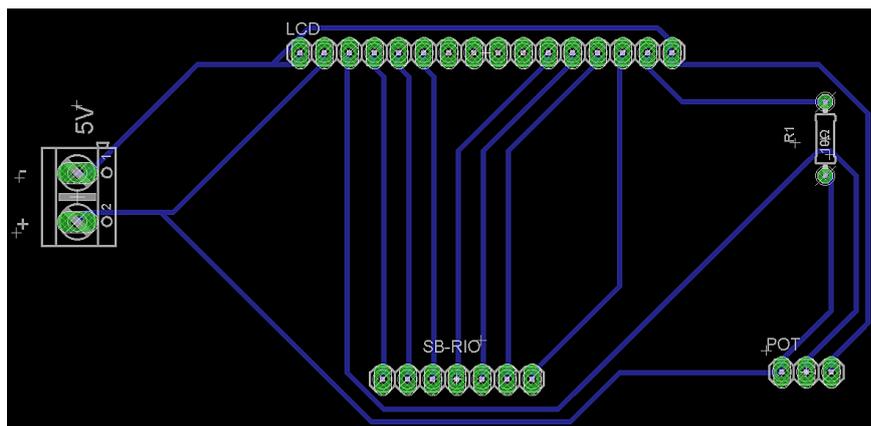


Fig. 51 PCB del Eagle de la placa LCD.

4.7.2 Placa para acondicionamiento de sensores.

En el esquemático que se muestra en el anexo 15 se realiza el acondicionamiento de los sensores y también contiene botones para elegir las variables que se desea mostrar en el LCD. En la figura 52 se observa el PCB de Eagle de la placa acondicionamiento de

sensores en la cual se realiza realizan los circuitos descritos en el apartado 4.6 referente al acondicionamiento de señal de los sensores.

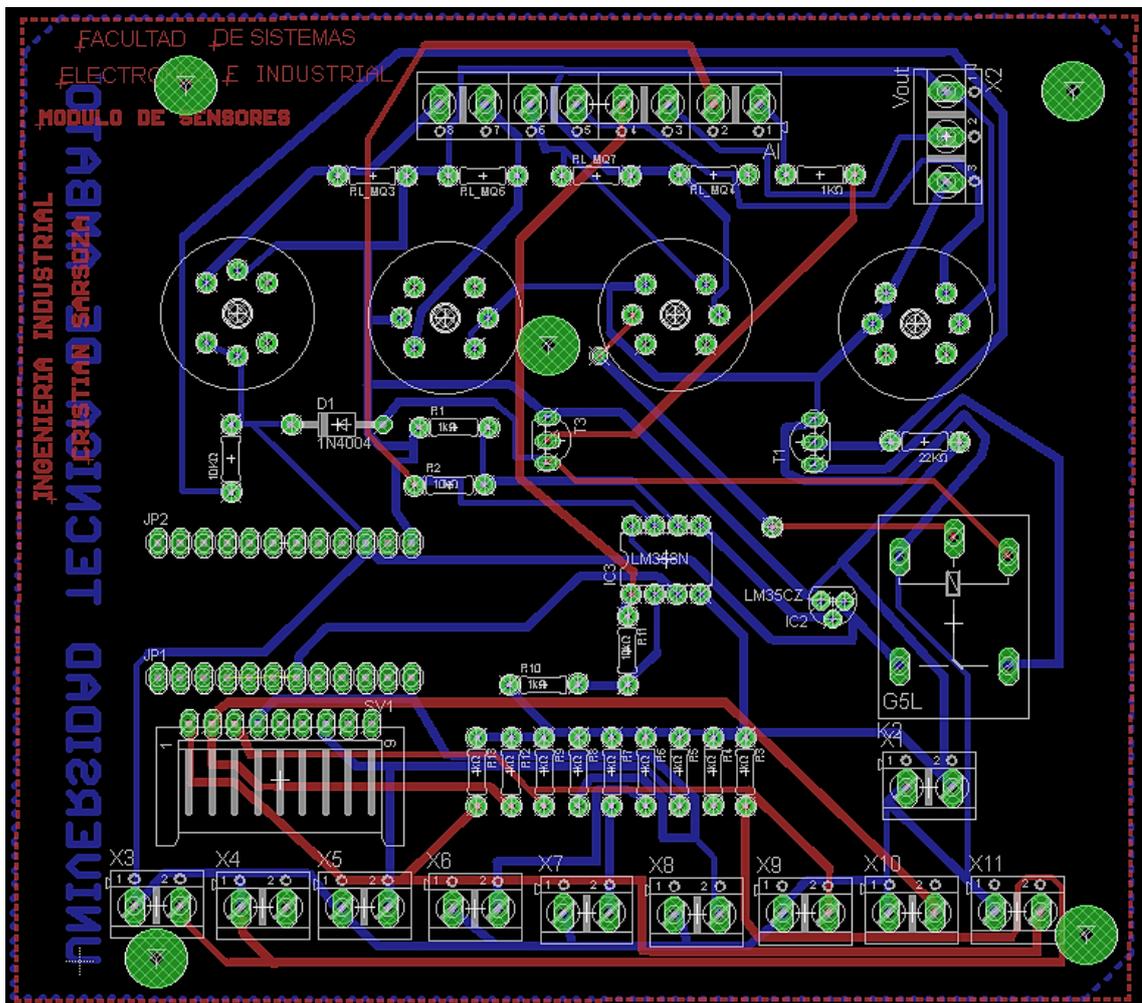


Fig. 52 PCB del Eagle de la placa acondicionamiento de sensores.

4.7.3 Placa de sensores

En la placa de sensores, únicamente se alojan los sensores para que se tenga un aspecto visual mejor sin la presencia de los elementos de acondicionamiento. En la Figura 53 se observa el esquemático de esta placa.

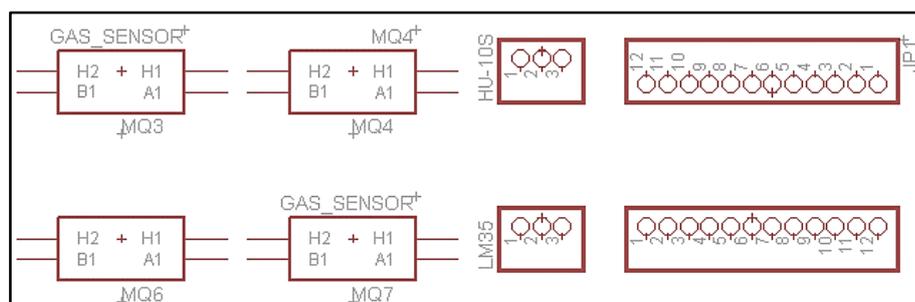


Fig. 53 Esquemático de Eagle de la placa sensores.

En la figura 54 se observa el PCB de Eagle de la placa sensores.

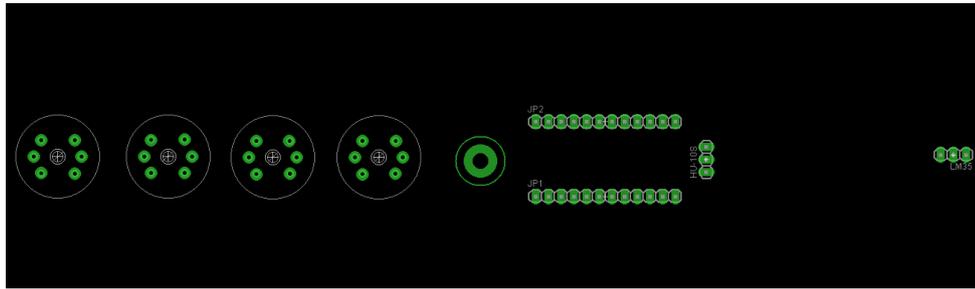


Fig. 54 PCB de Eagle de la placa sensores.

En el anexo 16 se muestran fotografías de la realización de las placas.

También se toma en cuenta el consumo de corriente de los sensores y los dispositivos electrónicos para decidir si se utiliza una fuente externa o se utiliza la fuente de alimentación que proporciona la tarjeta sb-RIO. En base al datasheet de la tarjeta sb-RIO, en cada conector de entradas y salidas digitales se cuenta con una fuente de 5V, ésta fuente proporciona como máximo 2 amperios de corriente, sin embargo, el cable que se utilice también limita el paso de la corriente. Además, por cada módulo de la serie C instalado en la tarjeta sb-RIO existe un consumo de 200 mA. Por lo tanto, se dispone de 1.8 Amperios para la alimentación de sensores y dispositivos electrónicos. En la tabla 34 se muestra en consumo de corriente de cada dispositivo.

Tabla 34 Consumo de corriente de dispositivos electrónicos y electromecánicos.

Dispositivo	Consumo de corriente
LM35	65uA
HU-10S	2mA
TSL230	28uA
MQ4	150mA
MQ7	70mA
MQ6	150mA
MQ3	150mA
Relé	60mA
LCD	300uA
LM358	500uA
Total	0,6 A

Como se observa en la tabla 34 es factible utilizar la fuente de alimentación de la tarjeta sb-RIO.

4.8 Construcción de un soporte para el alojamiento de sensores y tarjeta sb-RIO

Se construye un alojamiento para los sensores, PCBs, módulo C y tarjeta sb-RIO, por lo tanto, se realiza un ensamble del prototipo en el software Solid Works como se muestra en la figura 55. Además en el anexo 17 se muestran los planos de despiece y conjunto del ensamble. El material con que se realiza es acrílico negro de 2mm, imágenes de su ensamble con las piezas reales se muestra en el anexo 18. Para una mejor presentación se utiliza cable plano, además esto, garantiza que el cable no se rompa fácilmente.

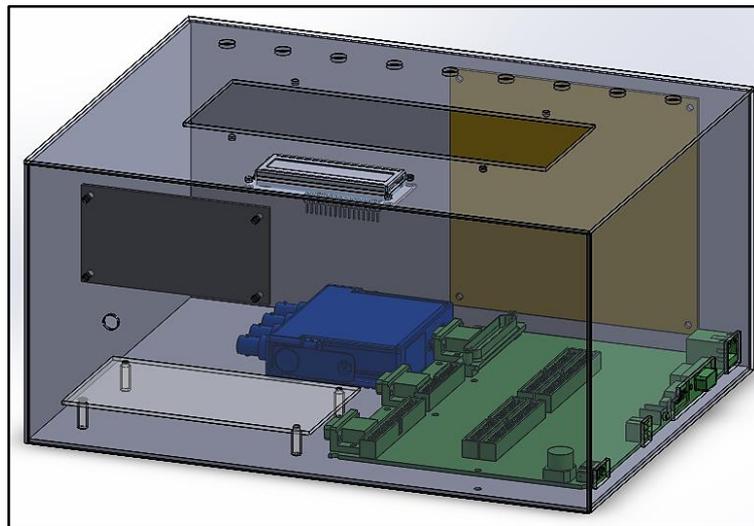


Fig. 55 Ensamble del prototipo.

4.9 Programación gráfica con labVIEW.

En la programación se tiene tres etapas: programación del VI en la FPGA y programación del VI en RT y creación de una aplicación stand-alone.

4.9.1 Programación del VI en la FPGA.

Por lo general es recomendable en sistemas embebidos reconfigurables utilizar a la FPGA como adquisición de datos y realizar las operaciones de análisis y procesamiento en el RT de la tarjeta sb-RIO. Para la conexión de la tarjeta sb-RIO con el computador se sigue los pasos descritos en la práctica 1 (Anexo 21). En la figura 56 se muestra una parte de la programación del VI en la FPGA.

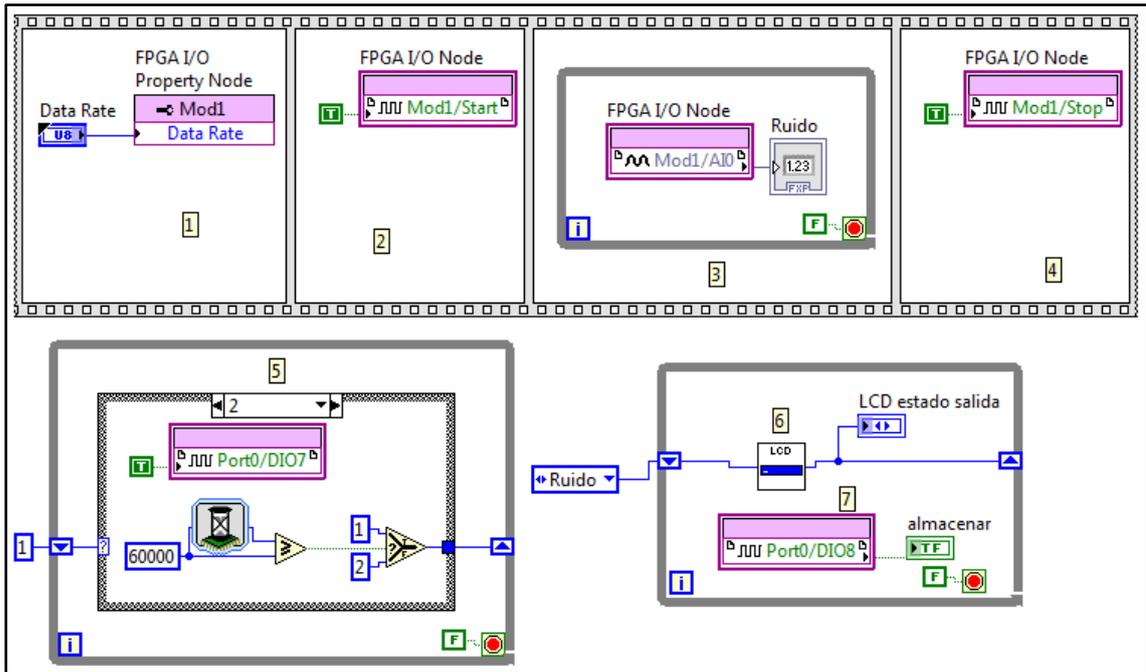


Fig. 56 Programación del VI en la FPGA parte1.

Se utiliza una estructura flat sequence para la adquisición de la señal del micrófono, en (1) se configura la velocidad de adquisición de datos que como máxima es 51,2 ks/s y mínimo 1.652 ks/s. En (2) se envía una constante de true para que empiece la adquisición de datos por el módulo C. En (3) se crea un indicador de los datos adquiridos por el módulo NI 9234, se crea una constante de false para la terminación del ciclo while loop con el objetivo de adquirir continuamente los datos. Finalmente en (4) se crea una constante booleana true para detener la adquisición de datos por el módulo.

En (5) se muestra una máquina de estados que sirve para poner en alto el Port0/DIO7 por 60 segundos y 90 segundos en bajo. Esto sirve para el calefactor del sensor mq-7 ya que necesita 60 segundos 5V y 90 segundos 1.4V.

En (6) se utiliza un subvi que transforma de binario a decimal que se muestra en la figura 57. En (6.1) se designa los puertos digitales que se utiliza para la entrada de los botones que seleccionan cada variable del ambiente que monitorea el prototipo. En (6.2) se crea un array de las entradas de los botones, en (6.3) se transforma el array booleano a decimal, de esta manera la representación binaria que se haga con los botones elige a que caso se ingresa en (6.4) por ejemplo: si se presiona el botón de temperatura es equivalente a 2 elevado a la cero que en decimal es igual a 1, o si se presiona el botón de alcohol es equivalente a 2 elevado a 7 que en decimal es igual a 128.

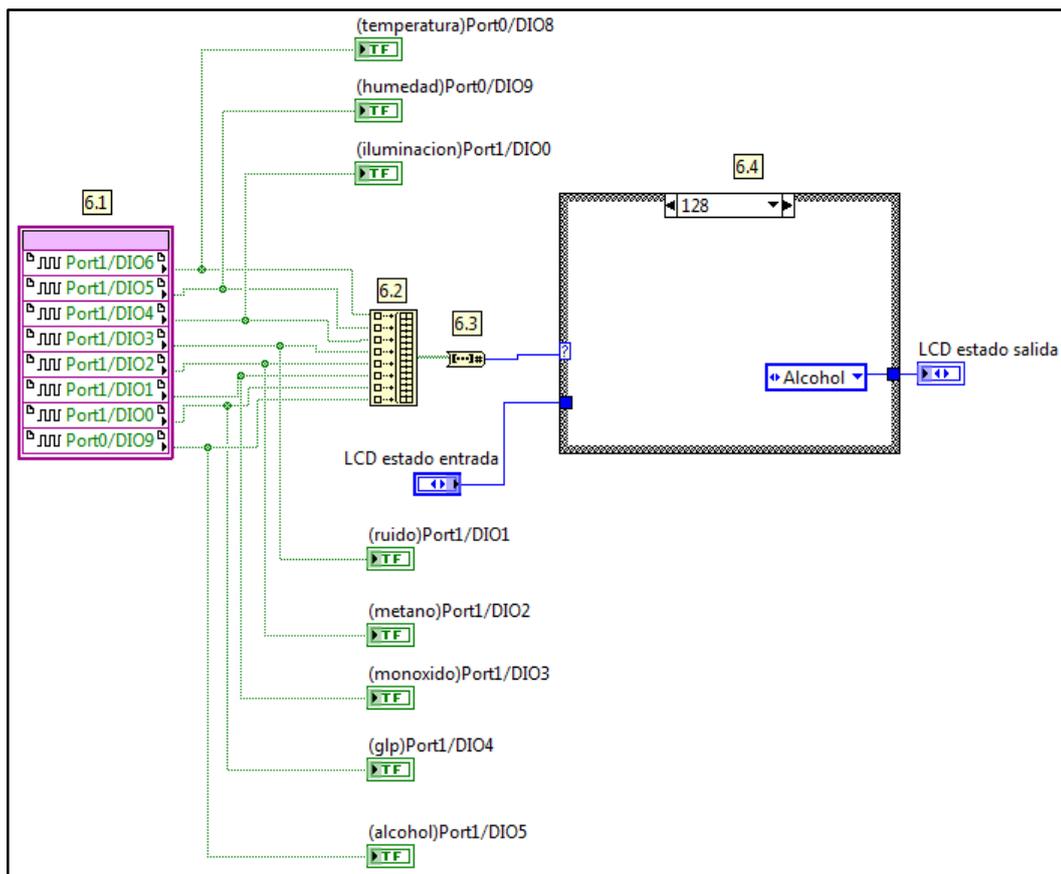


Figura 4.57 Subvi estado_LCD.

En (7) se crea un indicador que muestra si el Port0/DIO está en alto o en bajo. La segunda parte del VI en la FPGA se muestra en la figura 58.

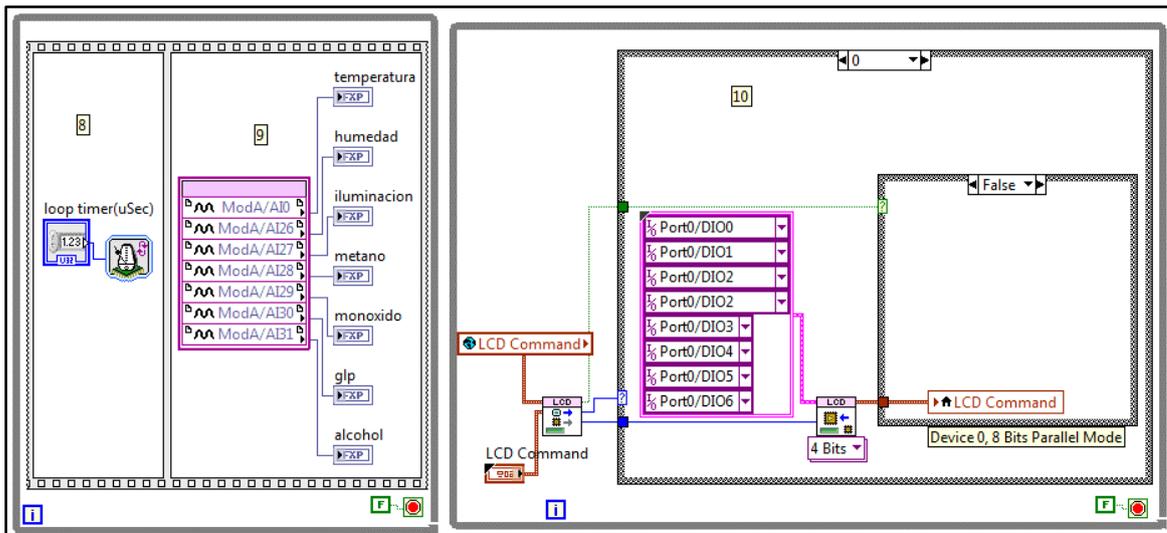


Fig. 58 Programación del VI en la FPGA parte 2.

En (8) se crea una temporización entre las iteraciones del ciclo while esto permite adquirir señales a una determinada velocidad de muestro. En (9) se crea indicadores de las variables que se adquieren del conector de entradas y salidas analógicas que se muestra en el anexo 5. En (10) se encuentra VI que es específico para manejar LCDs de la clase HD44780, para acceder a este VI se lo tiene que descargar mediante el VI package manager, para utilizar este VI se tiene que configurar los puertos digitales que se va a utilizar. Como se muestra en la tabla 35. En el anexo3 se muestra el esquema físico para realizar las conexiones.

Tabla 35 descripción los pines digitales utilizados para el LCD.

Pines Sb-rio	LCD
Port0/DIO0	RS
Port0/DIO1	RW
Port0/DIO2	E
Port0/DIO3	DB4
Port0/DIO4	DB5
Port0/DIO5	DB6
Port0/DIO6	DB7

Finalmente, se tiene el panel frontal de VI que se programa en la FPGA como se muestra en la figura 59.



Fig. 59 Panel Frontal del VI realizado en la FPGA.

4.9.2 Programación de un VI en RT.

En la figura 60 se muestra la programación del VI en Real Time de la tarjeta sb-RIO.

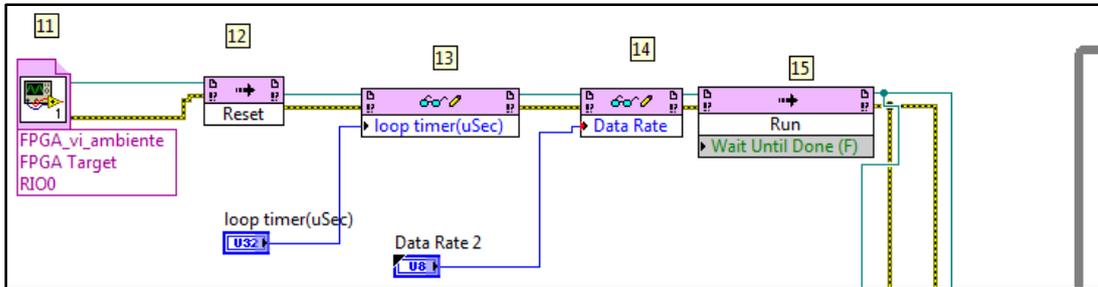


Fig. 60 Programación del VI en el RT parte 1

En (11) se abre una referencia que permita tener una interfaz entre la FPGA y RT, esto nos permite tener acceso a los controles y los indicadores que se utiliza en el VI de la FPGA, al configurar este VI se selecciona el VI de la FPGA. En (12) Proporciona un reseteo en caso que se aborte la ejecución del programa y se vuelva a ejecutar. En (13) se crea un control, para establecer una frecuencia de muestreo de las variables analógicas conectadas directamente a la tarjeta sb-RIO. En (14) se establece una velocidad de muestreo para el caso del micrófono ya que para este sensor se utiliza un módulo de la serie C. En (15) se utiliza un método de invocación que ejecuta el VI en la FPGA.

En la figura 61 se muestra la continuación de la programación del VI en el RT. En (16) se crea un nodo de propiedad el cual convierte a texto los valores del control que se utiliza para seleccionar la velocidad de muestreo de los datos adquiridos por el micrófono, en (17) se transforma el texto a número, en (18) se multiplica por 1000 ya que al transforma a texto en control data rate 2 no toma en cuenta los múltiplos, en (19) se crea un división para 1, esto proporciona el intervalo de tiempo en segundos entre puntos de datos en la forma de onda, este valor sirve para crear el waveform que es necesario para utiliza los VI de NI sound and vibration, en (20) se crea el waveform, en (21) se adquiere los datos de la señal del micrófono en un ciclo for que crea un array para ingresarlo en la entrada Y del VI build waveform. En (22) se utiliza la función “SVL scale voltage to EU” como se muestra en la figura 62.

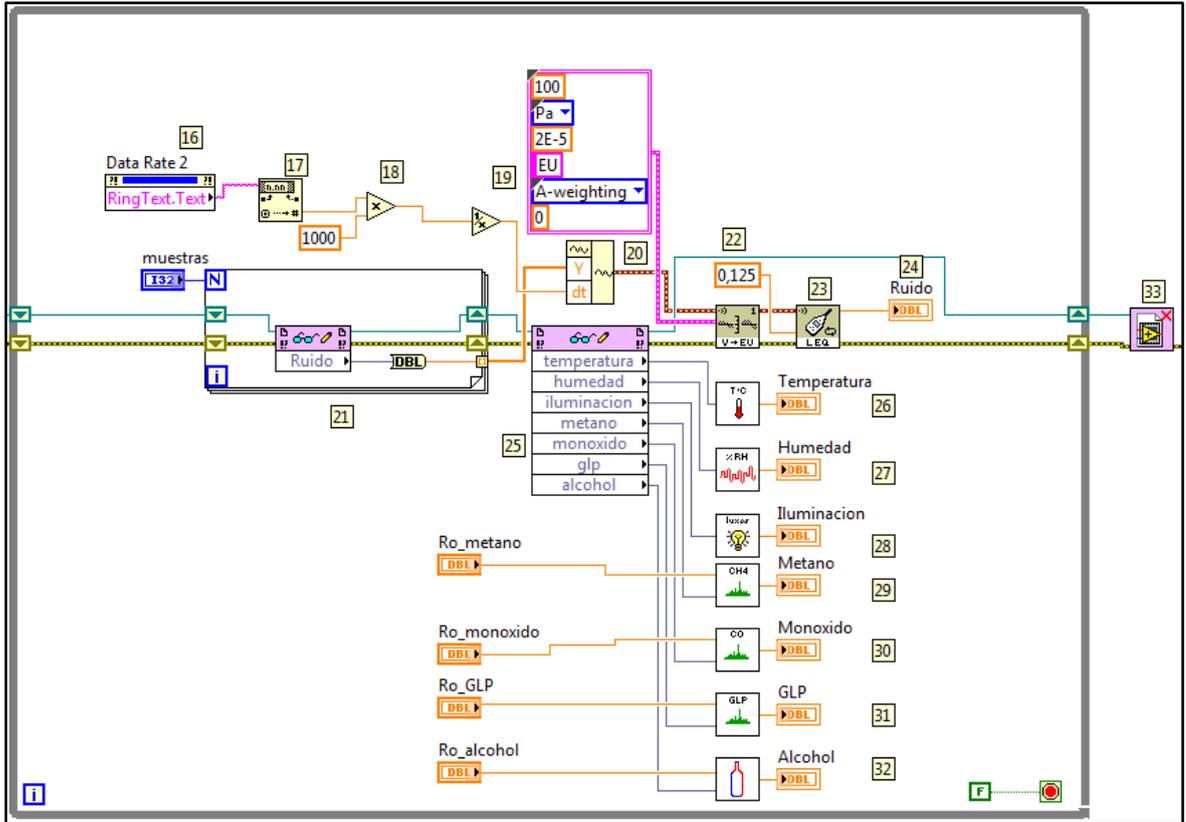


Fig. 61 Programación del VI en el RT parte2

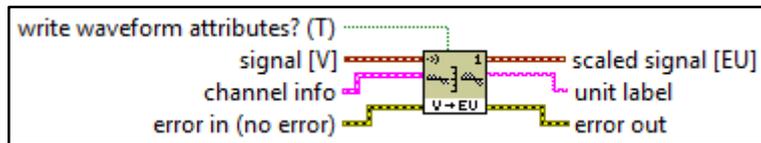


Fig. 62 Función SVL scale voltage to EU

La función “SVL scale voltage to EU” se encuentra en Sound and vibration/ Scaling and calibration. La Señal del micrófono ingresa por signal. En el canal de información se ingresan los datos que se muestran en la figura 63. Posteriormente se crea una constante de estos datos.

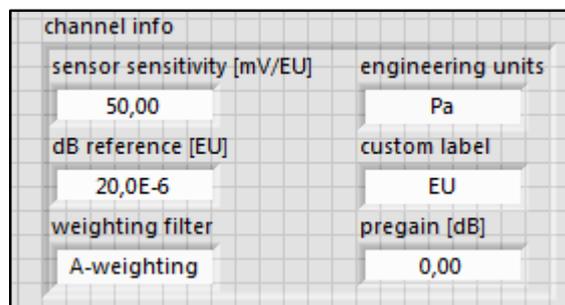


Fig. 63 Parámetros para el acondicionamiento de la señal del sensor.

En base al datasheet del micrófono se obtiene el dato de sensibilidad. Además se selecciona el filtro de ponderación tipo A.

Una vez que la señal ya está escalada se utiliza las VI para obtener los niveles de ruido en (23). En (24) se crea un indicador del valor arrojado por VI que proporciona el nivel continuo equivalente de ruido, valor que el sonómetro arroja.

En (25) se adquiere las señales análogas de los sensores, (26) es un subVI que se muestra en la figura 64 que se utiliza para la linealización de voltaje a temperatura.

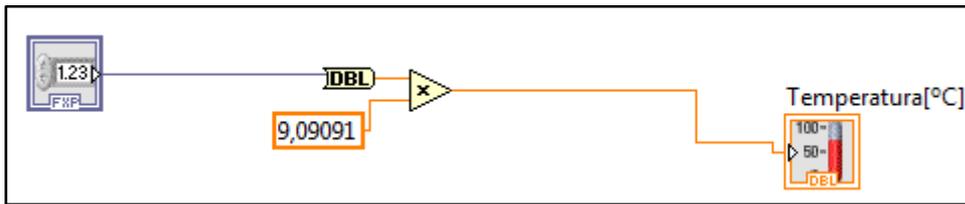


Fig. 64 subVI que transforma voltaje a temperatura en grados centígrados.

(27) es un subVI que se muestra en la figura 65, este subVI sirve para linealizar los valores de voltaje del sensor de humedad a porcentaje de humedad relativa (%RH).

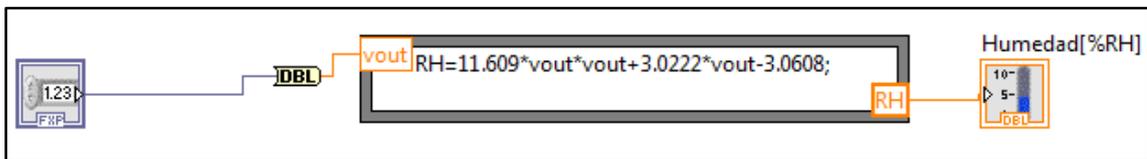


Fig. 65 subVI para la linealización a %RH.

(28) es un subVI que se muestra en la figura 66, este subVI permite calcular el valor de la iluminación en luxes en función del voltaje de salida del sensor de iluminación.

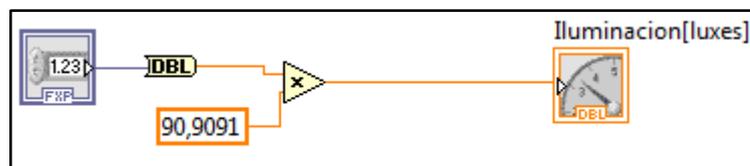


Fig. 66 subVI para la linealización a %RH.

(29) es un subVI que se muestra en la figura 67, es subVI permite calcular el número de ppm(partes por millón) en función del voltaje de salida del sensor de gas metano.

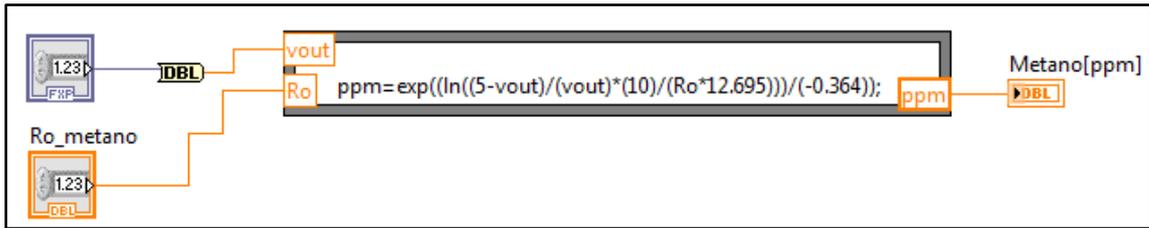


Fig. 67 subVI para la linealización a ppm de metano.

(30) es un subVI que se muestra en la figura 68, este subVI permite calcular el número de partes por millón de monóxido de carbono en función del voltaje de salida del sensor.

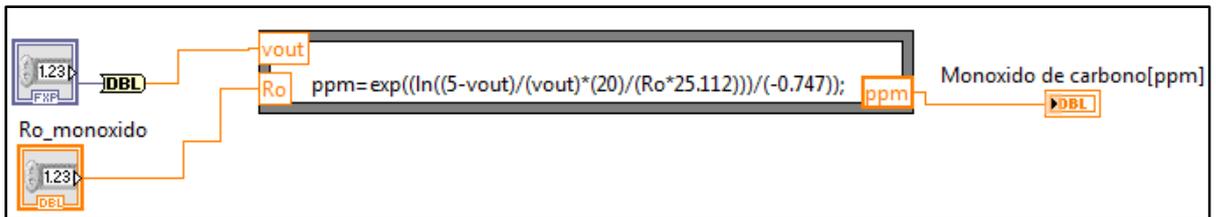


Fig. 68 subVI para la linealización a ppm de monóxido de carbono.

(31) es un subVI que se muestra en la figura 69, este subVI permite calcular el número de partes por millón de GLP en función del voltaje de salida del sensor.

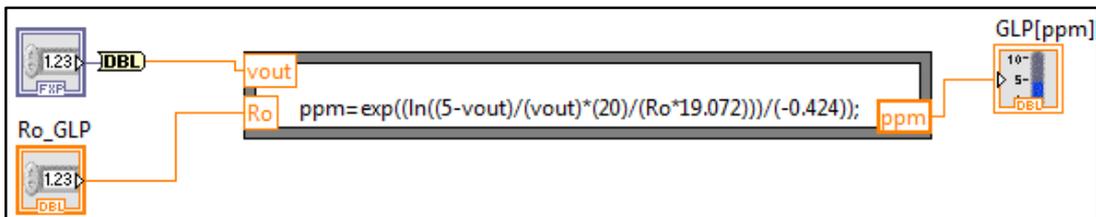


Fig. 69 subVI para la linealización a ppm de GLP.

(32) es un subVI que se muestra en la figura 70, este subVI permite calcular los g/L de alcohol en función del voltaje de salida del sensor.

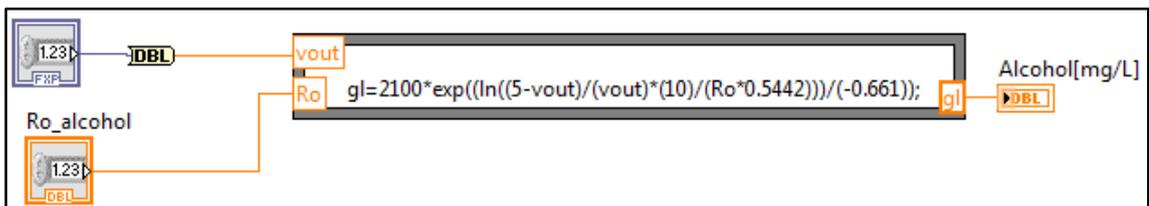


Fig. 70 subVI para la linealización a g/L de alcohol.

En (33) se cierra la referencia que se abre al inicia para utilizar los controles e indicadores utilizados en el VI de la FPGA.

En la figura 71 se muestra la continuación de la programación en el RT de la tarjeta sb-RIO. En (34) se utiliza el toolkit para el manejo de LCD en RT, se abre una referencia de para el tipo de LCD que se utiliza. En (35) se utiliza el indicador de estado de salida del LCD del VI de la FPGA esto permite seleccionar el caso adecuado en función del botón que se presione. En (36) se accede al indicador si se ha activado o no el botón de almacenamiento. En (37) se genera un contador de pulsaciones para después verificar si este número es par o impar, de esta manera se almacena los datos y se detiene con el mismo botón, debido a que si es par envía un true y si es impar envía un false a la estructura de caso.

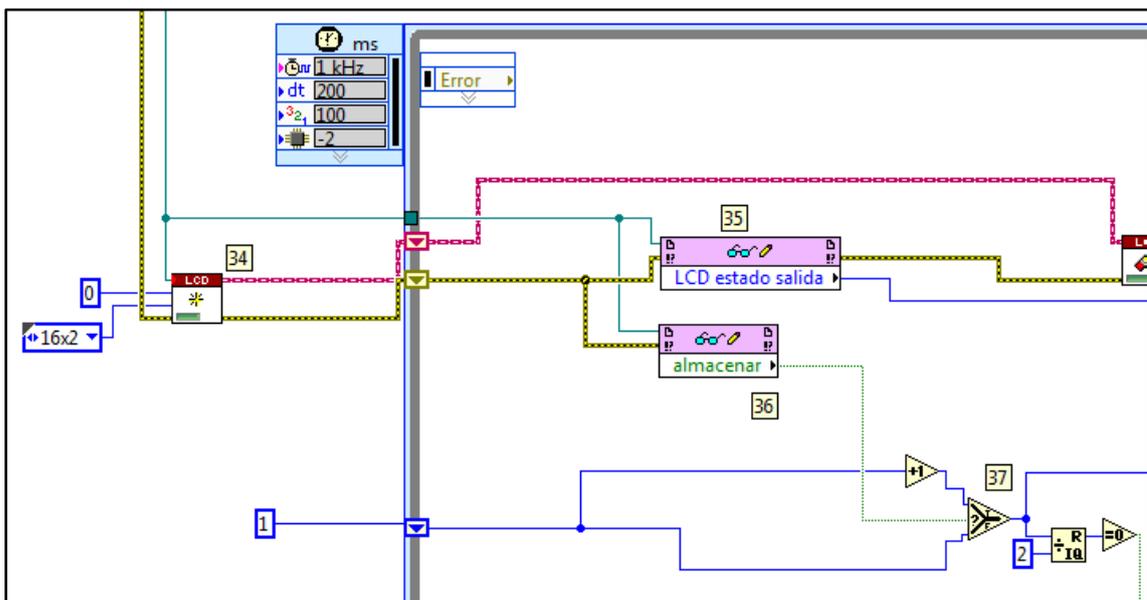


Fig. 71 Programación del VI en el RT parte 3.

En la figura 72 se muestra la continuación de la programación del VI en el RT de la tarjeta sb-RIO.

El VI (38) permite limpiar la pantalla del LCD para que los datos sean actualizados. (39) es una estructura de caso que en base al botón presionado visualiza la variable en el LCD.

En la figura 73 se muestra la continuación de la programación del VI en el RT de la tarjeta sb-RIO.

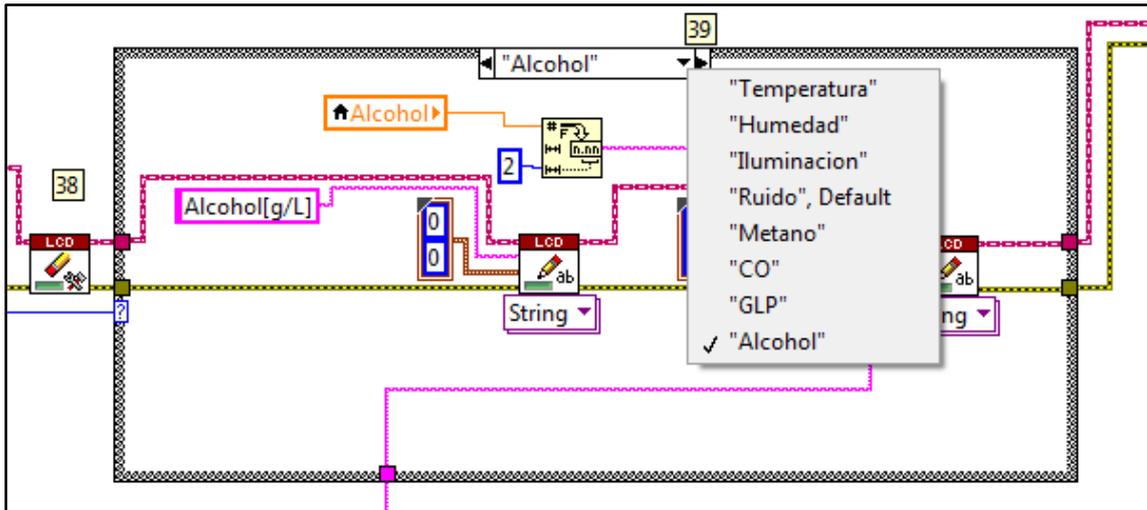


Fig. 72 Programación del VI en el RT parte 4.

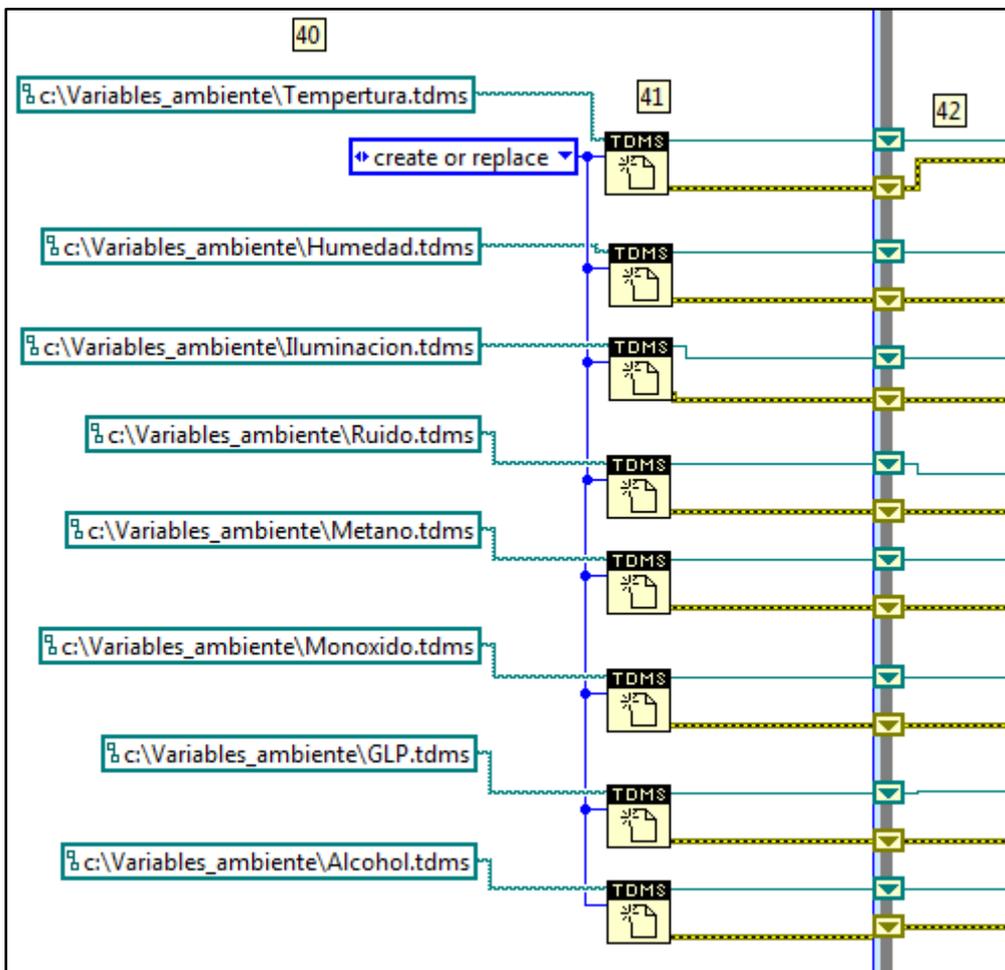


Fig. 73 Programación del VI en el RT parte 5.

En (40) se especifica el directorio con el nombre del archivo que se crea para que se almacenen los datos, se crean 8 archivos de extensión tdms. En (41) se abre una referencia para crear un archivo tdms. En (42) se crean shift registers,

En la figura 74 se muestra la continuación de la programación del VI en el RT de la tarjeta sb-RIO.

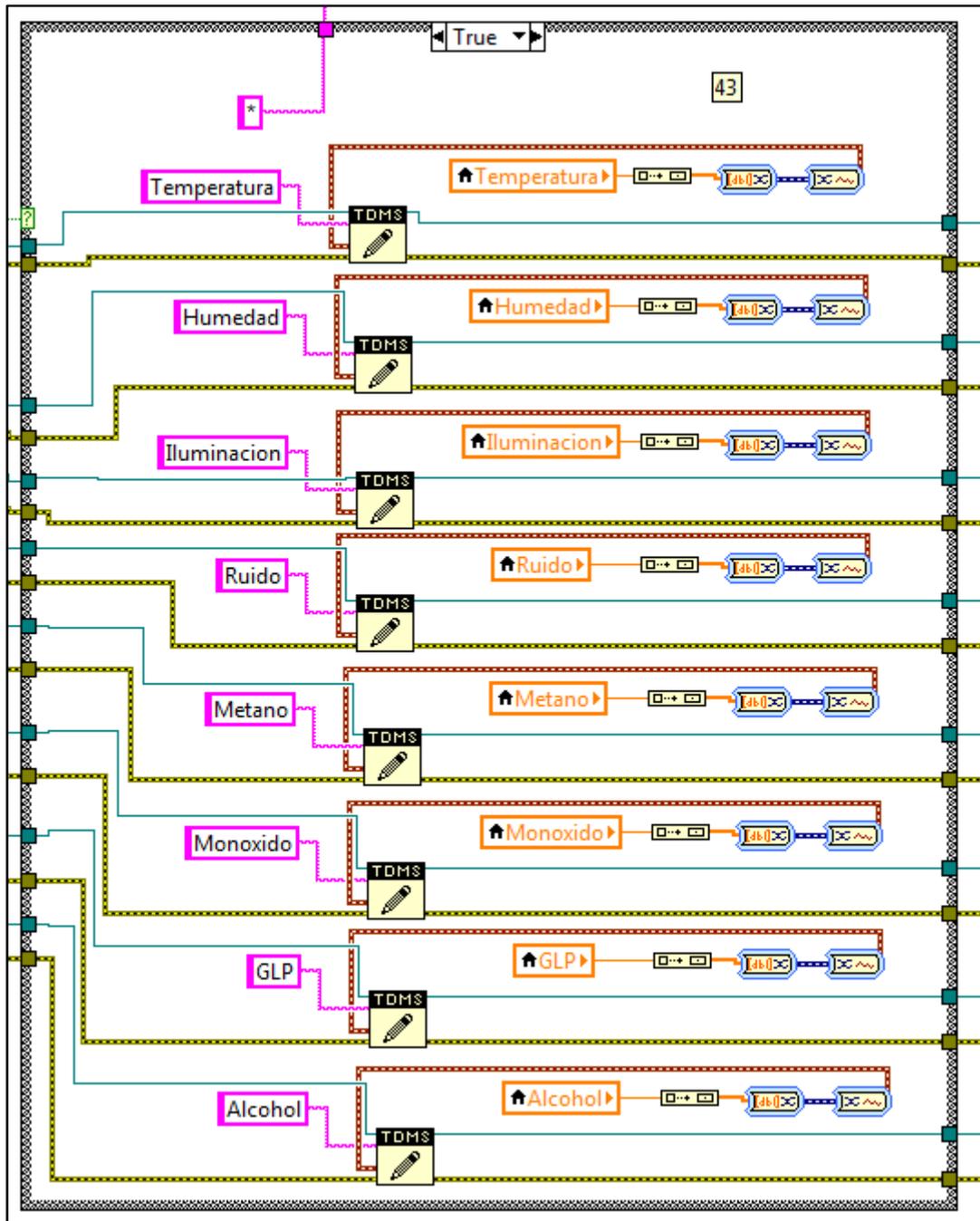


Fig. 74 Programación del VI en el RT parte 6.

En (43) se tiene una estructura de caso, la cual tiene 2 estados en primer instancia si se presiona el botón de almacenamiento se aumenta un contador se verifica si es par y envía un true. En segunda instancia no almacena datos y solo visualiza la variable que se selecciona. Por el caso de true, envía un asterisco al LCD en la esquina inferior derecha y se escriben los datos en el archivo tdms,

Finalmente, en la figura 75 se muestra la última parte de la programación del VI en el RT. En (44) se cierra la referencia del LCD. En (45) se cierra la referencia para la creación y escritura de archivos tdms. En (46) se utiliza una función que agrupa los errores en un error general que en (47) se crea un indicador de éste.

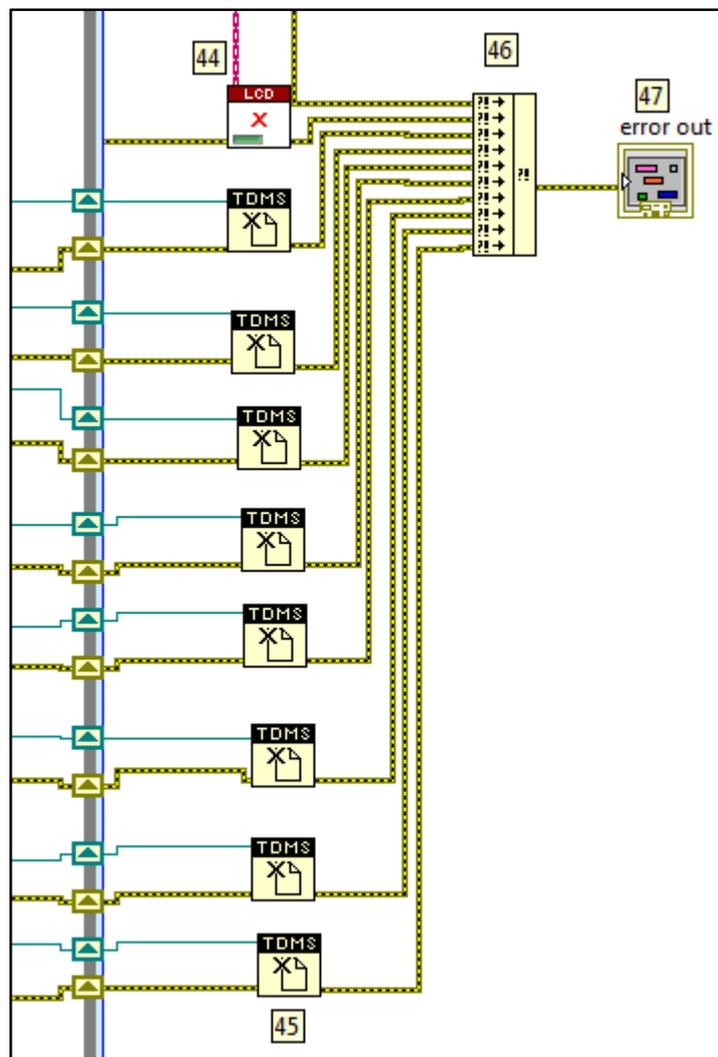


Fig. 75 Programación del VI en el RT parte 6.

Una vez realizada la programación en RT se procede a calcular el factor de calibración R_o para los sensores de gases mediante un equipo patrón de medición de gases. Como equipo patrón detector de gases se utiliza el MX6-IBRID que proporciona la opción de medición hasta 25 gases. Además el equipo se encuentra calibrado con fecha 14 de abril 2014. Se realiza las primeras pruebas con el sensor de gas metano. Se comprueba la presencia de gas metano en el ambiente. Se obtiene los resultados que se muestra en la tabla 36 que se generan al ir variando la resistencia R_o en el rango de valores que recomienda el fabricante. Los valores que se va variando son los indicadores que se encuentran en el panel frontal y tienen la denominación de R_o y el nombre del gas como se muestra en la figura 76 y 77.

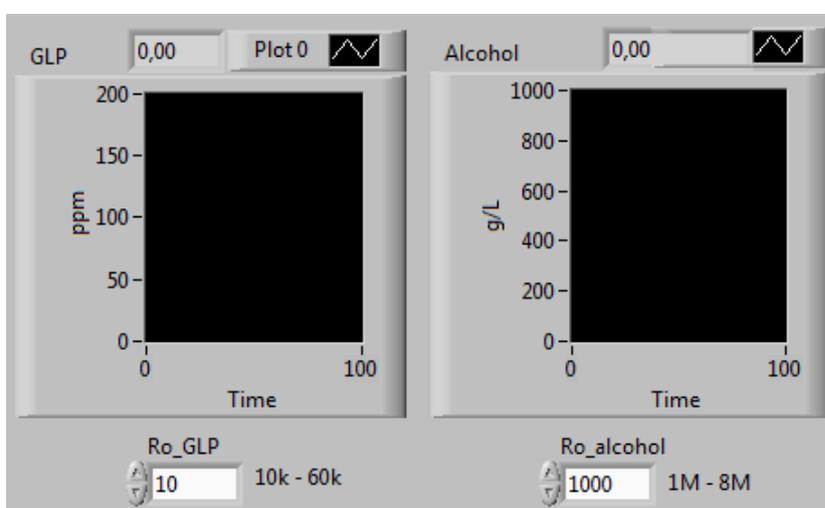


Fig. 76 Factor de calibración R_o de GLP y alcohol.



Fig. 77 Factor de calibración R_o de metano y monoxido.

Tabla 36 Comparación de las mediciones de metano con diferentes Ro.

Ro_metano	MQ4(ppm)	MX6-IBRID(ppm)
10	0,1	0,7
60	1500	0,7
20	10	0,7
19	7	0,7
18	5	0,7
17	1,3	0,7
15	1	0,7
14	0,8	0,7
13	0,5	0,7

Por lo tanto el factor Ro que se elige es de 14. En la figura 78 se muestra las mediciones que se realiza para comprobar la presencia de metano en el aire.

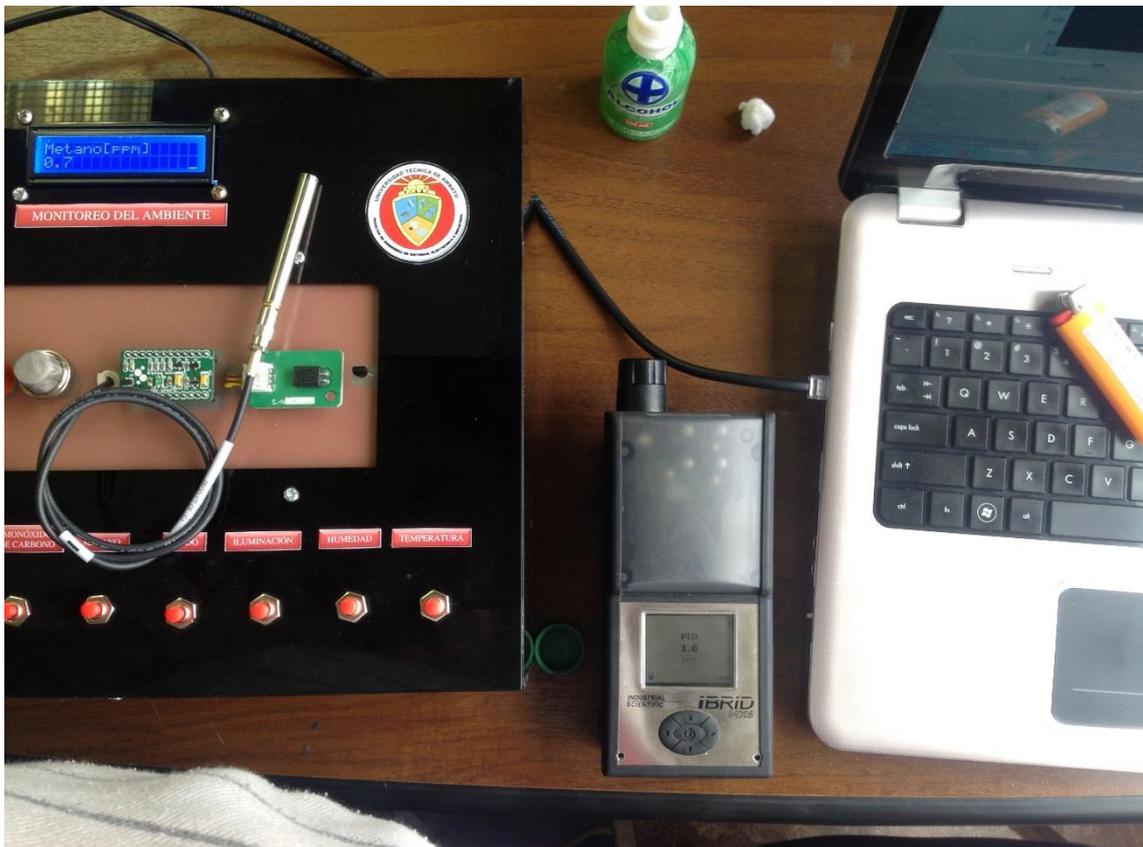


Fig. 78 Medición de metano en el aire.

Ahora se realiza la calibración del sensor que mide monóxido de carbono mediante la medición de monóxido de carbono en el ambiente. En la tabla 37 se muestra una tabla

comparativa la cual se obtuvo al ir variando el valor de Ro para el sensor MQ7 que mide monóxido de carbono.

Tabla 37 Comparación de las mediciones de monóxido de carbono con diferentes Ro.

Ro_monoxido	MQ4(ppm)	MX6-IBRID(ppm)
2	0,2	2,3
20	250	2,3
12	24	2,3
10	20	2,3
8	11	2,3
7	8,5	2,3
6	5	2,3
5	2,1	2,3
4	1,8	2,3

Por lo tanto, se elige un Ro igual a 5. En la figura 79 se muestra la medición de monóxido de carbono en el aire.

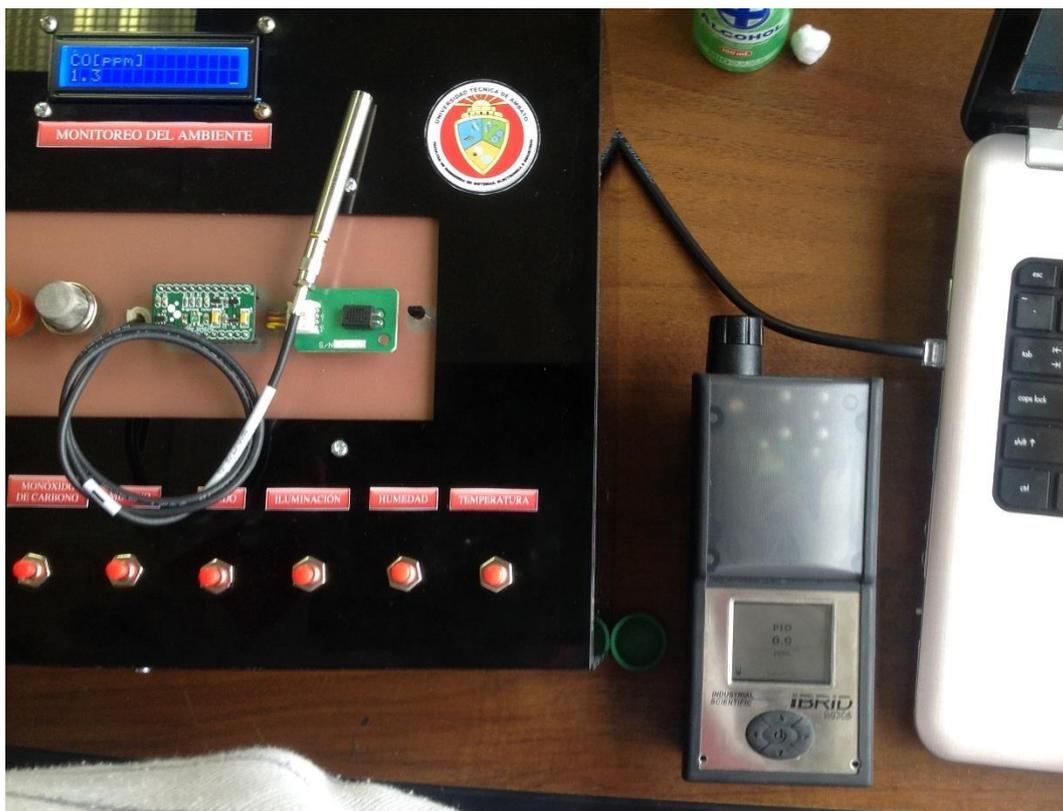


Fig. 79 Medición de la presencia de monóxido de carbono en el aire.

Para la calibración del sensor que mide GLP (butano y propano). Se utiliza un encendedor de butano como se puede observar en la figura 80.



Fig. 80 Encendedor de butano.

En la tabla 38 se muestra una tabla comparativa la cual se obtuvo al ir variando el valor de R_o para el sensor MQ6 que mide GLP.

Tabla 38 Comparación de las mediciones de GLP en el ambiente con diferentes valores de R_o .

R_o_GLP	MQ6(ppm)	MX6-IBRID(ppm)
10	0,3	1,2
60	3000	1,2
15	0,4	1,2
20	0,6	1,2
25	0,8	1,2
26	0,9	1,2
27	1,1	1,2
28	1,5	1,2
29	1,8	1,2

Por lo tanto, se elige un R_o igual a 27.

En la tabla 39 se muestra los resultados que se obtiene al presionar el encendedor de butano por determinados tiempos.

Tabla 39 Comparación de la reacción del sensor ante el encendedor de butano.

MQ6(ppm)	MX6-IBRID(ppm)	Tiempo de pulsación del encendedor de butano (a una distancia de 10 cm del equipo patrón y del sensor MQ6)	Error absoluto
10	12,0	1 seg.	2,0
27	25,0	2 seg.	2,0
35	33,0	3 seg.	2,0
40	45,0	4 seg.	5,0
45	50,0	5 seg.	5,0
70	65,0	6 seg.	5,0
89	91,0	7 seg.	2,0
97	96,0	8 seg.	1,0
115	120,0	9 seg.	5,0

Ahora se calibra el sensor de alcohol con el aire del ambiente como se muestra en la tabla 40. El instrumento patrón visualiza las mediciones de alcohol en ppm, por lo tanto se realiza la conversión a g/L ya que en esas unidades mide el sensor de alcohol MQ3. El factor de conversión es 1/1000. [61]

Tabla 40 Comparación de las mediciones de alcohol en el ambiente con diferentes valores de Ro.

Ro_alcohol	MQ3(g/L)	MX6-IBRID(ppm)	MX6-IBRID(g/L)
1000	0,0037	50,0	0,05
8000	10	50,0	0,05
1500	0,0075	50,0	0,05
2000	0,0093	50,0	0,05
2500	0,012	50,0	0,05
4000	0,044	50,0	0,05
4500	0,059	50,0	0,05
4250	0,49	50,0	0,05
4251	0,49	50,0	0,05
4252	0,49	50,0	0,05
4260	0,49	50,0	0,05
4265	0,51	50,0	0,05
4264	0,51	50,0	0,05
4263	0,51	50,0	0,05
4262	0,51	50,0	0,05
4261	0,51	50,0	0,05

Por lo tanto, se elige un factor de Ro igual a 4260. Entre las aplicaciones típicas para el sensor MQ3, es utilizado para alcohómetro. El alcohol producido para consumo humano

es el alcohol etílico o etanol [62]. Para realizar las pruebas se utiliza alcohol antiséptico que contiene 70% de etanol en su composición [63] como se observa en la figura 81

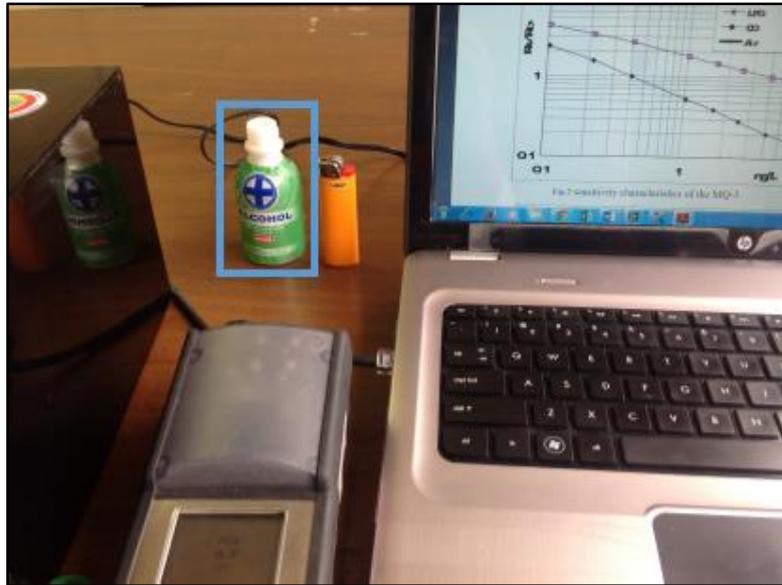


Fig. 81 Alcohol antiséptico.

Se remoja un poco de alcohol en algodón, se acerca a los sensores tanto del instrumento patrón como del sensor MQ3 y se obtienen los siguientes valores que se muestran en la tabla 41.

Tabla 41 Comparación de la reacción del sensor ante alcohol.

MQ3(g/L)	MX6-IBRID(ppm)	MX6-IBRID(g/L)	Distancia que se coloca el algodón con alcohol(cm)	Error absoluto
0,3	358,0	0,358	20	0,06
0,7	725,0	0,725	18	0,03
0,9	958,0	0,958	16	0,06
1,3	1290,0	1,290	14	0,01
1,5	1750,0	1,750	12	0,25
2,2	2080,0	2,080	10	0,12
2,4	2300,0	2,300	8	0,10
3,1	2940,0	2,940	6	0,16
4,5	4120,0	4,120	4	0,38

En base a las recomendaciones del fabricante se crea constantes de los controles utilizados ya que al momento de crear una aplicación embebida en el RT de la tarjeta sb-RIO los controles y objetos del panel frontal son removidos. [64]

4.9.3 Creación de una aplicación stand alone.

Para crear una aplicación stand alone se hace click derecho sobre el “Build specification” como se observa en la figura 82.

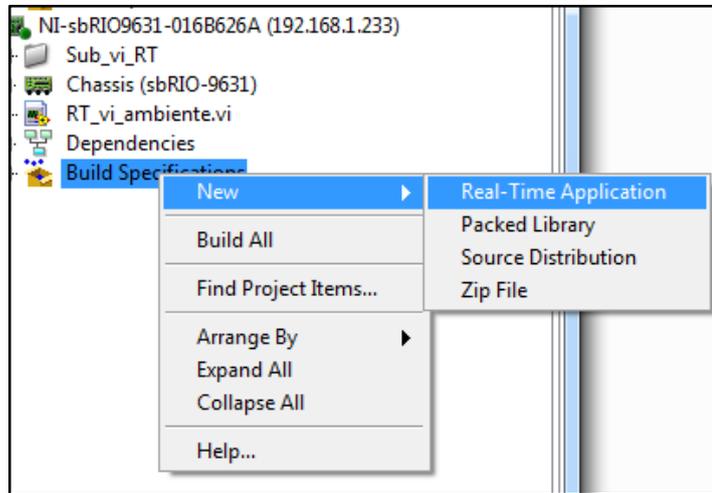


Fig. 82 Creación de un aplicación en el RT de la tarjeta sb-RIO.

En la ventana que aparece al seleccionar “Real-Time application” aparece una ventana como se muestra en la figura 83, en la que lo más importante es seleccionar el VI principal que se desea que se ejecute independientemente. En “information” únicamente se configura el nombre de la aplicación embebida.

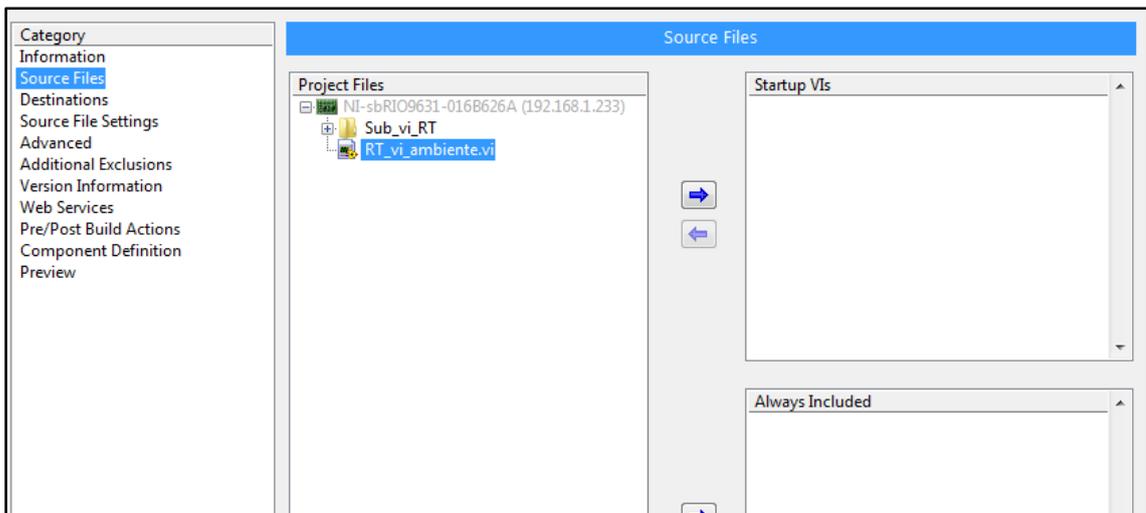


Fig. 83 Configuración de las propiedades del la stand alone application.

Una vez configurada la aplicación se presiona en “build” que se encuentra en la parte inferior derecha de la ventana de configuración. Se espera unos minutos y aparece la aplicación en el proyecto, para que esta se ejecute continuamente cada que se encienda el

dispositivo se da clic derecho sobre el nombre de la aplicación y se elige la opción “run as startup” como se muestra en la figura 84.

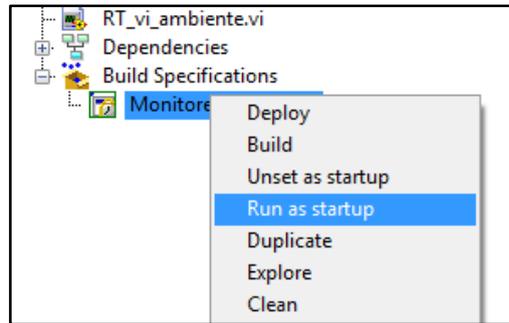


Fig. 84 Opción para ejecutar la aplicación stand alone cada que se encienda lasb-RIO.

Finalmente, aparece una opción que pide que si se desea resetear la tarjeta sb-RIO, se presiona “si” y la aplicación ya funciona independientemente de una computadora.

4.10 Pruebas de funcionamiento

Se almacena los datos por 20 minutos cada 200 milisegundos y se mide el tamaño en conjunto de todos los archivos. El tamaño que se genera es de 392 kb haciendo una relación si se multiplica por 3 se tiene el tamaño en una hora y si se vuelve a multiplicar por 8, se tiene el peso total de los archivos al realizar una medición en una jornada de trabajo. El tamaño equivalente de los archivos en una jornada de trabajo es igual a 9,1875 MB. Se verifica las capacidades de la tarjeta sb-RIO mediante el MAX (Measurement Automation Explorer) como se observa en la figura 85 se tiene capacidad de almacenamiento de 212 MB. Si se divide 9,1875 para 8 se tiene el consumo en una hora que es 1,148 MB para saber el tamaño en horas se divide 212 que es la capacidad total para 1,148 que es el tamaño de almacenamiento en 1 hora. Como se muestra en la ecuación (20).

$$\text{horas de almacenamiento} = \text{capacidad total} / \text{almacenamiento por hora} \quad (20)$$

$$\text{horas de almacenamiento} = \frac{212\text{MB}}{1,148\frac{\text{MB}}{\text{h}}} = 184 \text{ horas}$$

Por lo tanto, se tiene capacidad para el almacenamiento de datos de 184 horas consecutivas. En el Anexo 19 se muestra los análisis de los datos que se hicieron en el software DIAdem para cada variable que el prototipo mide.

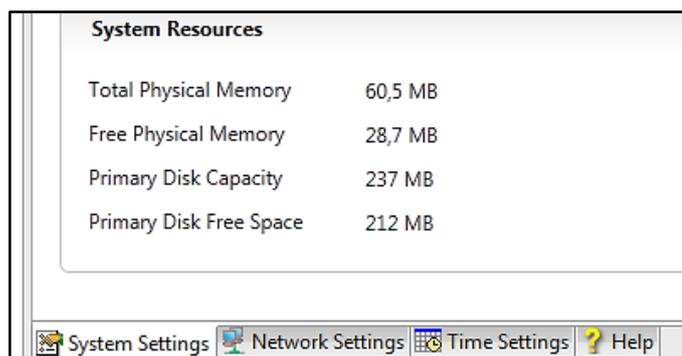


Fig. 85 Recursos de la tarjeta sb-RIO 9631.

4.11 Cotización del prototipo.

En la tabla 42 se muestra el costo total del Prototipo.

Tabla 42 Descripción del costo total del Prototipo.

COSTO DEL PROTOTIPO	
Descripcion	Precio
sb-RIO 9631	\$ 2.850,00
NI 9234	\$ 1.768,50
Piezas en acrílico	\$ 30,00
Display LCD 16x2	\$ 8,00
Material Eléctrico (botones, cable, potenciómetro, resistencias)	\$ 30,00
Material Electrónico (LM358)	\$ 1,00
Tornillos	\$ 0,30
Alquiler de MX6-IBRID	\$ 500,00
Baquelita	\$ 12,00
MQ3 (Sensor alcohol)	\$ 4,95
MQ4 (Sensor gas metano)	\$ 4,95
MQ6 (Sensor GLP)	\$ 4,95
MQ7 (Sensor monóxido de carbono)	\$ 7,25
GRAS 40PH (micrófono)	\$ 590,00
Lm35 (Sensor de temperatura)	\$ 2,50
HU-10S (Sensor de humedad)	\$ 10,00
TSL230 (Sensor de iluminación)	\$ 11,00
Honorarios del programador	\$ 1.000,00
Costo Total	\$ 6.835,40

4.12 Integración de los resultados de la investigación en el proyecto DIDE.

Se muestra en el Anexo 20 el paper que se realiza de la investigación y además en el Anexo 21 se observa un manual de prácticas para que estudiantes con conocimiento básicos en LabVIEW, utilicen dispositivos de hardware embebido como tarjetas sb-RIO.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se utiliza el sensor Lm35 para la medición de temperatura, ya que viene calibrado de fábrica con una exactitud de ± 0.75 °C, además el rango de medición que proporciona el sensor es adecuado para medición de temperatura del aire. Se selecciona el sensor HU-10S para humedad debido a que tiene una exactitud de $\pm 1,5\%$ en todo el rango de medición, además proporciona una salida analógica de voltaje para la lectura de los datos de humedad. Se emplea el sensor TSL230 para iluminación ya que permite obtener mediciones hasta 2500 luxes y proporciona una salida analógica de voltaje lo cual facilita su adquisición y acondicionamiento en la tarjeta sb-RIO. Para medir el ruido se utiliza el micrófono 40ph ya que National Instruments tiene convenios con los fabricantes del sensor y se tiene toolkits específicos como NI Sound and Vibration que permite obtener datos que el sonómetro ofrece. Se usa el sensor MQ4 para gas metano ya que proporciona un amplio rango de medición desde 200 a 10000 ppm y además es de bajo costo. Se emplea el sensor MQ7 para monóxido de carbono ya que proporciona un amplio rango de medición desde 20 a 2000 ppm y además su vida útil de servicio es de 5 años. Se utiliza el sensor MQ6 para detectar GLP ya que su costo es bajo ofreciendo características similares de los sensores con los que se compara. Se escoge el sensor MQ3 para medir alcohol debido a que para su alimentación se utiliza 5V los cuales se tiene en la tarjeta sb-RIO, además proporciona un rango adecuado para la medición de la variable.
- Los valores máximos permisibles que se encuentran son los siguientes: temperatura que se mantenga en un rango de 14 a 27 grados centígrados ; para el caso de la humedad entre 30 y 70 porciento de humedad relativa; para los

niveles de iluminación dependen del lugar en que se encuentre sin embargo como iluminación mínima se tiene 20 luxes y máxima 1000 luxes; en el caso del ruido depende de las horas de exposición sin embargo como valor mínimo se tiene 85 dB y como máximo 115 dB; para el gas metano se tiene como límite máximo de exposición 1000 ppm en una jornada de trabajo; para el caso de monóxido de carbono como límite de exposición se tiene 50 ppm en 1 hora y 10 ppm en 8 horas; para GLP se tiene como valor máximo permisible 1000 ppm en una jornada de trabajo; para el alcohol se establece 0,8 g/L

- El prototipo tiene la capacidad de almacenamiento de datos de las 8 variables que se mide en el ambiente en la memoria no volátil de la tarjeta sb-RIO en un tiempo de 184 horas consecutivas.
- La tarjeta sb-RIO cuenta con un procesador industrial en tiempo real MPC5200 el cual funciona con un sistema operativo proporcionado por National Instruments denominado RTOS y mediante Labview Real Time se puede acceder a la mayoría de funciones y VIs que normalmente se encuentra en LabVIEW para programar la tarjeta sb-RIO.
- Para el almacenamiento de datos se utiliza el formato TDMS que permite almacenar gran cantidad de datos de manera óptima, además, los VIs que se utiliza para el almacenamiento en un archivo TDMS son VIs de bajo nivel lo que proporciona una reducción de recursos en la programación en RT de la tarjeta sb-RIO.
- Para la creación del reporte técnico de las variables que se mide se utiliza el software DIAdem el cual permite procesar y reportar fácil y rápidamente grandes volúmenes de datos tomados de las mediciones realizadas, además nos ayuda a realizar de forma ligera cálculos involucrados a las mediciones técnicas tales como FFT, aplicar filtros digitales, cálculos estadísticos, etc.

5.2 Recomendaciones

- El principio de funcionamiento de los sensores de gases utilizados para este proyecto es resistivo y además cuentan con un calefactor, por lo tanto el consumo de corriente es considerable, se debe tener en cuenta al momento de utilizar la fuente de alimentación para el sensor.

- Cuando se crea una aplicación embebida en el RT de hardware embebido ya sea sb-RIO o C-RIO se debe tener presente que en algunos modelos los controles e indicadores se eliminan, y si tenemos algunos nodos de propiedad de controles en la programación lo más aconsejable es cambiar estos por constantes.
- Utilizar VIs y funciones de bajo nivel en LabVIEW Real Time para crear aplicaciones de tiempo real en hardware embebido ya que estos disminuyen la utilización de recursos y se puede obtener mejores resultados en la ejecución del programa.
- Utilizar archivos para almacenamiento de datos tipo tdms ya que otros tipos de formatos consumen más memoria y recursos de hardware.
- Verificar el consumo de corriente de los dispositivos conectados a la tarjeta sb-RIO ya que si se supera el consumo nominal se puede ocasionar daños en el equipo.
- Para programar controladores embebido de tiempo real es aconsejable revisar los videos de formación y capacitación en línea autodidacta proporcionados por National Instruments de esta manera se aprende a programar de una manera profesional optimizando recursos al utilizar VIs o funciones específicas para cada aplicación.

Referencias

- [1] F. Vargas, «La contaminación ambiental como factor determinante de la salud,» *Esp. Salud Pública*, vol. 79, nº 2, pp. 2-4, 2011.
- [2] J. Quintero, M. Camargo, J. Puente y A. Quijano, «Método fotométrico para la determinación de la concentración de ozono atmosférico,» *BISTUA*, vol. 120, nº 4211, pp. 2-4, 2010.
- [3] M. Gómez y Otros, «Ruido industrial: efectos en la salud de los trabajadores expuestos,» *CES Salud pública*, vol. 3, nº 2, pp. 1-3, 2012.
- [4] P. Cantú, «El costo ambiental por el ascenso en la ciencia y la tecnología,» *Ciencia UANL*, vol. 3, nº 2, p. 127, 2011.
- [5] J. Mundó y R. Ocaña, «Impacto ambiental de un nuevo modelo de sistema de transporte público de Caracas,» *Territorios* 25, pp. 121-149, 2011.
- [6] F. Santillán, «Educación Ambiental, una Gestión al Desarrollo Sustentable en el Ecuador,» Proyecto sostenibilidad socio-ecológica, Universidad Internacional de Andalucía, España, 2012.
- [7] J. Desola, «Errores frecuentes en las intoxicaciones agudas por monóxido de carbono,» *Medicina clínica*, pp. 2-4, 2010.
- [8] C. Lee y F. Mora, «Monitoring System for Operational Efficiency and Environmental Performance of Construction Operations, Using Vibration Signal Analysis,» *Construction Research congress*, pp. 1-3, 2012.
- [9] M. Paolucci, «Investigación y construcción de un piloto de analizador de ambiente para calefón,» Tesis, Dep. de investigación, Universidad de Belgrano, Argentina, 2011.

- [10] M. Maldonado y I. Vega, «Construcción de un módulo sensor-transmisor para las emisiones de CO, CO₂, C₃ H₈ y opacidad en motores diésel sin carga,» Tesis, Dpto. Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2004.
- [11] D. Tituaña, «Construcción de un módulo de monitoreo de temperatura mediante enlace bluetooth,» Trabajo de fin de carrera, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2011.
- [12] K. Gómez y L. Fajardo, «Diseño y construcción de un prototipo para la medición de humedad relativa,» Trabajo de fin de carrera, Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2012.
- [13] L. Guagchinga y E. Guamaní, «Diseño e implementación de un sistema de medición electrónico de gases contaminantes y contaminación acústica en dos lugares de la ciudad de Latacunga utilizando un sistema de transmisión basado en tecnología Zigbee,» Tesis, Dpto. Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército , Latacunga, 2012.
- [14] C. Ramírez, «Medio Ambiente,» *Seguridad Industrial: un enfoque integral*, Limusa, pp. 155-200, 1996.
- [15] A. Hernández, Seguridad e higiene industrial, México: Limusa, 2005, p. 57.
- [16] P. Díaz, Prevención de riesgos laborales: seguridad y salud laboral, España: Paraninfo, 2009, p. 22.
- [17] M. Floría , Gestión de la higiene industrial en la empresa, Fundación Confemetal, 2007, pp. 440-446.
- [18] J. Cortéz, Seguridad e higiene del trabajo, 9 ed., Madrid: Tébar S. L., 2007, pp. 461-467.
- [19] A. Rodellar, Seguridad e higiene en el trabajo, España: MARCOMBO, 1998, p. 106.

- [20] F. Rey y E. Velasco, Auditoría de la calidad del ambiente interior (IEQ): guía metodológica, España: Ed. Espain, 2007, pp. 189-199.
- [21] T. Maloney, Electrónica industrial moderna, Quinta ed., México: Pearson Educación, 2006, pp. 410-470.
- [22] R. Tambutti y H. Muñoz, Introducción a la física y a la química 1, Cuarta ed., México: Limusa, 2005, p. 211.
- [23] R. L. Wolke, Lo que Eistein le contó a su cocinero, Barcelona: Robinbook, 2003, p. 239.
- [24] P. Floría, La prevención del ruido en la empresa, Fundación Confemetal, 1999, pp. 163-165.
- [25] F. Menéndez, Higiene industrial Manual para la formación del especialista, Novena ed., España: Lex Nova S.A., 2009, pp. 286-295.
- [26] F. Llaneza, Ergonomía y psicología aplicada: manual para la formación del especialista, Treceava ed., España: Lex Nova, 2009, p. 156.
- [27] J. Carreón, Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría, México: Limusa, 2004, pp. 118-119.
- [28] J. Moreno, C. Fernandez y D. Lasso, Instalaciones eléctricas interiores, Tercera ed., Madrid: Paraninfo, 2010, p. 277.
- [29] S. Gallardo, Configuración de instalaciones domóticas y automáticas, Primera ed., España: Paraninfo, 2013, p. 44.
- [30] J. Texley, Investigating Safely: A Guide for High School Teachers, E.E.U.U.: NSTA press, 2004, p. 52.

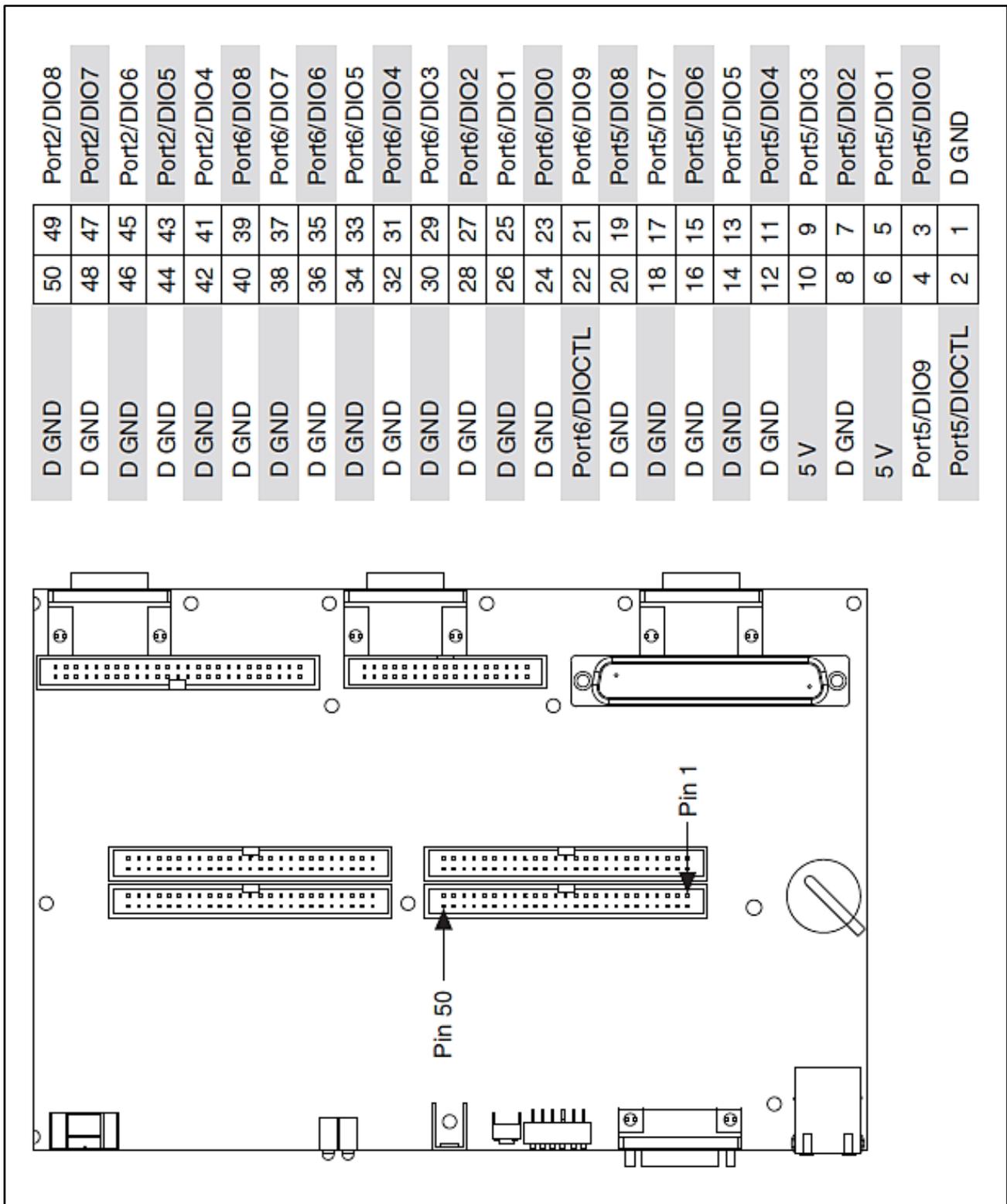
- [31] L. Azcuénaga , Guía para la implantación de un sistema de prevención de riesgos laborales, Tercera ed., España: Fundación Confemetal, 2004, p. 107.
- [32] A. Serna Ruiz, F. Ros y J. Rico, Guía práctica de sensores, España: Creaciones COPYRIGHT, 2010, pp. 3-7.
- [33] R. Pallás, Adquisición y distribución de señales, Barcelona: Marcombo, 1993, p. 32.
- [34] A. Creus, Instrumentación Industrial, Octava ed., México: Alfaomega, 2011, pp. 4-18.
- [35] N. Kularatha, Digital and analogue instrumentation testing and measurement, vol. XI, Bodmin: Institution of Electrical Engineers, 2003, pp. 527-553.
- [36] W. Dunn, Instrumentation, Sensors, and Process Control, Norwood: Artech House, 2006, pp. 186-189.
- [37] D. Walters, «Chemical sensing: An Emergent MEMS technology,» *Proceedings of sensors Expo*, pp. 173-186, 1996.
- [38] F. Randy, Understanding Smart Sensors, U.S.: Artech House, 2013, p. 250.
- [39] J. Webster, «Acoustic measurements,» de *Measurement, instrumentation and sensors*, U. S., CRC Press LLC, 1999, p. 27.
- [40] J. Merino, Vibraciones de la música, España: Club Universitario, 2006, p. 338.
- [41] J. Whitaker, The electronics handbook, U. S.: CRC Press, 2005, pp. 280-281.
- [42] F. Miraya, Música electroacustica, Argentina: A.U.G.M, 2006, pp. 90-92.
- [43] C. Steiner, The 8051/8052 Microcontroller, USA: Universal-Publishers, 2005, pp. 267-268.

- [44] J. Smith, Programming the PIC Microcontroller with MBASIC, USA: Elsevier, 2005, pp. 231-232.
- [45] B. Horan, Practical Raspberry Pi, Apress, 2013, p. 43.
- [46] J. Molina y M. Jiménez, Programación gráfica para ingenieros, Barcelona: Marcombo S.A., 2010, pp. 110-112.
- [47] J. Lajara y J. Pelegrí, Labview Entorno gráfico de programación, México: Alfaomega, 2007, pp. 161-166.
- [48] N. Instruments, «NI Single-Board RIO Embedded Control and Acquisition,» 19 Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/7441/en/>. [Último acceso: 29 Junio 2014].
- [49] C. Maxfield, The Design Warrior's Guide to FPGAs: devices, tools and flows, USA: Elsevier, 2004, pp. 1-12.
- [50] N. Kehtarnavaz y N. Kim, Digital Signal Processing System-Level Design Using LabVIEW, USA: Newnes, 2005, pp. 5-31.
- [51] O. Torrente, Arduino: curso práctico de formación, España: RC Libros, 2013, p. 433.
- [52] J. Millán, Instalaciones de megafonía y sonorización, España: Paraninfo, 2012, p. 61.
- [53] D. De Fex, Constitución Política E Instrucción Cívica I Edición, Segunda ed., p. 3.
- [54] D. De Fex, *Constitucion Politica E Instruccion Civica*, II ed., Chile, 2014, p. 3.
- [55] *Constitución de la República del Ecuador*, Ecuador: Registro Oficial: 449, 2008.

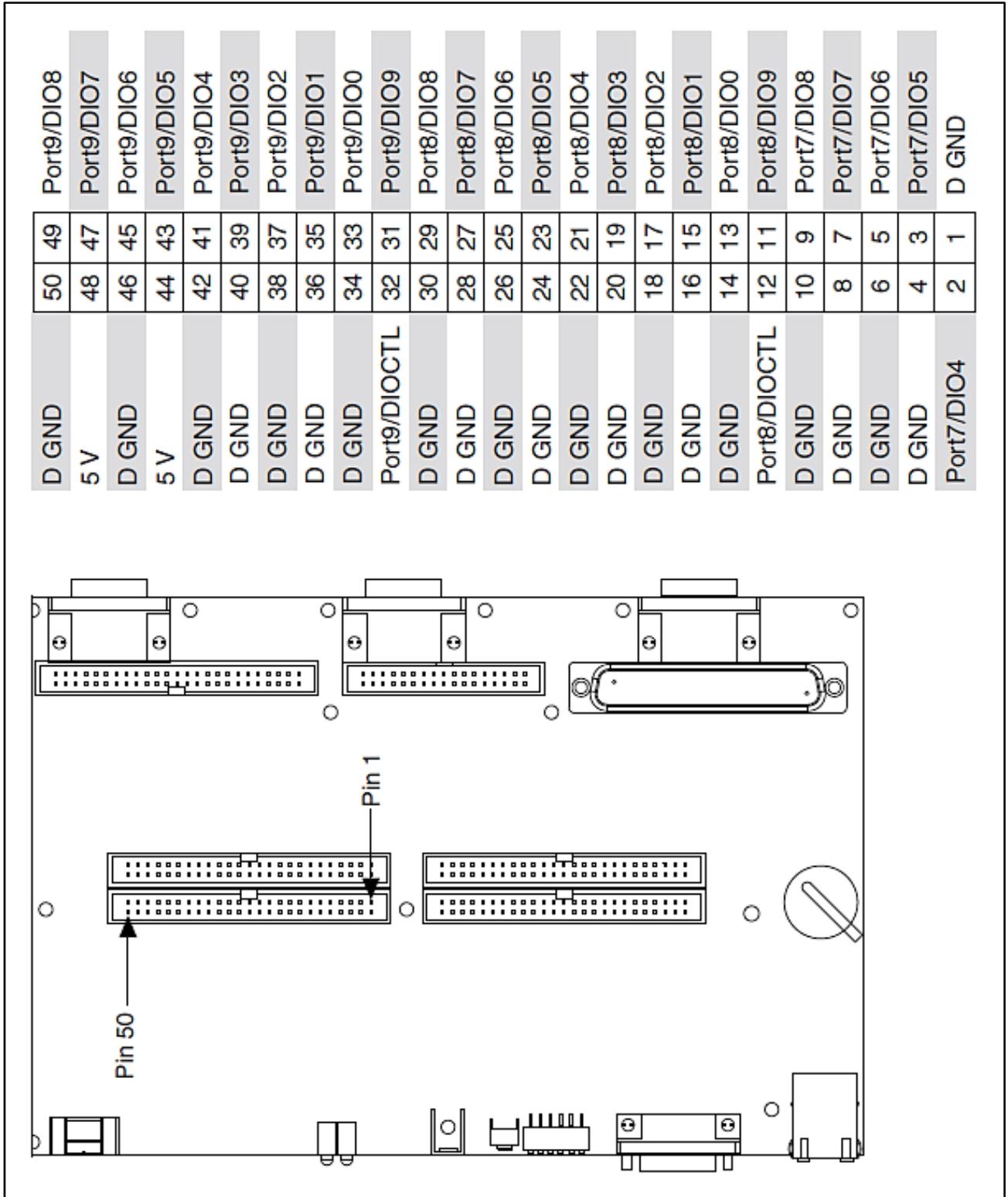
- [56] *Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial*, Ecuador: Registro Oficial del Suplemento 398 de 07-08-2008, 2011.
- [57] *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*, Ecuador: Registro Oficial 565, 1986, pp. 24-30.
- [58] N. I., «ni.com,» Junio 2010. [En línea]. Available: <http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/00E7F65295734CA486257A8700681784>. [Último acceso: Octubre 2014].
- [59] A. Somov, A. Baranov, A. Savkin, D. Spirjakin, A. Spirjakin y R. Passerone, «Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring,» *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 171, n° 2, pp. 398-405, 2011.
- [60] D. Sarkar y A. Chowdhury, «A Real Time Embedded System Application for,» *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 10, n° 9, pp. 1-3, 2014.
- [61] M. Cheesbrough, *District Laboratory Practice in Tropical Countries*, Parte 1, Hong Kong: Sheck Tong Printing Press, 2005, p. 69.
- [62] M. Williams, *NUTRICIÓN PARA LA SALUD LA CONDICIÓN FÍSICA Y EL DEPORTE (Bicolor)*, España: Paidotribo, 2002, p. 123.
- [63] M. D. C. C. Álvarez, *ATS/DUE del Servicio Gallego de Salud: Temario específico, Volumen 1*, España: Mad, S.L., 2006, p. 215.
- [64] N. Instruments, «NI.com,» Junio 2013. [En línea]. Available: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370622L-01/lvrtbestpractices/rt_gui_bp/. [Último acceso: Agosto 2014].

Anexos

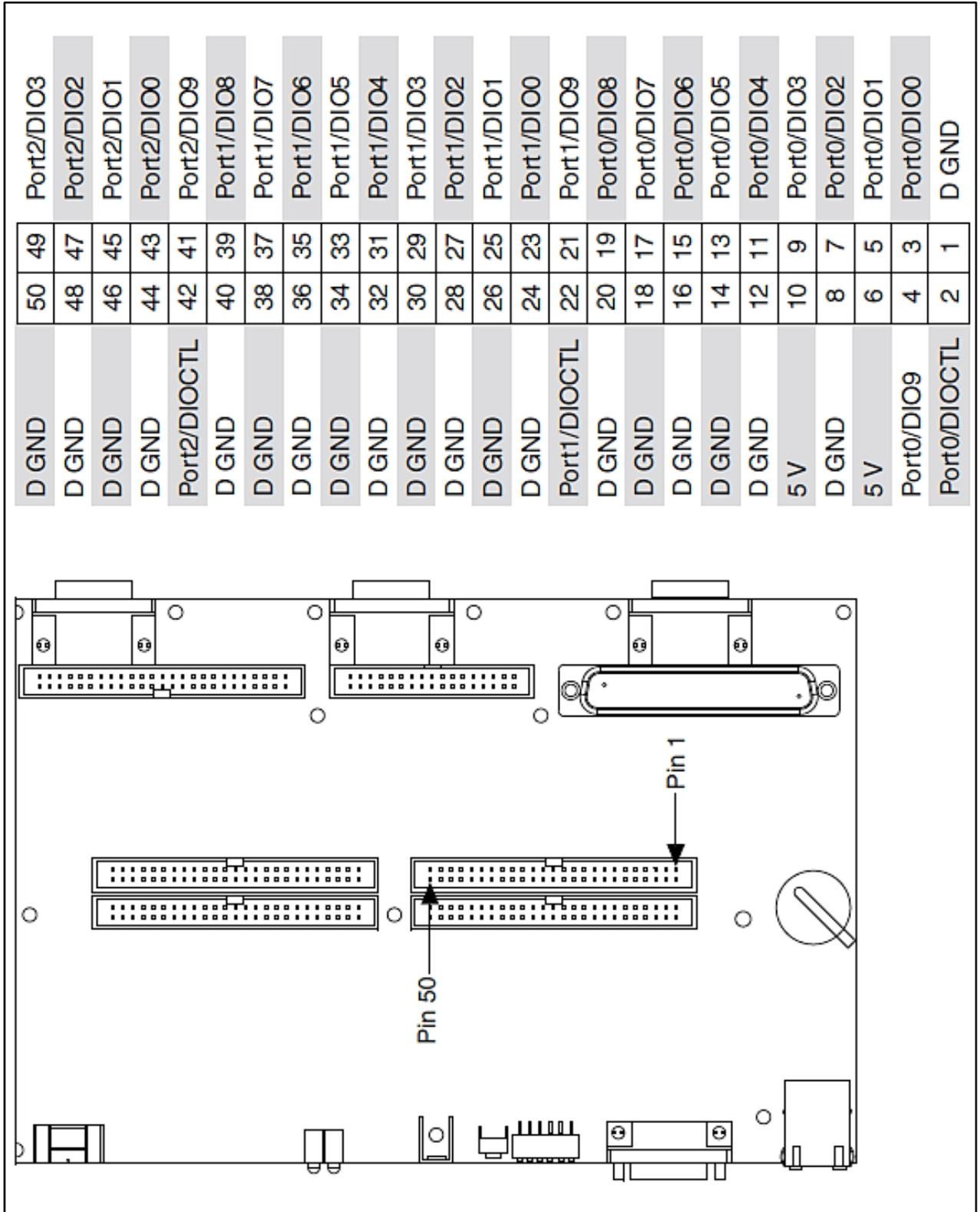
Anexo1: Descripción de los pines digitales del conector P2.



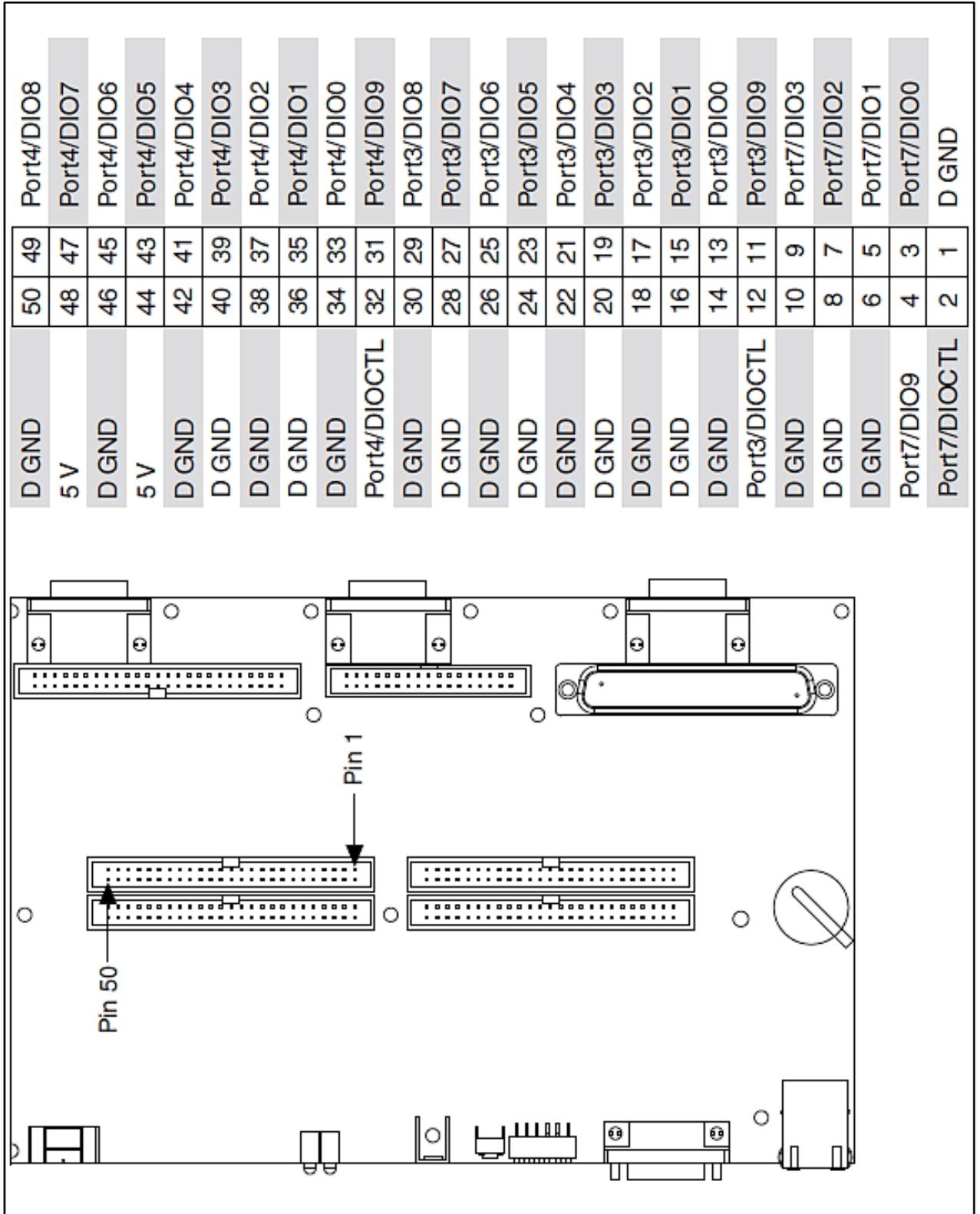
Anexo2: Descripción de los pines digitales del conector P3.



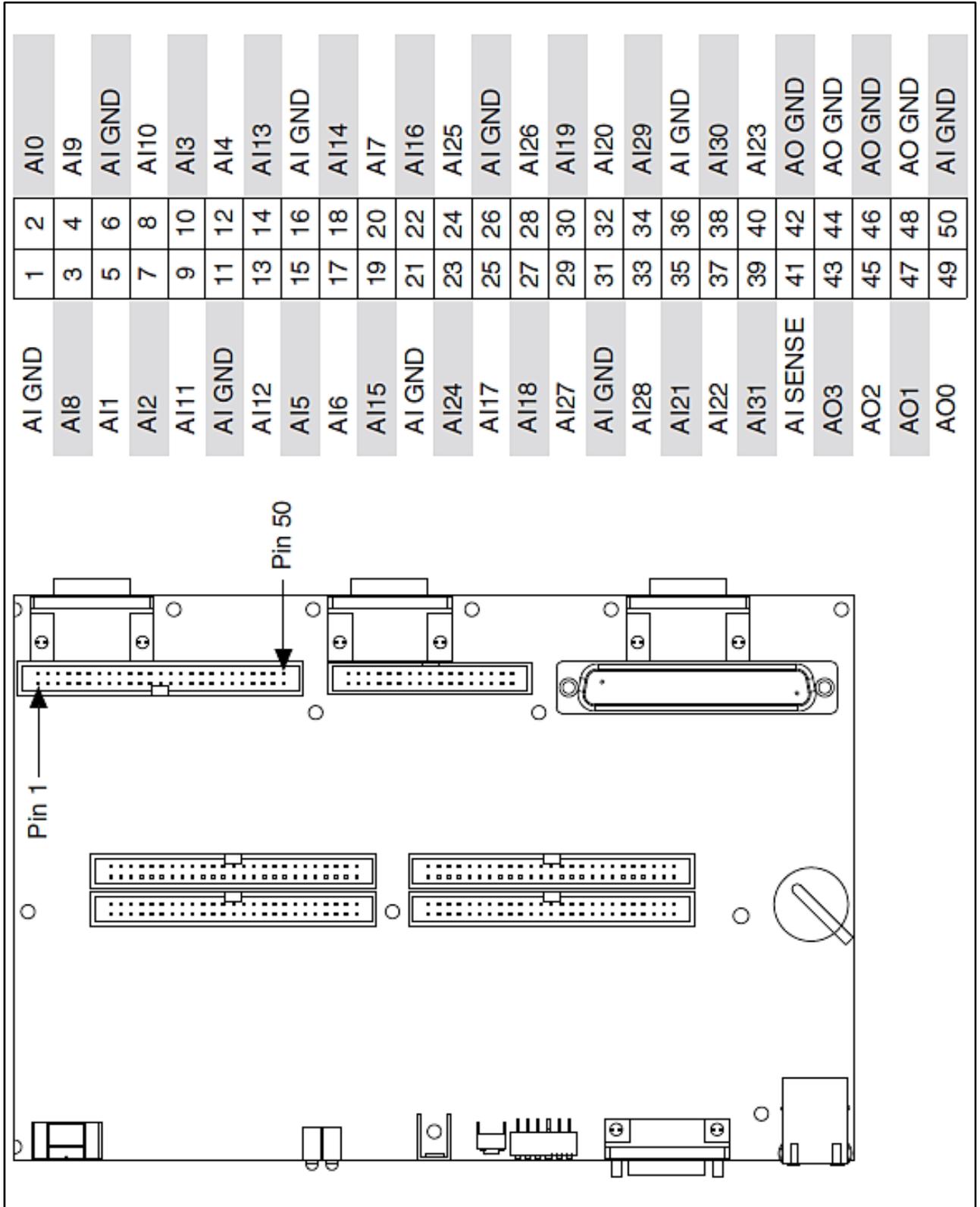
Anexo3: Descripción de los pines digitales del conector P4.



Anexo4: Descripción de los pines digitales del conector P5.



Anexo5: Descripción de los pines analógicos del conector J7.



LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

FEATURES

- Calibrated Directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10 mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at +25°C)
- Rated for Full –55°C to +150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 to 30 V
- Less than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Nonlinearity Only ±¼°C Typical
- Low Impedance Output, 0.1 Ω for 1 mA Load

DESCRIPTION

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, with an output voltage linearly proportional to the Centigrade temperature. Thus the LM35 has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full –55°C to +150°C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 make interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a –55°C to +150°C temperature range, while the LM35C is rated for a –40°C to +110°C range (–10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

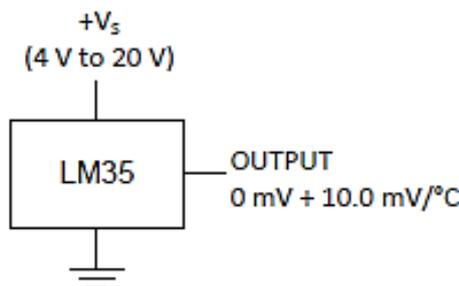
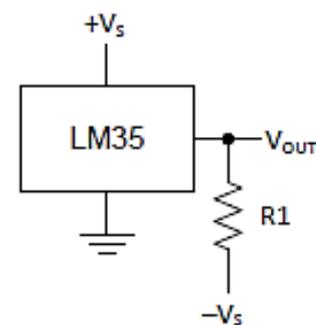


Figure 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



Choose $R_1 = -V_s / 50 \mu\text{A}$
 $V_{OUT} = 1500 \text{ mV}$ at 150°C
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV}$ at 25°C
 $V_{OUT} = -550 \text{ mV}$ at –55°C

Figure 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾⁽²⁾

		MIN	MAX	UNIT	
Supply voltage		-0.2	35	V	
Output voltage		-1	6	V	
Output current			10	mA	
Electrostatic discharge (ESD) susceptibility ⁽³⁾			2500	V	
Storage temperature	TO Package	-60	180	°C	
	TO-92 Package	-60	150		
	TO-220 Package	-65	150		
	SOIC-8 Package	-65	150		
Lead temperature	TO Package (soldering, 10 seconds)		300	°C	
	TO-92 and TO-220 Package (soldering, 10 seconds)		260		
	SOIC Package	Infrared (15 seconds)	220		
		Vapor phase (60 seconds)	215		
Specified operating temperature range: T_{MIN} to T_{MAX} ⁽⁴⁾	LM35, LM35A		-55	150	°C
	LM35C, LM35CA		-40	110	
	LM35D		0	100	

- (1) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See [Note 1](#).
- (3) Human body model, 100 pF discharged through a 1.5-kΩ resistor.
- (4) Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W, junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the [APPLICATIONS](#) section.

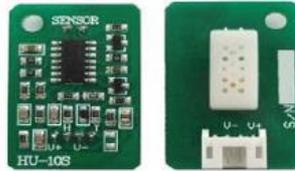
ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A			LM35CA			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽³⁾	DESIGN LIMIT ⁽⁴⁾	
Accuracy ⁽⁵⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	±0.3			±0.3		±1	
	$T_A = T_{MAX}$	±0.4	±1		±0.4	±1		
	$T_A = T_{MIN}$	±0.4	±1		±0.4		±1.5	
Nonlinearity ⁽⁶⁾	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	±0.18		±0.35	±0.15		±0.3	°C
Sensor gain (average slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10	+9.9, +10.1		+10		+9.9, +10.1	mV/°C
Load regulation ⁽⁷⁾ $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	±0.4	±1		±0.4	±1		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	±0.5		±3	±0.5		±3	
Line regulation ⁽⁷⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}$	±0.02		±0.1	±0.02		±0.1	

- (1) Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq 150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = 5 \text{ Vdc}$ and $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of [Figure 2](#). These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of [Figure 1](#). Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.
- (2) Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.
- (3) Tested Limits are ensured and 100% tested in production.
- (4) Design Limits are ensured (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.
- (5) Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10 mV/°C times the case temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).
- (6) Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.
- (7) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Anexo7: Hoja de datos del sensor HU-10S

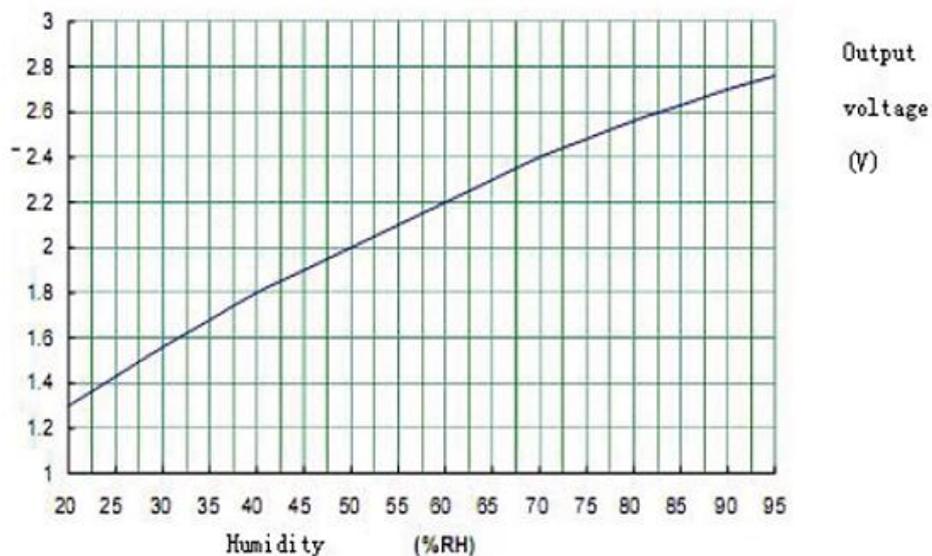
1. Aplicación: Sensor de Humedad y Temperatura para sistemas de aire acondicionado y monitorización, registradores de humedad, sistemas de monitorización. Provee valores de temperatura y humedad a través de una salida digital. No requiere componentes externos, y puede ser conectado directamente a un microcontrolador



2. Características Eléctricas

Referencia Eléctrica	Módulo HU-10S
Rango de Voltaje de Operación	Voltaje DC 5.0 ±0.1V
Rango de Voltaje de Salida	Voltaje DC 1.0 - 3.0V
Corriente de Operación (Max)	2mA
Rango de Humedad de Almacenamiento (%RH)	0 – 95
Rango de Humedad de Operación (%RH)	20 – 90
Rango de Temperatura de Almacenamiento (°C)	-20 – 70
Rango de Temperatura de Almacenamiento (°C)	0 – 50
Rango de Histéresis de humedad (RH @25°C)	Max 2% RH
Estabilidad en trabajo de larga duración	±1.5%
Linealidad	Salida Lineal
Tiempo de Respuesta (63% del alcance)	1 min
Tamaño (Longitud x Anchura)	34mm x 22mm

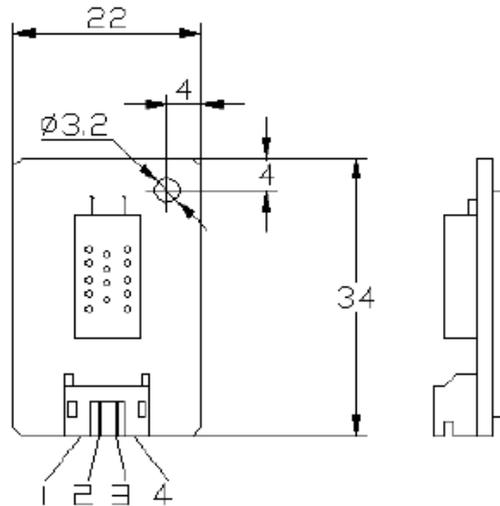
3. Curva de Respuesta típica a 25°C



Valor estándar de voltaje de salida

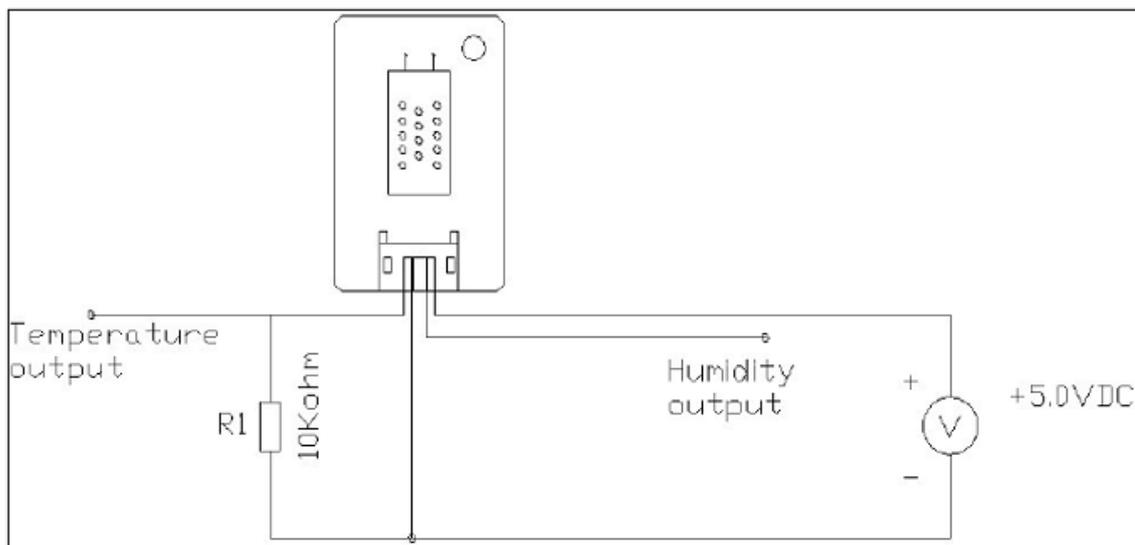
%RH	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Voltaje de Salida (V)	1.30	1.43	1.56	1.68	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20
%RH	65	70	75	80	85	90	95		
Voltaje de Salida (V)	2.30	2.40	2.48	2.56	2.63	2.70	2.76		

5. Dimensiones y Distribución de Pines:



Pin	Función
1	Salida de Temperatura
2	Tierra
3	Salida de Humedad
4	Alimentación (+5.0 V)

6. Diagrama de conexión eléctrica



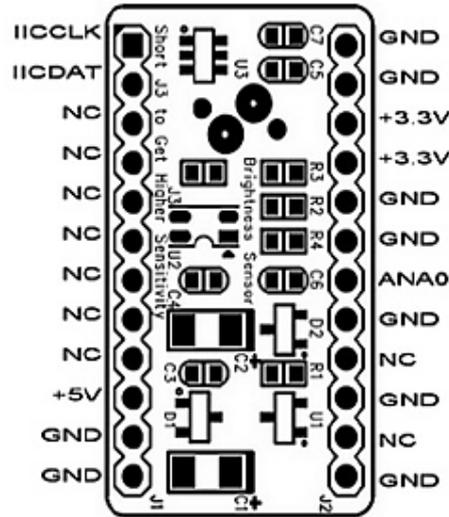
Anexo8: hoja de datos del sensor TSL230 y del módulo MM1616.

Hardware Description

2.1 Hardware components on board

- (1) Brightness sensor: MM1616 brightness sensor chip
- (2) AD conversion chip: mcp3421 chip

2.2 Port Definition



Port Names	Port Descriptions
IICCLK,IICDAT	I ² C interface used for transferring clock and data signal
NC	No Connection
+5V	Port for +5V power input
GND	GND
+3.3V	Port as either the power input of +3.3V or to test if the voltage applied on "+5V" port is correct.
ANA0	Analog voltage output end of brightness sensor

Electrical Characteristics

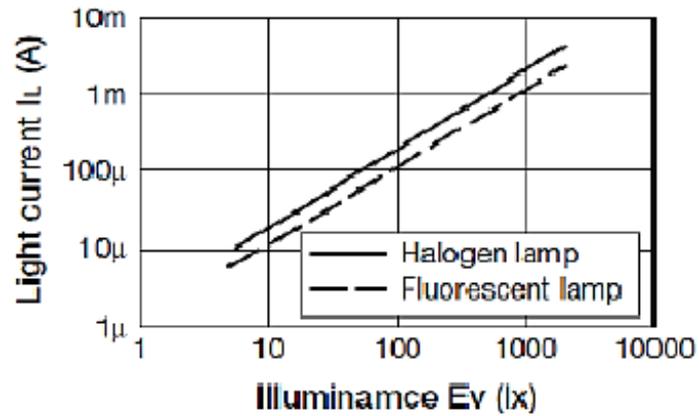
1 Parameter's list of brightness module

(1) Absolute Max Rating

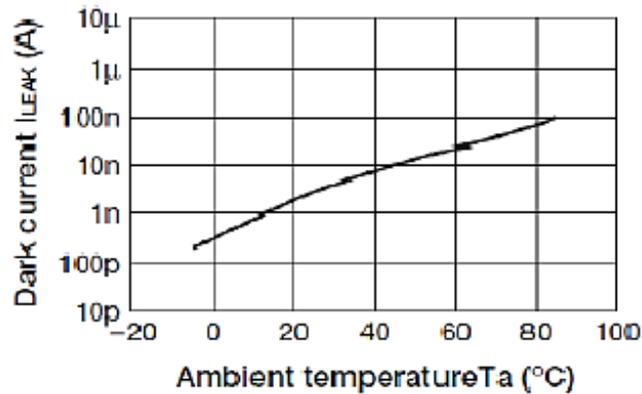
Item	Symbol	Specifications			Remarks
		Min.	Typ	Max.	
Storage Temperature	T _{STG}	-40℃		+100℃	
Operating Voltage	V _{DD}		5V/3.3V		GND=0V
Operating temperature	T _{OPR}	-30℃		+85℃	
Output Voltage	V _{I2C}	0		2.048V	I ² C interface

This module can be used directly when luminous intensity is no greater than 1000[lx]. At this moment, $V_{OUT} = I_L \times 1K\Omega$.

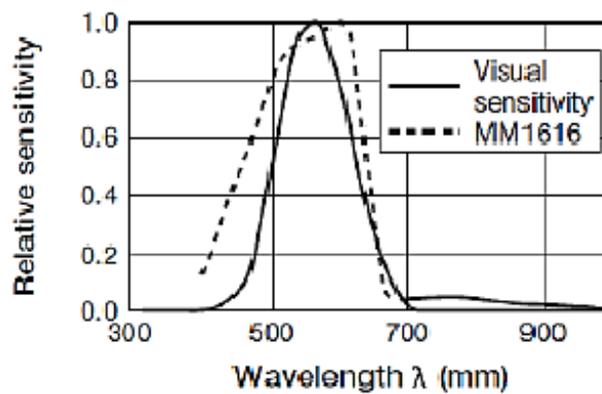
■ Light current – Illuminance



■ Dark current – Ambient temperature



■ Spectral response



Anexo9: Hoja de datos del micrófono 40 PH.

High-Sensitivity Array Microphone Type 40PH

Product Data

Features and Applications

- Multi-channel measurements
- Sound-field analyses
- Sound-power measurements
- Concurrent spatial and transient measurements

The G.R.A.S. Array Microphone Type 40PH (Fig. 1) is a low-cost microphone for general purpose measurements in arrays and matrices. It has a wide useful frequency range reaching up to 20kHz (Fig. 2) and a large dynamic range topping at around 135 dB.

It has an integrated CCP¹ preamplifier and is delivered with a built-in TEDS² chip which enables it to be programmed as a complete unit. The Type 40PH requires a constant-current power supply, e.g. the G.R.A.S. CCP Supply Type 12AL, or any other CCP compatible power supply.

Close manufacturing tolerances together with the advantages of the TEDS chip, provide the Type 40PH with a high degree of interchangeability; a



Fig. 1 Array Microphone Type 40PH with integrated CCP preamplifier

major advantage when used in multiples forming arrays and matrices.

The low cost of the Type 40PH is a key consideration when setting up measurements requiring a multiplicity of concurrent transient and spatial data.

Calibrating the Type 40PH with a G.R.A.S. piston-phone, e.g. the Type 42AA, is as straight forward as calibrating any other G.R.A.S. 1/4-inch microphone.

All G.R.A.S. microphones are individually checked and calibrated before leaving the factory. An individual calibration chart is supplied with each microphone.

- 1 Constant Current Power.
- 2 Transducer Electronic Data Sheet - as proposed by IEEE-P1451.4

Specifications

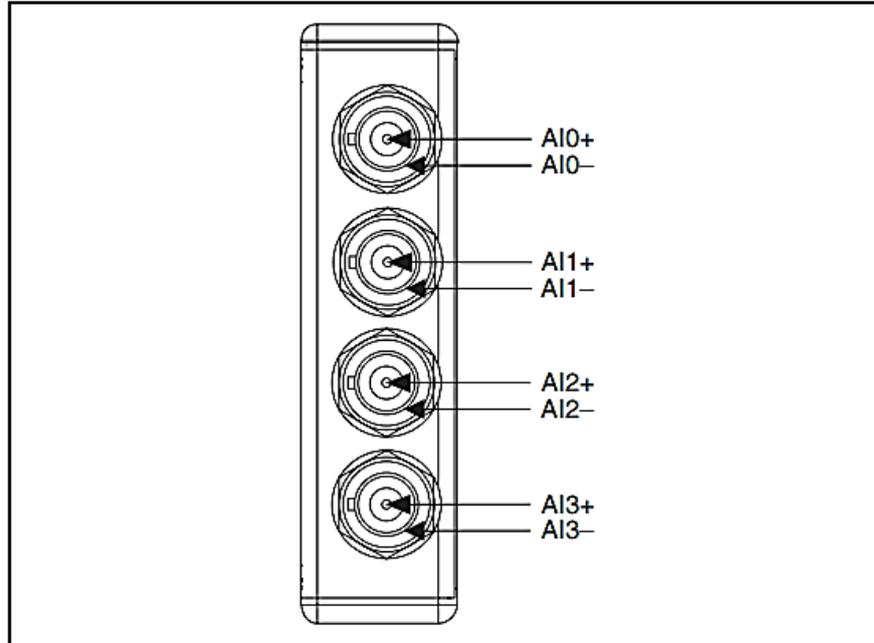
Nominal Sensitivity: at 250Hz 50 mV/Pa (± 2 dB)	Influence of axial vibration: for 1 m/s ² 50 dB re. 20 μ Pa
Frequency Response (re. 250 Hz): ± 3 dB 10 Hz - 50 Hz ± 1 dB 50 Hz - 5 kHz ± 2 dB 5 kHz - 20 kHz	Temperature Range: -10 °C to +50 °C
Upper Limit of Dynamic Range: Max. output 135 dB re. 20 μ Pa	Output impedance: < 50 Ω
Lower Limit of Dynamic Range: Thermal noise < 32 dBA re. 20 μ Pa	Output connector: SMB coaxial socket
Phase Match: 50 Hz - 100 Hz $\pm 5^\circ$ 100 Hz - 3 kHz $\pm 3^\circ$ 3 kHz - 5 kHz $\pm 5^\circ$ 5 kHz - 10 kHz $\pm 10^\circ$	Length: 59.1 mm (2.33 inches)
	Diameter: 7.0 mm (0.28 inches)
	Weight: 5.5g (0.2 oz.)
	Power supply: 2 mA to 20 mA (typically 4 mA)

G.R.A.S.
SOUND & VIBRATION

Skovlytoften 33,
2840 Holte, Denmark
www.gras.dk gras@gras.dk

Connecting the NI 9234

The NI 9234 has four BNC connectors that provide connections to four simultaneously sampled analog input channels.



Each channel has a BNC connector to which you can connect a signal source. You can also enable excitation current on a per-channel basis to connect Integrated Electronics Piezoelectric (IEPE) sensors. Refer to the *NI 9234 Circuitry* section for more information. The center pin of the connector, AI+, provides the DC excitation, when enabled, and the positive input signal connection. The shell of the connector, AI-, provides the excitation return path and the signal ground reference.

Connecting Signal Sources to the NI 9234

You can connect ground-referenced or floating signal sources to the NI 9234. To avoid picking up ground noise, use a floating connection. To further minimize ground noise, prevent the metal shells of the BNC connectors from coming in contact with each other, the modules, or the chassis.

If you make a ground-referenced connection between the signal source and the NI 9234, make sure the voltage on the AI- shell is in the common-mode range to ensure proper operation of the NI 9234. The AI- shell is protected against accidental contact with overvoltages within the overvoltage protection range. Refer to the *Specifications* section for more information about operating voltages and overvoltage protection.

NI 9234 Circuitry

The NI 9234 analog input channels are referenced to chassis ground through a $50\ \Omega$ resistor. To minimize ground noise, make sure the chassis ground is connected to earth ground. Each channel is protected from overvoltages. The input signal on each channel is buffered, conditioned, and then sampled by a 24-bit Delta-Sigma ADC. You can configure each channel in software for AC or DC coupling. For channels set to AC coupling, you can turn the IEPE excitation current on or off. Refer to the software help for information about configuring channels on the NI 9234.

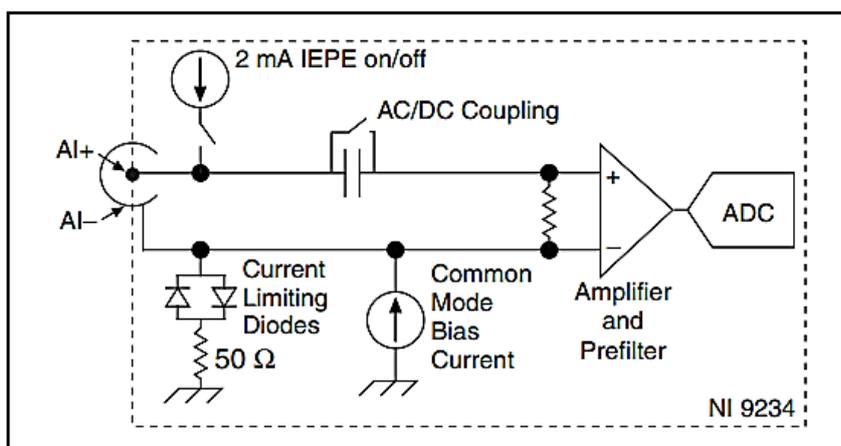


Figure 4. NI 9234 Input Circuitry for One Channel

The NI 9234 uses common-mode bias current to bias the current-limiting diodes when IEPE current is turned off. When the NI 9234 is using grounded signal sources, this current causes an error that is dependent on the AI- lead impedance. This error is approximately 50 ppm of range and 15 ppm of reading per Ω of AI- impedance. The common-mode bias current causes an error only with grounded sources and is not an issue with floating signal sources. For best accuracy, use a floating connection or use low-impedance leads when connecting grounded signal sources.

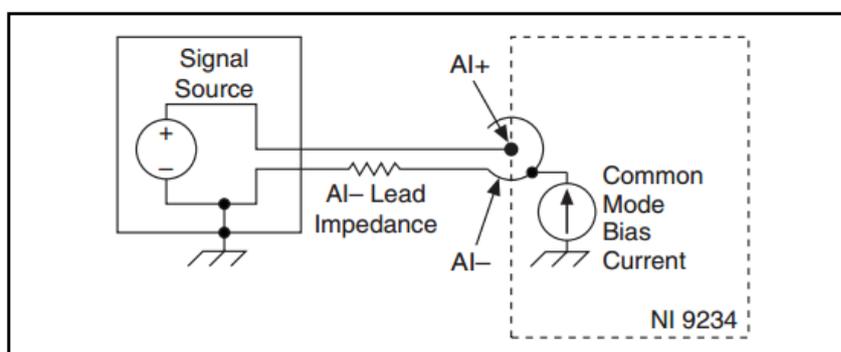


Figure 5. Measurement Error Introduced by Common-Mode Bias Current

The NI 9234 also has TEDS circuitry. For more information about TEDS, go to ni.com/info and enter `rdteds`.

Specifications

The following specifications are typical for the range –40 to 70 °C unless otherwise noted.

Input Characteristics

Number of channels.....	4 analog input channels
ADC resolution.....	24 bits
Type of ADC.....	Delta-Sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode.....	Simultaneous
Type of TEDS supported.....	IEEE 1451.4 TEDS Class I
Internal master timebase (f_M)	
Frequency.....	13.1072 MHz
Accuracy.....	±50 ppm max
Data rate range (f_s) using internal master timebase	
Minimum.....	1.652 kS/s
Maximum.....	51.2 kS/s
Data rate range (f_s) using external master timebase	
Minimum.....	0.391 kS/s
Maximum.....	52.734 kS/s
Data rates ¹ (f_s).....	$\frac{f_M \div 256}{n}$, $n = 1, 2, \dots, 31$
Input coupling.....	AC/DC (software-selectable)
AC cutoff frequency	
–3 dB.....	0.5 Hz
–0.1 dB.....	4.6 Hz max
Input range.....	±5 V
AC voltage full-scale range	
Minimum.....	±5 V _{pk}
Typical.....	±5.1 V _{pk}
Maximum.....	±5.2 V _{pk}
Common-mode voltage range (AI– to earth ground).....	±2 V max
IEPE excitation current (software-selectable on/off)	
Minimum.....	2.0 mA
Typical.....	2.1 mA
Power-on glitch.....	90 μA for 10 μs

Anexo11: Hoja de especificaciones del sensor MQ-4

HANWEI ELECTRONICS

MQ-4

www.hwsensor.com

TECHNICAL DATA

MQ-4 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to CH₄. Natural gas.
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response .
- * Stable and long life
- * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH₄, Natural gas, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	20KΩ	
R _H	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mw	

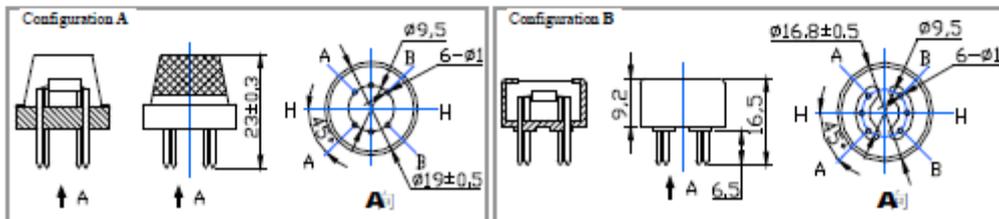
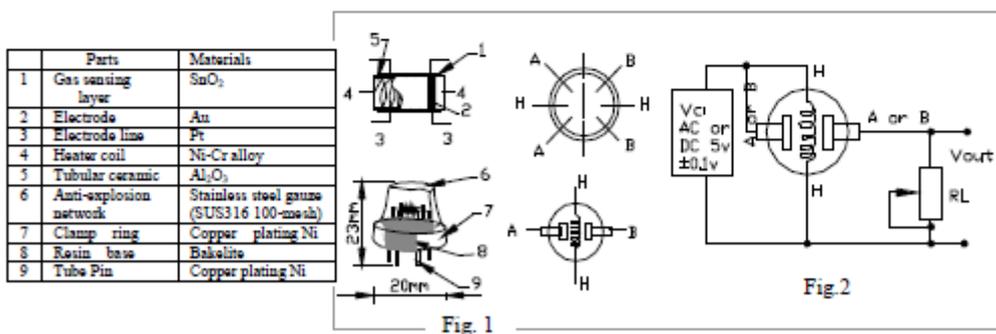
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10℃-50℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10KΩ - 60KΩ (1000ppm CH ₄)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH ₄ , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm CH ₄)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃±2℃ Humidity: 65%±5%	V _c : 5V±0.1 V _H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



TEL: 86-371-67169080

FAX: 86-371-67169090

E-mail: sales@hwsensor.com

Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

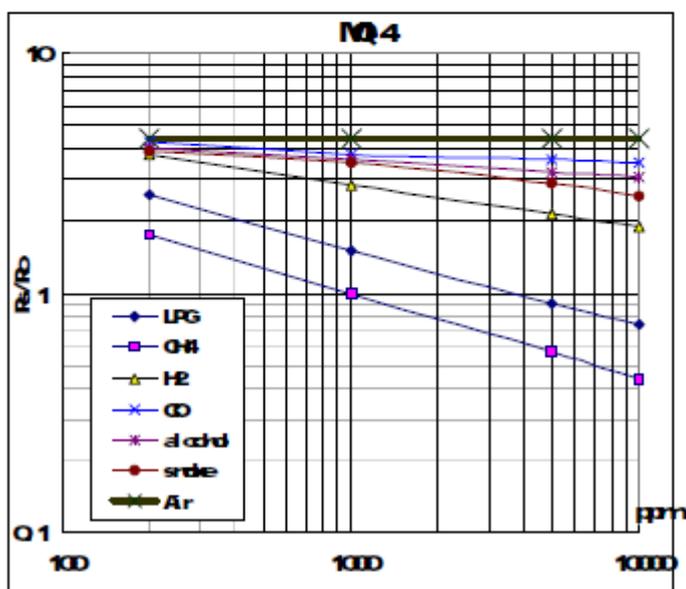


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O_2 concentration 21% $R_L=20k\Omega$
 R_0 : sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in the clean air.
 R_s : sensor resistance at various concentrations of gases.

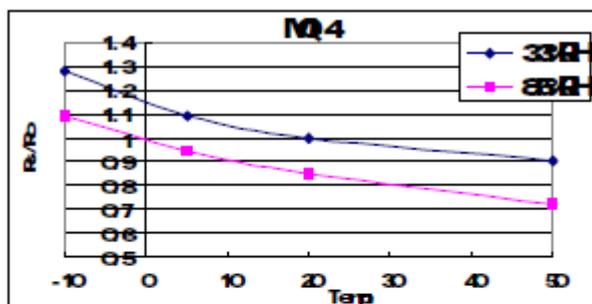


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity. R_0 : sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in air at 33%RH and 20 degree.
 R_s : sensor resistance at 1000ppm of CH_4 in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of CH_4 concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about $20K\Omega$ ($10K\Omega$ to $47K\Omega$).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Anexo12: Hoja de datos del sensor MQ-7.

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD

MQ-7

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA

MQ-7 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	33 Ω ±5%	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60±1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90±1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20℃-50℃	
Tas	Storage temperature	-20℃-50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature -20℃±2℃ relative humidity 65%±5%	RL:10K Ω ±5%	
	Vc:5V±0.1V VH:5V±0.1V VH:1.4V±0.1V		
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

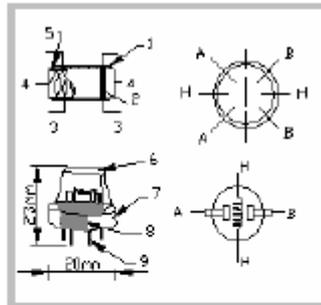
Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TEL:86-371-67169070 67169080

FAX:86-371-67169090

Email: sales@hwsensor.com

6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO ₂
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al ₂ O ₃
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1

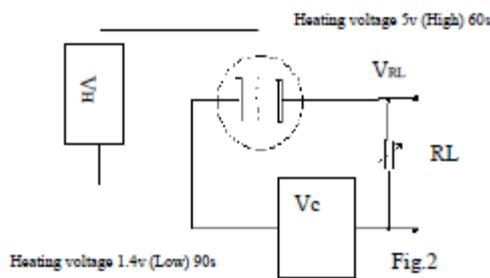
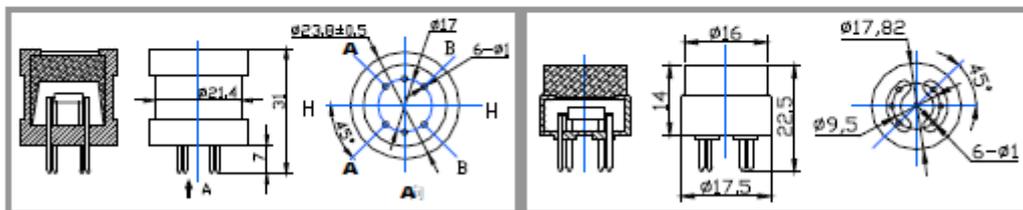


Fig.2

Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

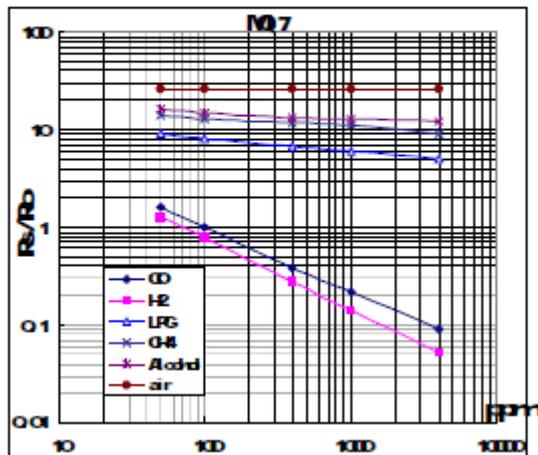


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O₂ concentration 21% RL=10k Ω
 R₀: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.
 R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

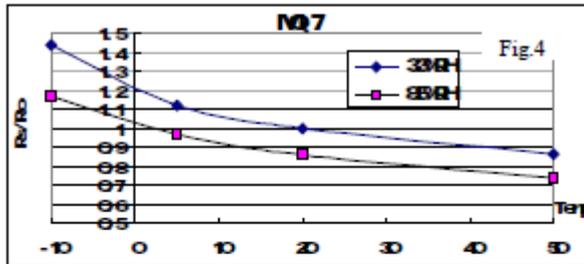


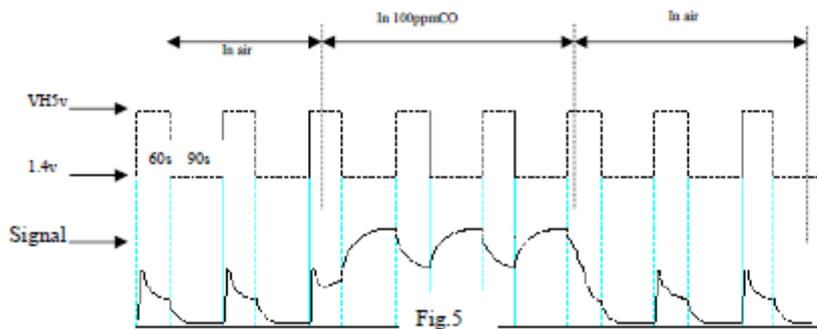
Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.
 Ro: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.
 Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R_s is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R_L which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s/R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of R_L signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO_2 with stability, So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that(R_L) about $10\text{ K}\Omega$ ($5\text{ K}\Omega$ to $47\text{ K}\Omega$).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us.](#)

Anexo13: Hoja de datos del sensor MQ-6.

TECHNICAL DATA

MQ-6 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to LPG, iso-butane, propane
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response . * Stable and long life * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, iso-butane, propane, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	20KΩ	
R _H	Heater resistance	33Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mw	

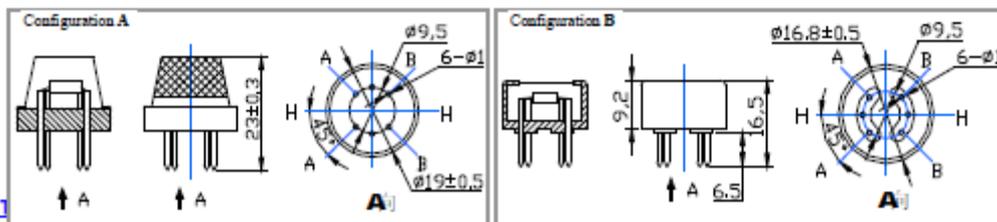
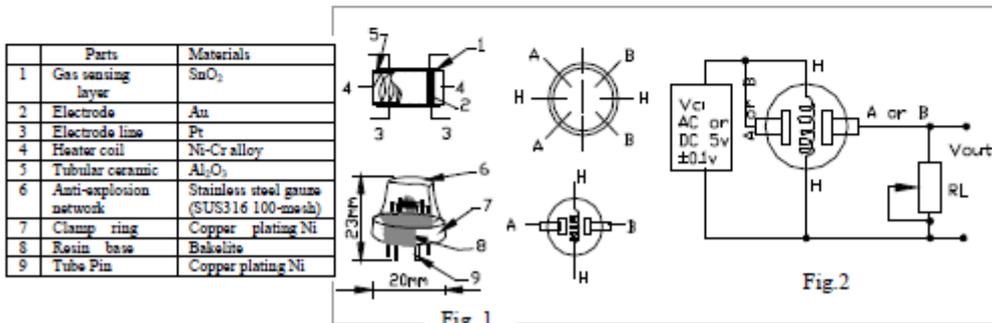
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10℃-50℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _{rh}	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R _s	Sensing Resistance	10KΩ - 60KΩ (1000ppm LPG)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm LPG , iso-butane, propane, LNG
α (1000ppm/ 4000ppm LPG)	Concentration slope rate	≤ 0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5%	V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-6 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-6 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-6

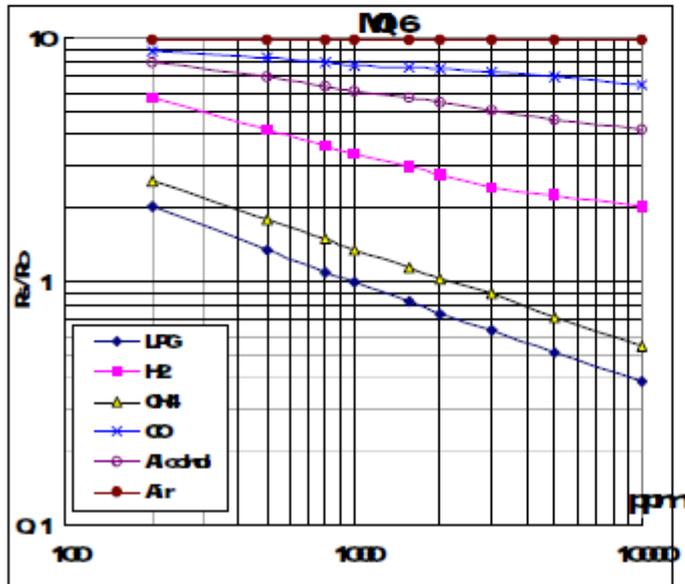


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-6 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O_2 concentration 21%, $R_L=20k\ \Omega$
 R_0 : sensor resistance at 1000ppm of LPG in the clean air.
 R_s : sensor resistance at various concentrations of gases.

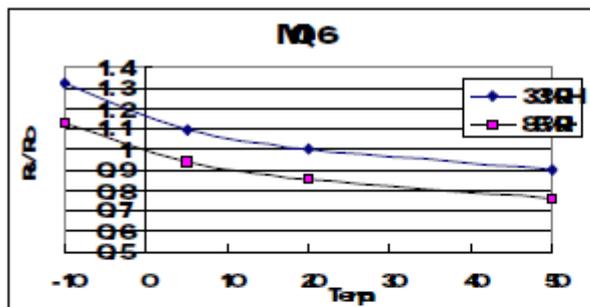


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-6 on temperature and humidity. R_0 : sensor resistance at 1000ppm of LPG in air at 33%RH and 20 degree.
 R_s : sensor resistance at 1000ppm of LPG in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-6 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm of LPG concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about $20K\ \Omega$ ($10K\ \Omega$ to $47K\ \Omega$).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Anexo14: Hoja de datos del sensor MQ-3.

HANWEI ELETRONICS CO.,LTD

MQ-3

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA

MQ-3 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to alcohol and small sensitivity to Benzine .
- * Fast response and High sensitivity
- * Stable and long life
- * Simple drive circuit

APPLICATION

They are suitable for alcohol checker, Breathalyser.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Vc	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	200KΩ	
R _H	Heater resistance	33Ω ±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mw	

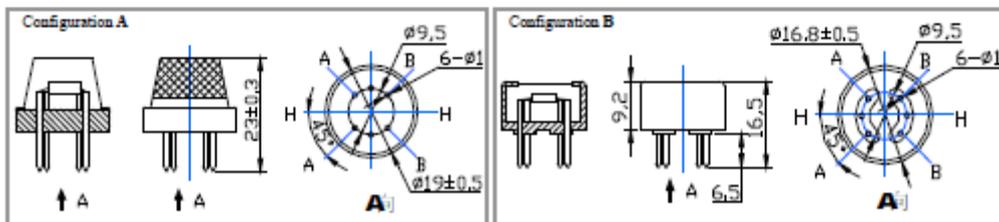
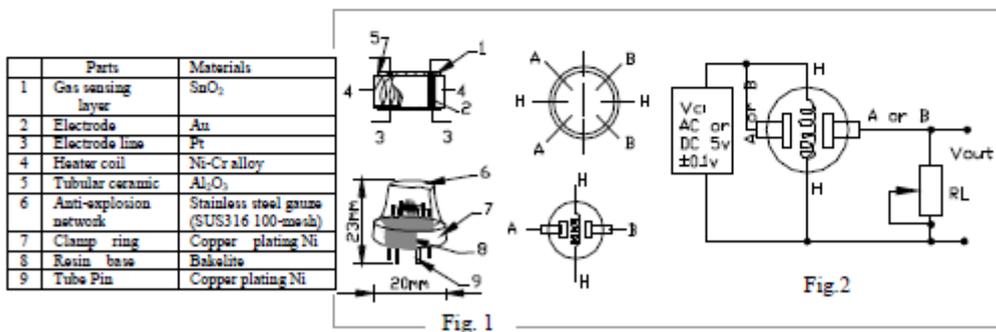
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Tao	Using Tem	-10℃-50℃	
Tas	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R _s	Sensing Resistance	1MΩ - 8 MΩ (0.4mg/L alcohol)	Detecting concentration scope: 0.05mg/L—10mg/L Alcohol
α (0.4/1 mg/L)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5%	Vc: 5V±0.1 Vh: 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



TEL: 86-371-67169070 67169080 FAX: 86-371-67169090

E-mail: sales@hwsensor.com

Structure and configuration of MQ-3 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-3 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

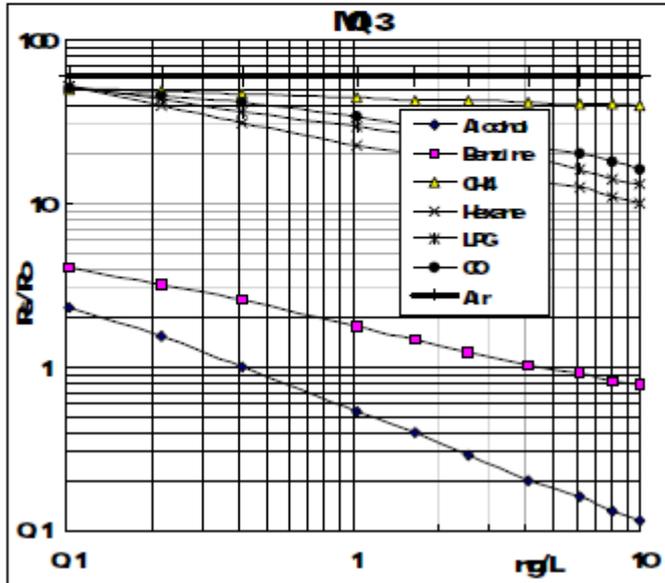


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-3

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-3 for several gases.

in their: Temp: 20 °C,
Humidity: 65%,
 O_2 concentration 21%,
 $R_L=200k\ \Omega$

R_0 : sensor resistance at 0.4mg/L of Alcohol in the clean air.
 R_s : sensor resistance at various concentrations of gases.

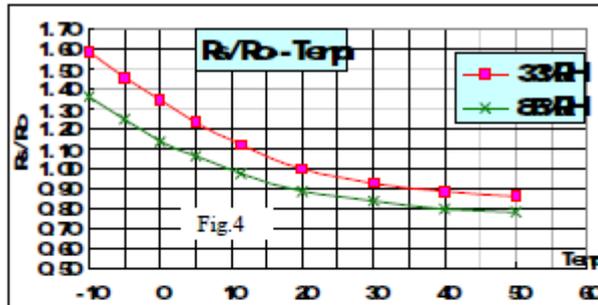


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-3 on temperature and humidity.

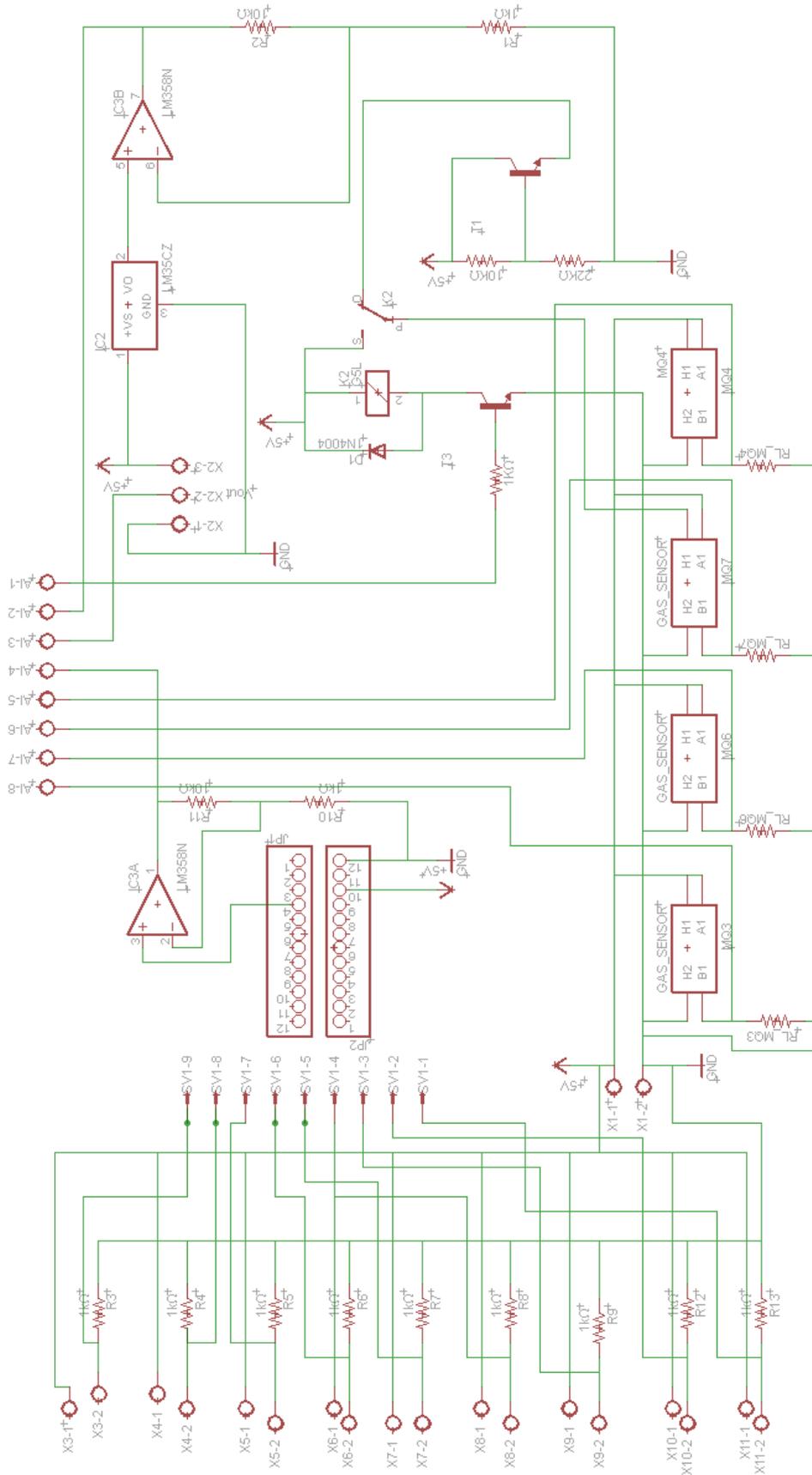
R_0 : sensor resistance at 0.4mg/L of Alcohol in air at 33%RH and 20 °C
 R_s : sensor resistance at 0.4mg/L of Alcohol at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

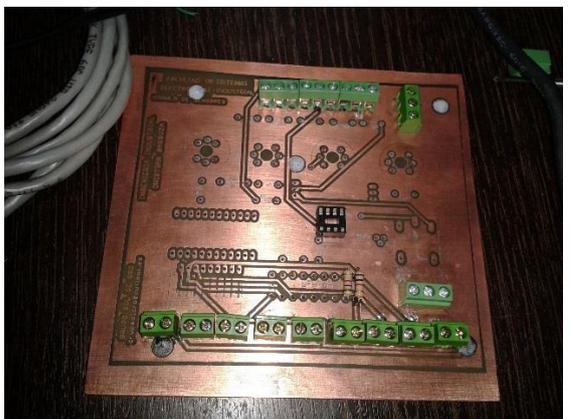
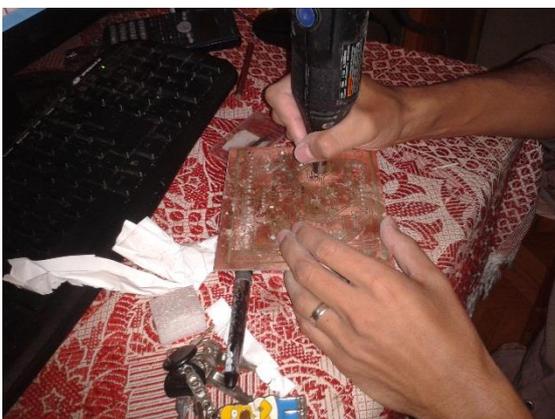
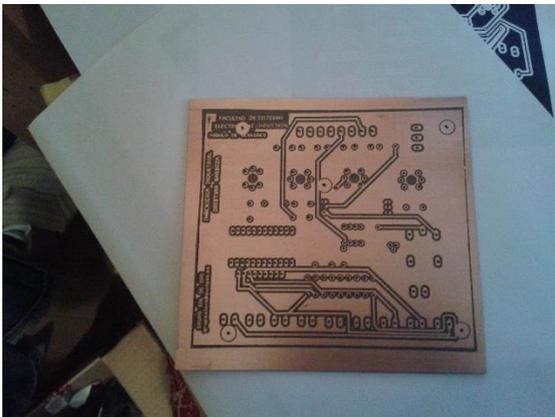
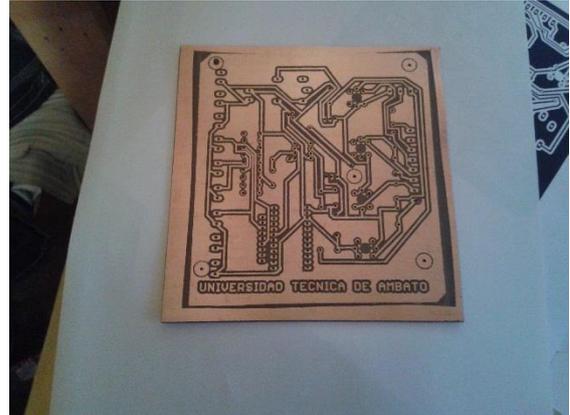
Resistance value of MQ-3 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 0.4mg/L (approximately 200ppm) of Alcohol concentration in air and use value of Load resistance(R_L) about 200 $K\ \Omega$ (100 $K\ \Omega$ to 470 $K\ \Omega$).

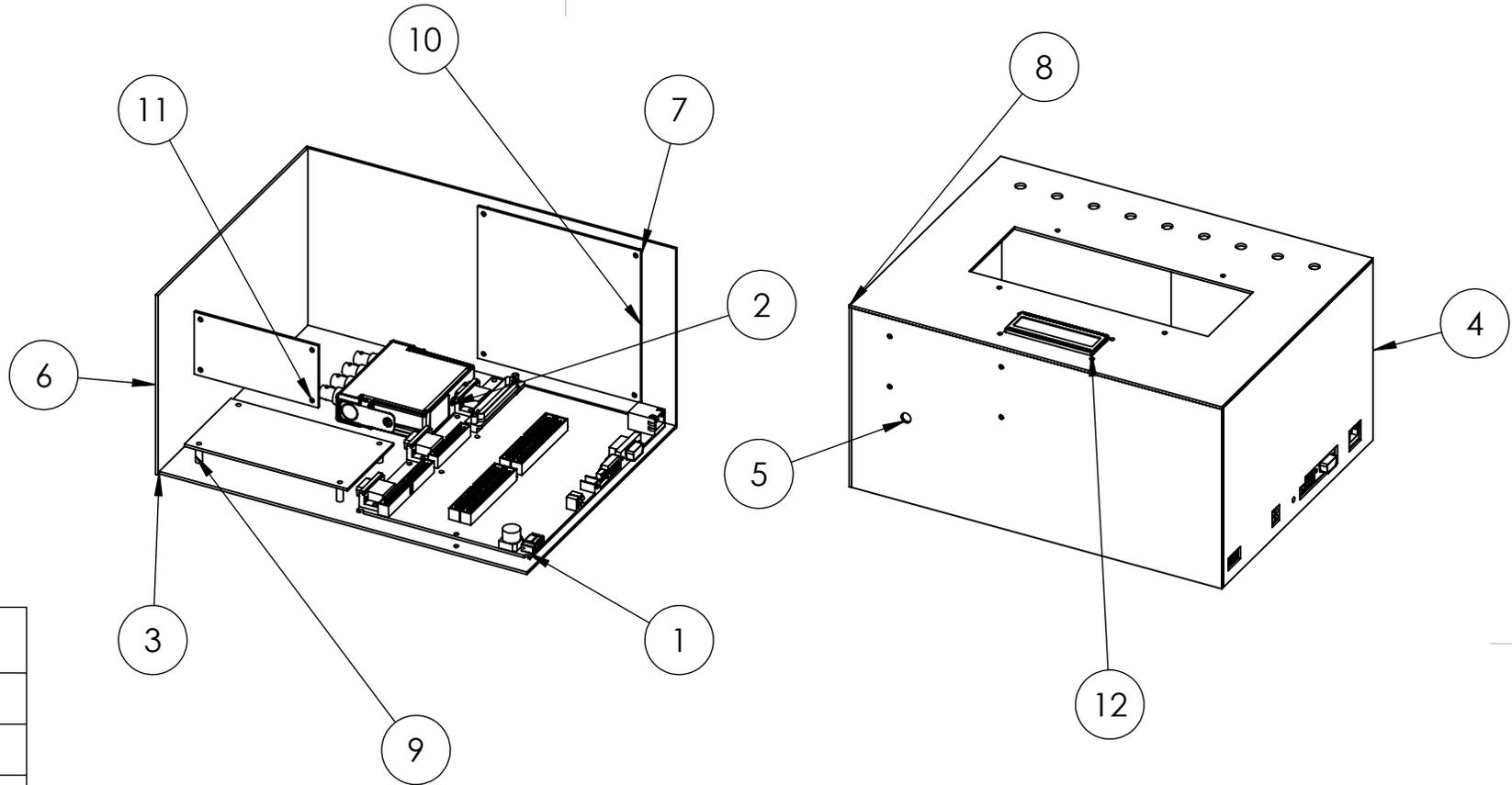
When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Anexo15: Esquemático de Eagle para acondicionamiento de sensores.



Anexo16: Realización de PCBs.

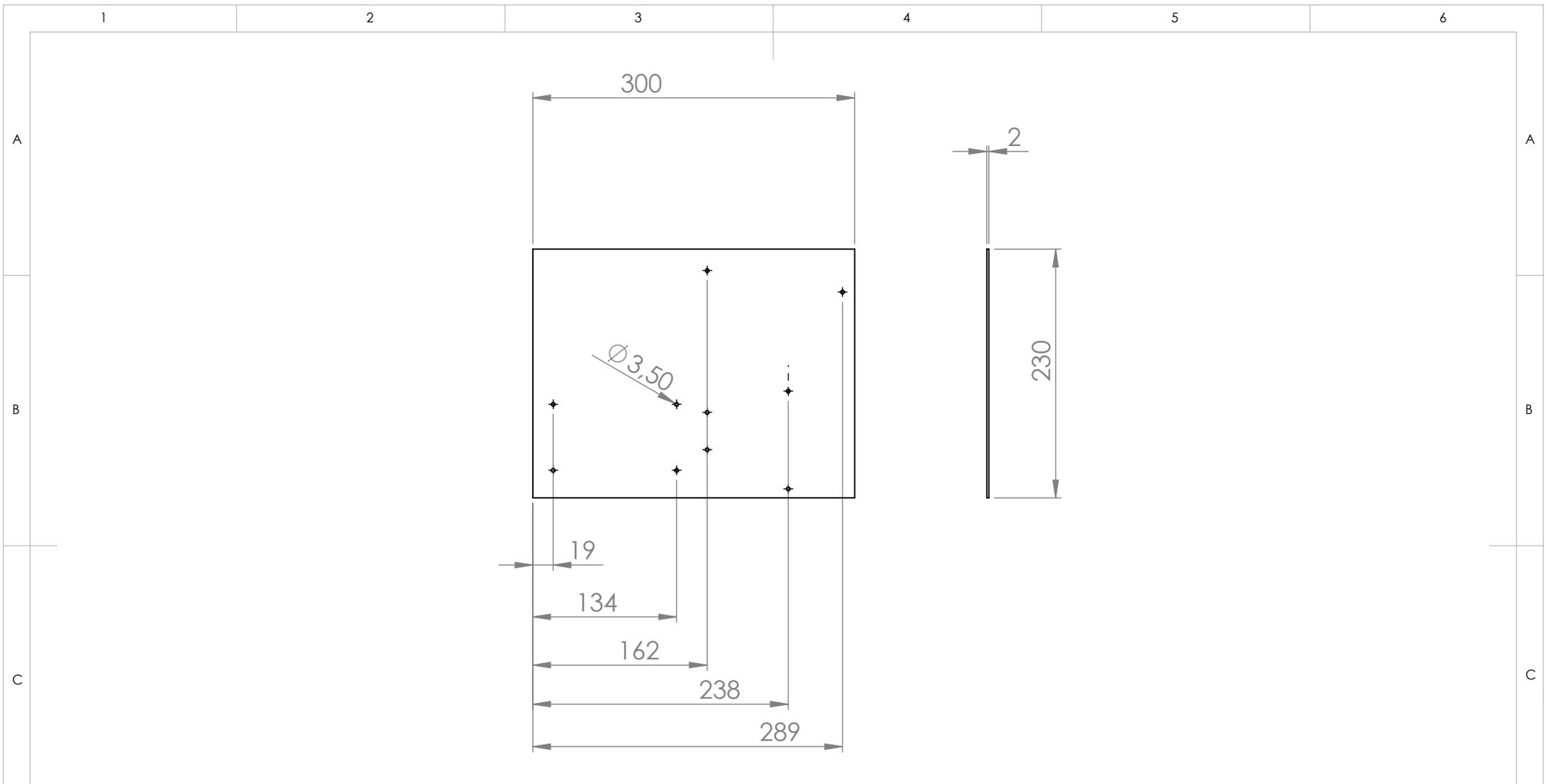




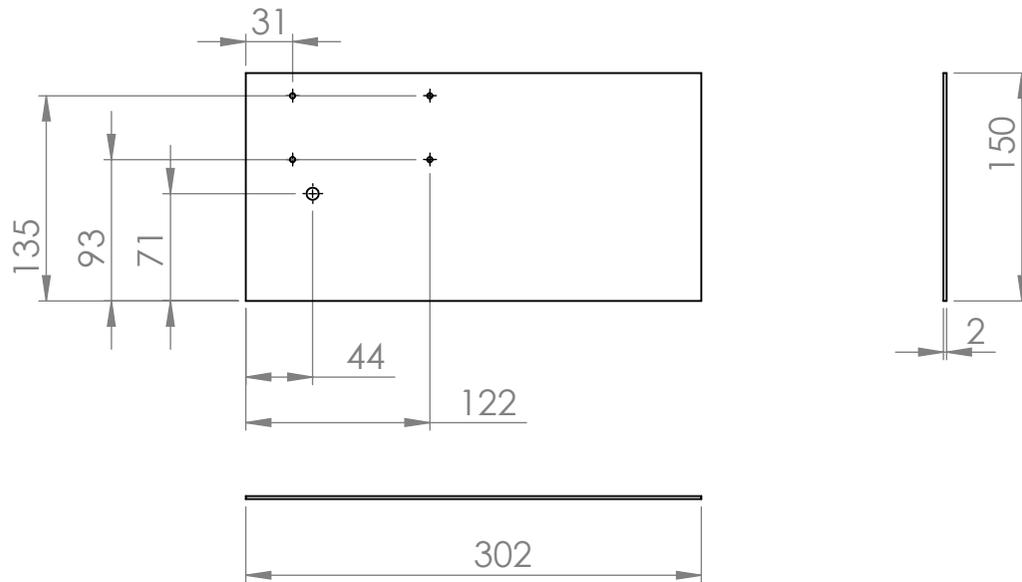
ITEM NO.	PART NUMBER
1	sbrio_9631
2	ni_9234
3	base
4	frontal
5	lateral1
6	frontal2
7	lateral2
8	principal
9	placa_DIO
10	placa_acondicionamiento
11	placa_lcd
12	LCD

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
			NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:		
DIBUJ.			Cristian Sarsoza						<h1>Maqueta</h1>		
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.											
					MATERIAL:		Acrílico		N.º DE DIBUJO		
					PESO:				ESCALA 1:5		
									HOJA 1 DE 7		

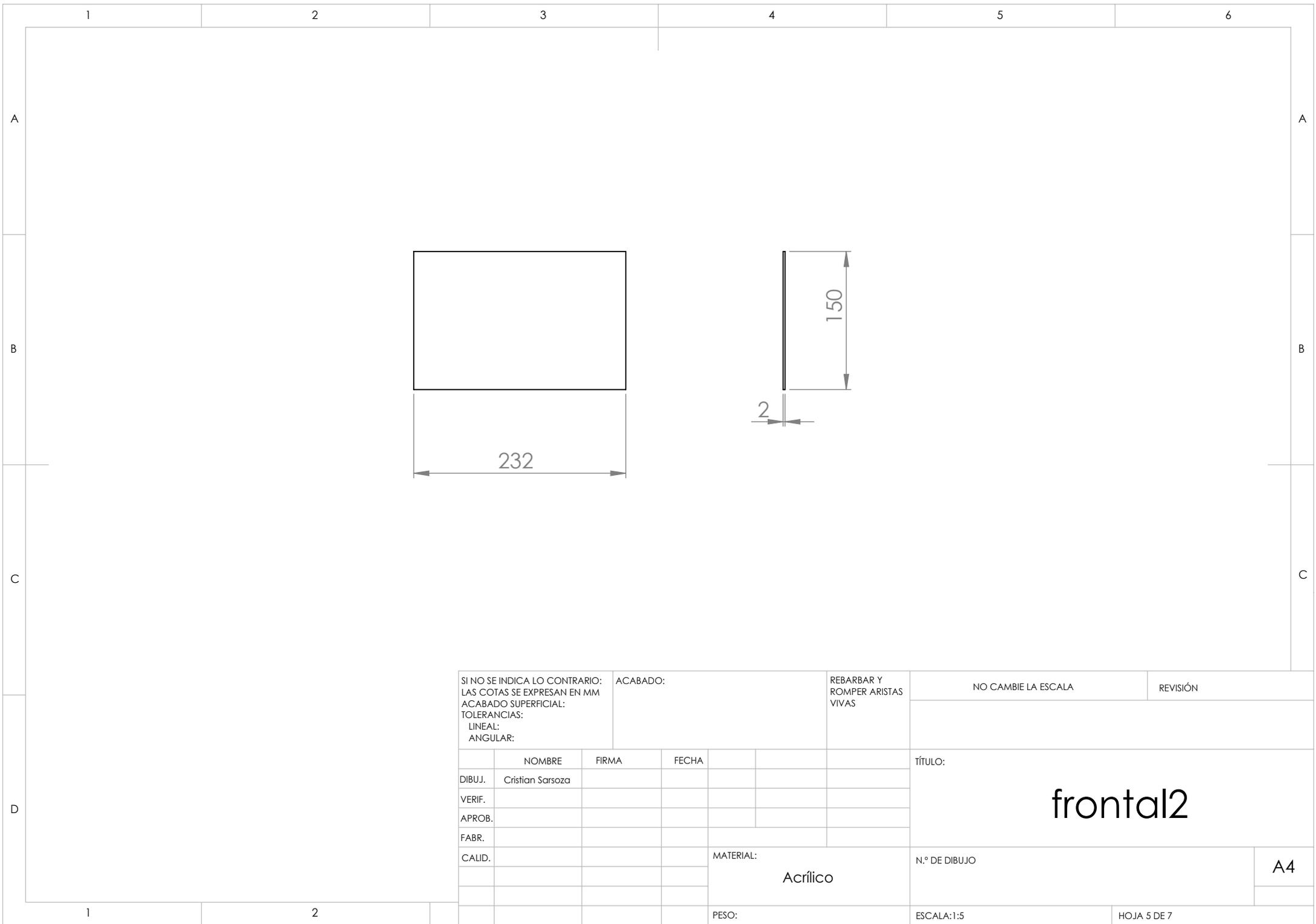
A4



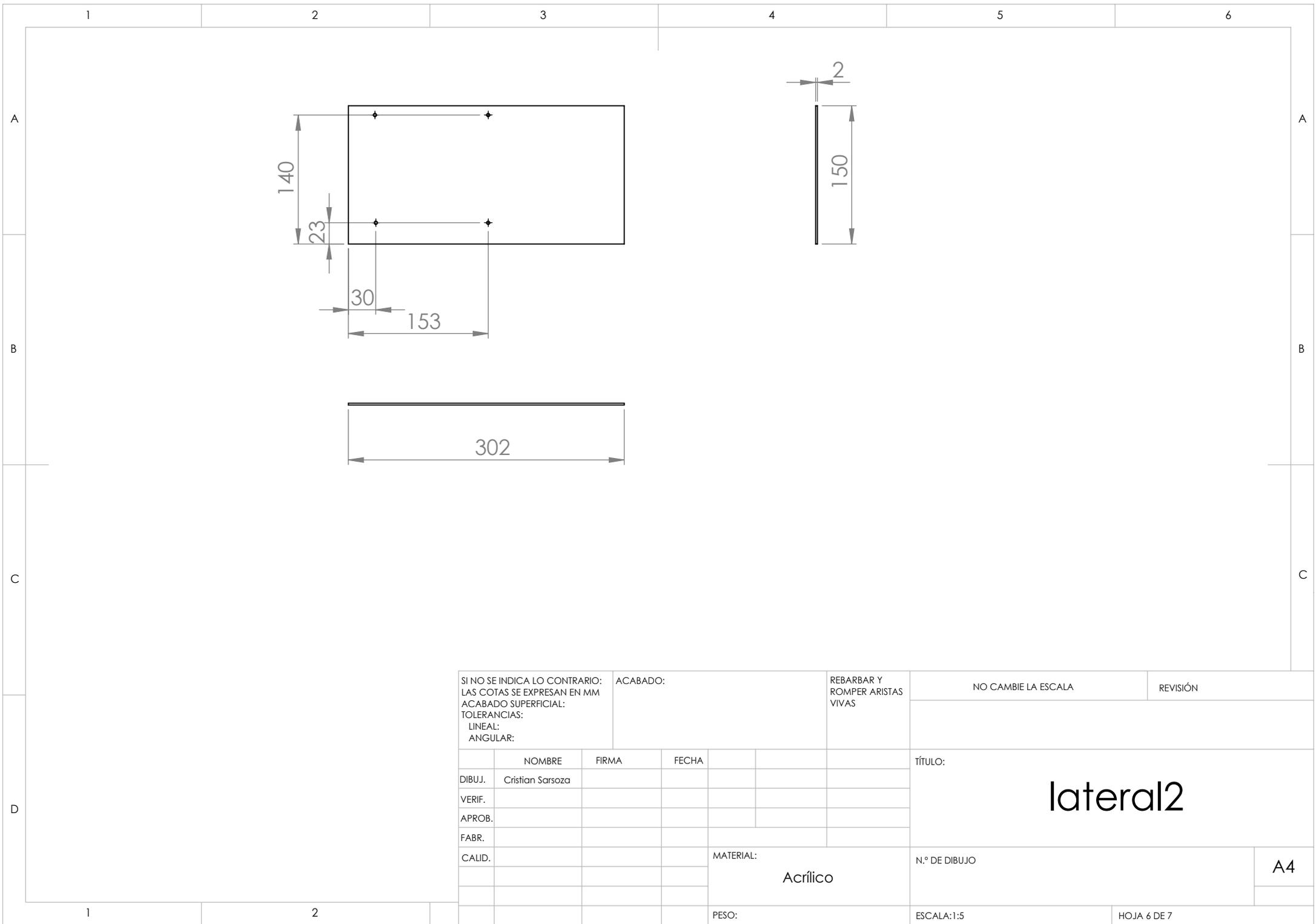
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
						<h1>Base</h1>			
				MATERIAL: Acrílico		N.º DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 2 DE 7	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: <h1>lateral1</h1>					
DIBUJ.	Cristian Sarsoza										
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.					MATERIAL: Acrílico	N.º DE DIBUJO				A4	
					PESO:	ESCALA:1:5				HOJA 4 DE 7	



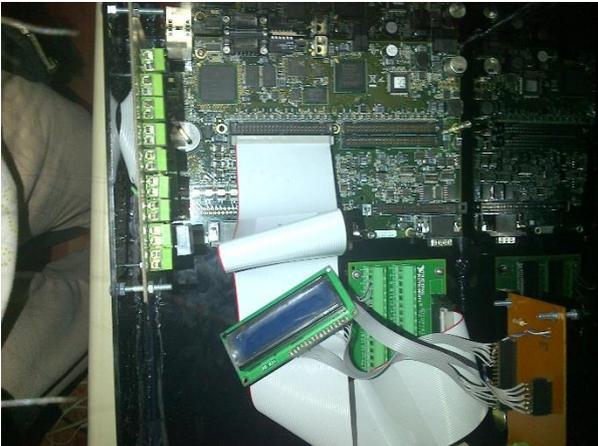
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN					
								<h1>frontal2</h1>							
												TÍTULO:			
DIBUJ.			Cristian Sarsoza									N.º DE DIBUJO		A4	
VERIF.															
APROB.															
FABR.															
CALID.						MATERIAL: Acrílico									
						PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 5 DE 7					



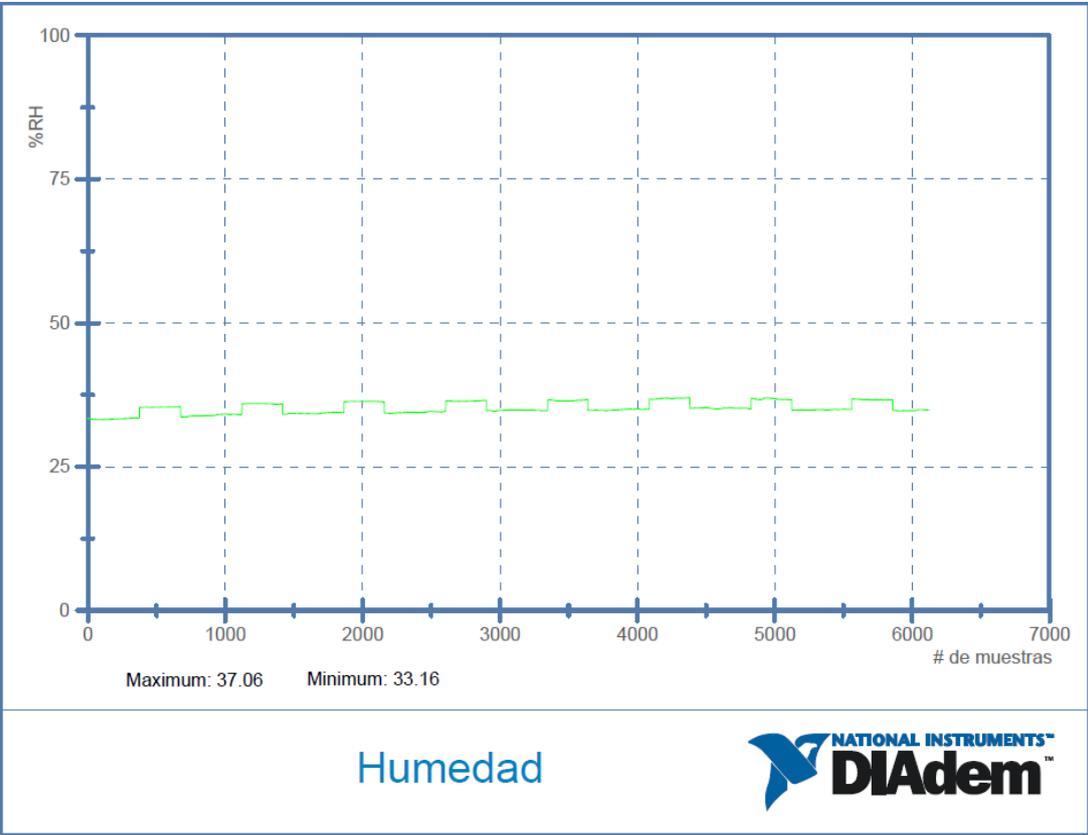
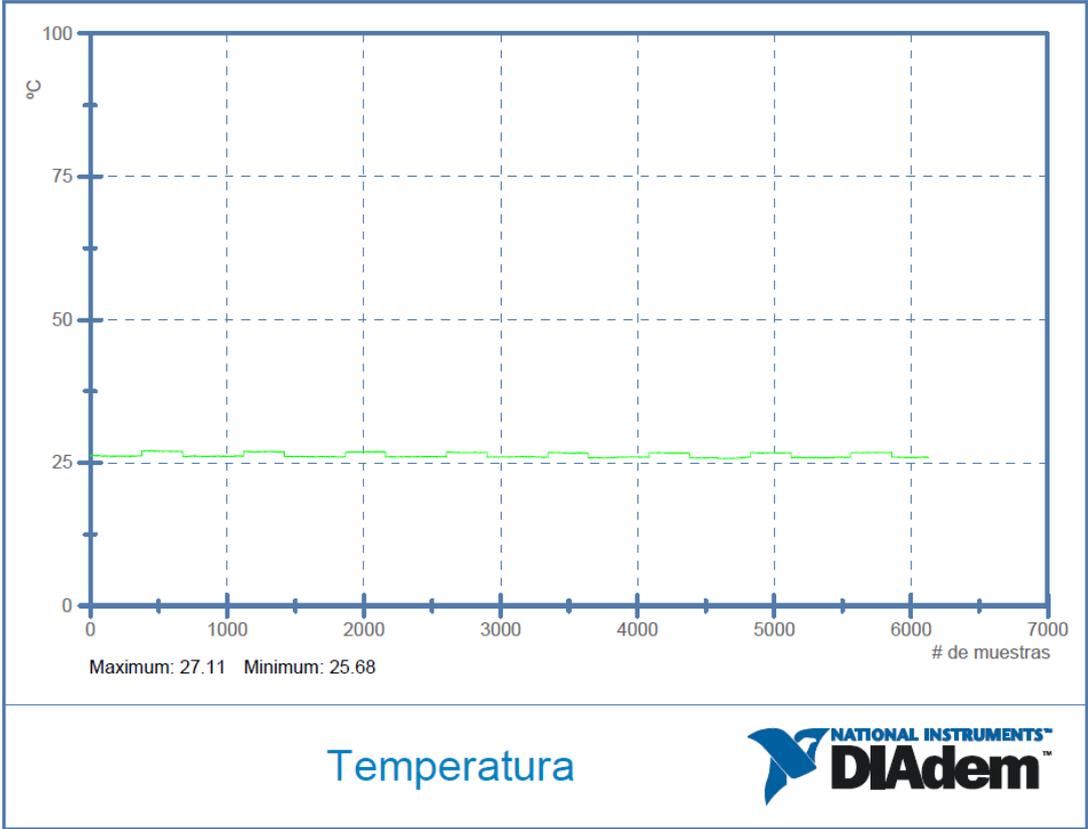
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN					
								TÍTULO: <h1>lateral2</h1>							
DIBUJ.			CRISTIAN SARSOZA												
VERIF.															
APROB.															
FABR.															
CALID.						MATERIAL: Acrílico		N.º DE DIBUJO							
						PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 6 DE 7					

A4

Anexo18: Ensamble del prototipo.

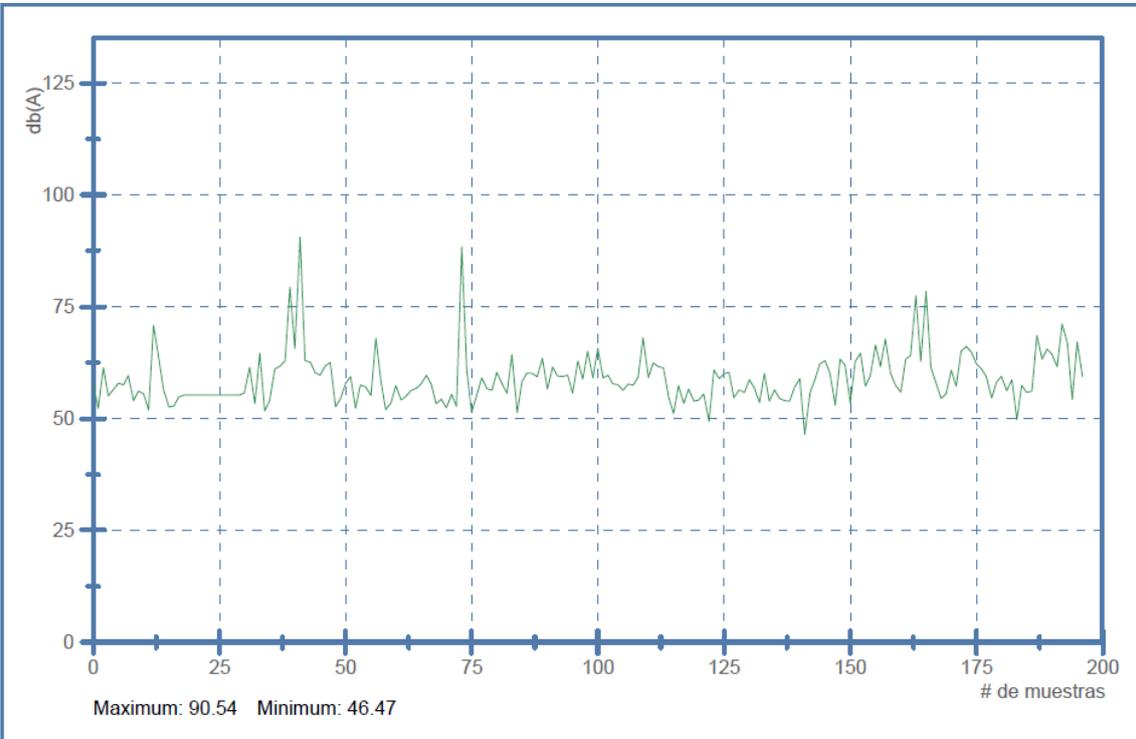


Anexo19: Reporte técnico mediante DIAdem de las variables de ambiente.



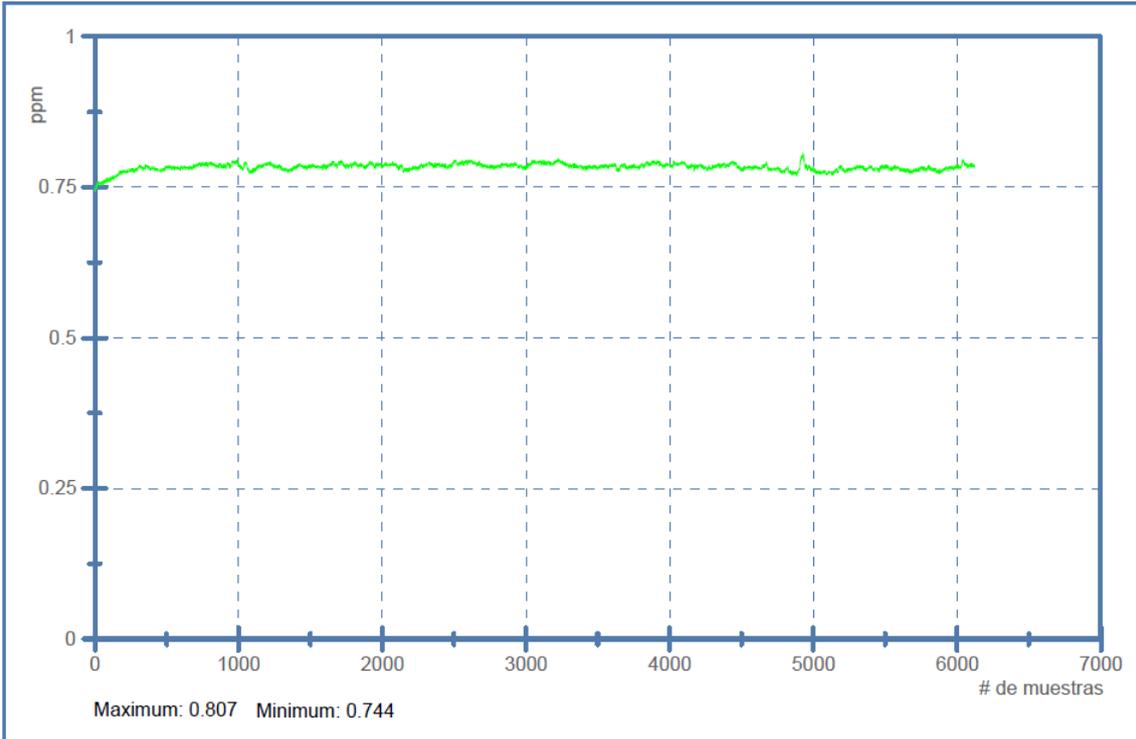


Iluminación

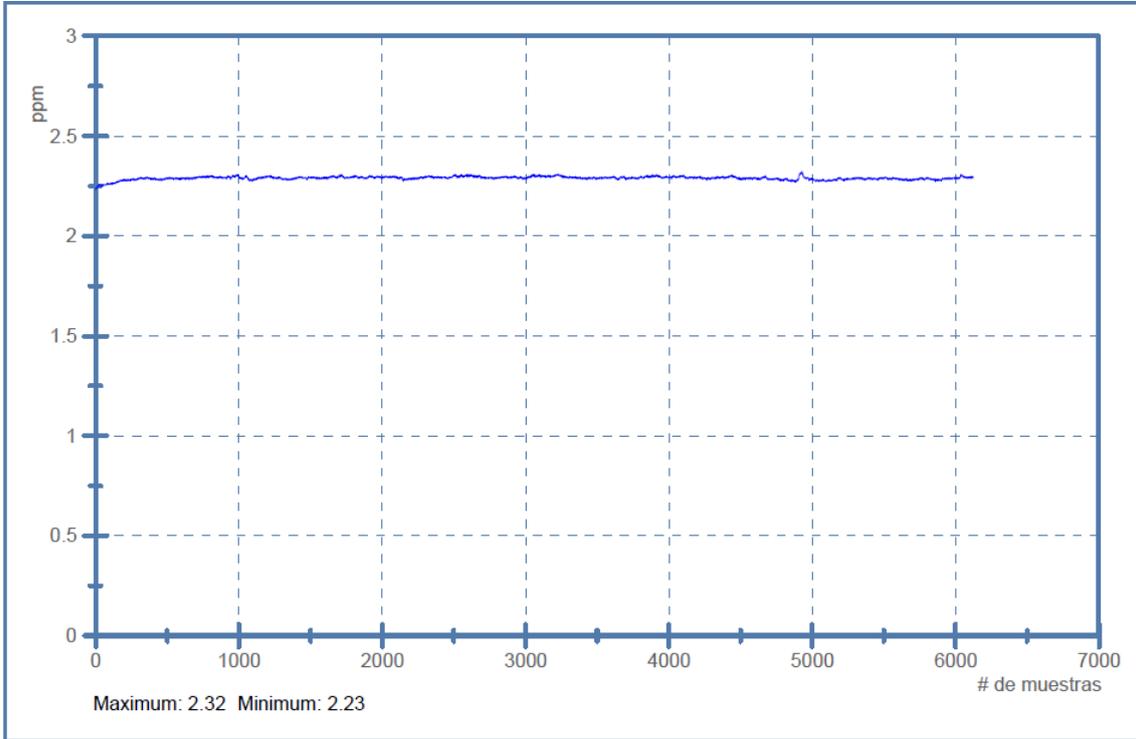


Ruido



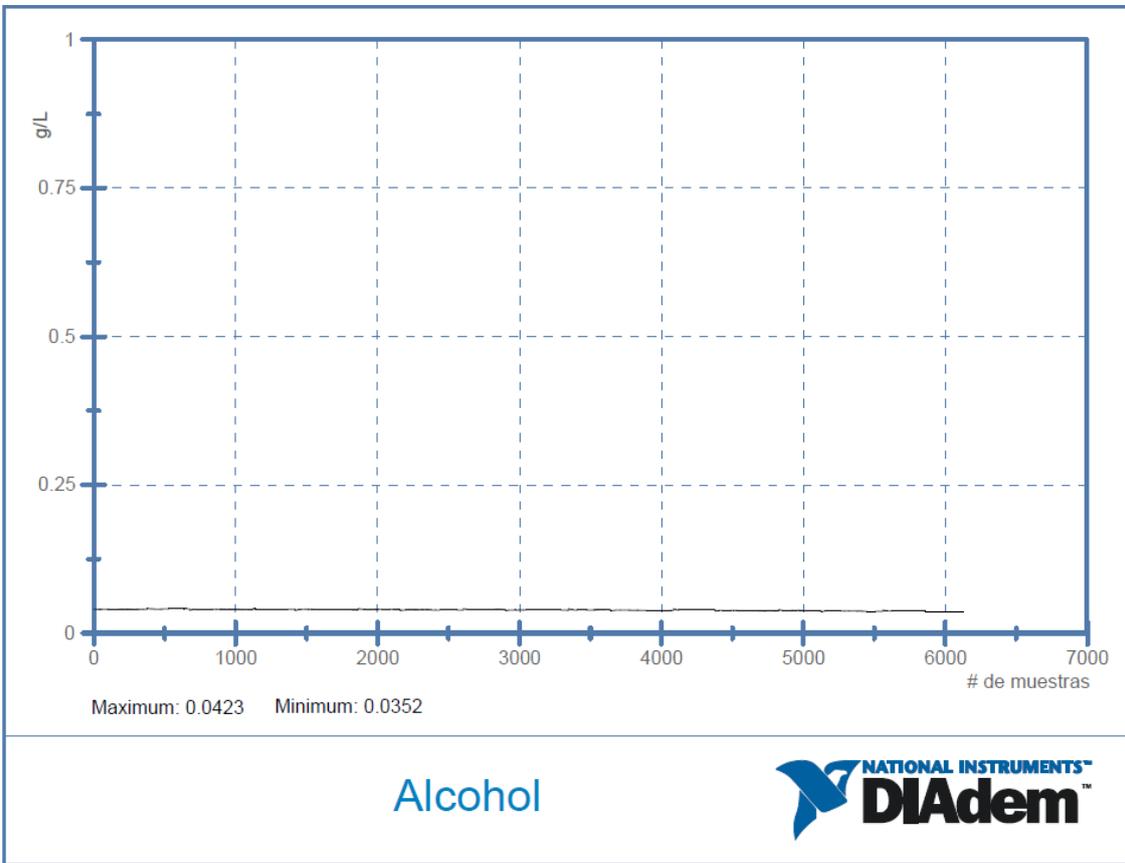
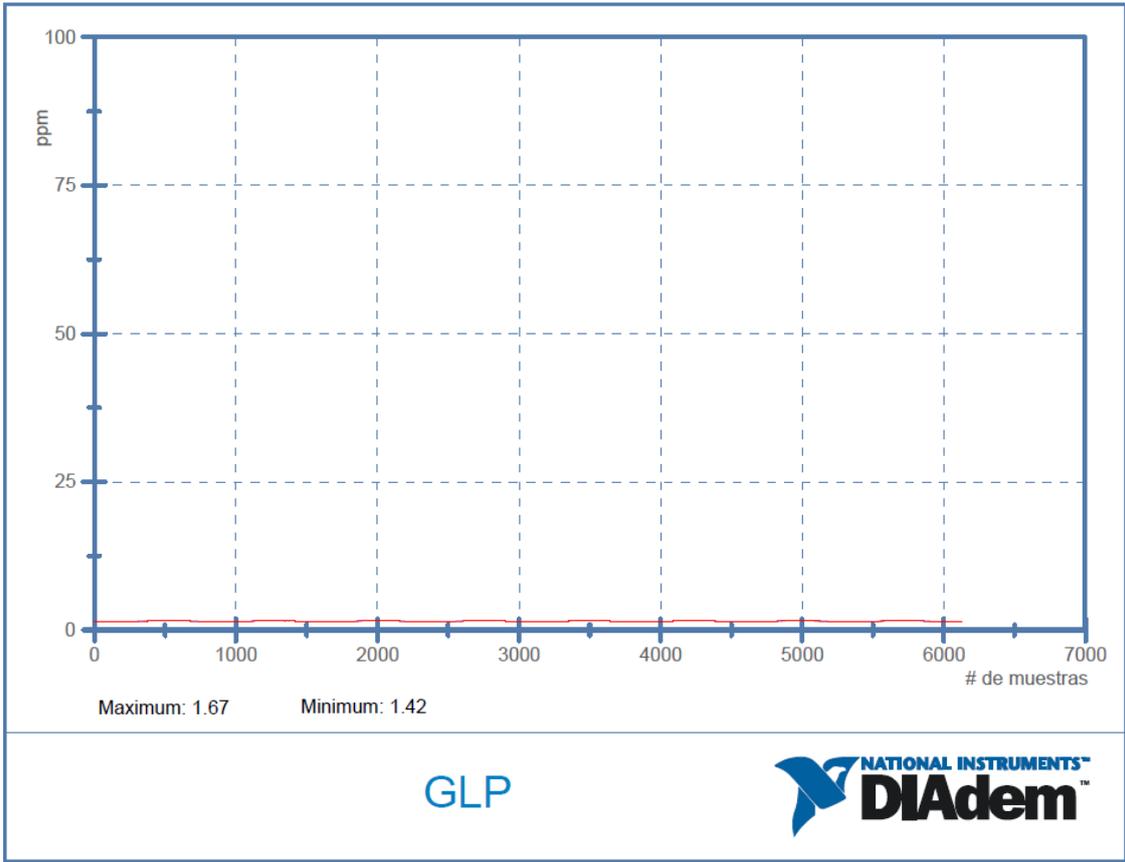


Metano



Monóxido de Carbono





Anexo20: Paper de la investigación

Sistema Embebido Basado en FPGA Para el Monitoreo de Condiciones Ambientales

Patricio G. Encalada; Cristian R. Sarsoza

† Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial

Ambato, Ecuador, e-mail: encaladarp@gmail.com

Resumen: Este documento presenta el diseño de un sistema embebido basado en FPGA (Field Programmable Gate Array) para la adquisición de señales eléctricas correspondientes a variables físicas tales como luz, sonido, temperatura, humedad, monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), gas licuado de petróleo (C₃H₈ + C₄H₁₀) para luego ser visualizadas en diferentes plataformas en donde residen interfaces de usuario del sistema, el cual también maneja una base de datos con el objetivo de realizar reportes técnicos de las condiciones ambientales que influyen en una persona en su ámbito laboral o en cualquier ambiente en donde necesitemos monitorear datos.

Palabras clave: *Sistemas embebidos, FPGA, medio ambiente, sensores, reporte técnico.*

Abstract: *This paper presents the design of an embedded system based on FPGA (Field Programmable Gate Array) for the acquisition of electrical signals corresponding to physical variables such as light, sound, temperature, humidity, carbon monoxide (CO), methane (CH₄), liquefied petroleum gas (C₃H₈ + C₄H₁₀); before being displayed on different platforms where user interfaces reside system, which also manages a database in order to make technical reports on environmental conditions that influence a person in their workplace or in any environment where data need monitoring.*

Keywords: *Embedded Systems, FPGA, environment, sensors, technical report.*

1. INTRODUCCIÓN

En áreas como la robótica aplicada, robótica industrial, domótica, industria automotriz, ingeniería aeronáutica, ambiental, submarina, nuclear, mecatrónica, biomedicina y en cualquier industria manufacturera moderna que requiere computación a alta velocidad se hablan de sistemas embebidos, ya sea para la adquisición de señales, el control o el monitoreo de los procesos.

Los sistemas embebidos vienen a ser estructuras complejas de hardware generalmente compuestos por microprocesadores, microcontroladores, periféricos, memorias, etc., todos estos cumpliendo una función única o dedicada en el sistema automatizado, acelerando así la capacidad de procesamiento del mismo.

Desde el año 1984 en el cual Ross Fremman inventó las FPGA hasta la presente fecha estas han venido ganando

espacio en el ámbito de los sistemas embebidos, estos chips de silicio reprogramables, hardware reconfigurable o bloques lógicos reprogramables por el usuario cuyas características generales y específicas hace que las diferentes tareas a realizar por el sistema no compitan entre sí para la utilización de algún recurso, dando como resultado un mejor rendimiento en comparación a los sistemas basados en procesador, con los cuales estamos acostumbrados a trabajar. [1]

Por otro lado existe un área en donde el monitoreo de ambientes de trabajo nos ayuda a cumplir con los límites de exposición de personal a contaminantes industriales establecidos por la ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists) y poder desarrollar medidas preventivas para mitigar enfermedades laborales y mantener registros, alertas e índices de la concentración ambientales de sustancias peligrosas sean orgánicas o inorgánicas como: monóxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), propano (C₃H₈), butano (C₄ H₁₀), gas de amoníaco (NH₃), estibina (SbH₃), plomo gas (Pb), dioxinas, furanos, óxidos de nitrógeno (NO_x), etc.

En ciertos ambientes de trabajo donde además de sustancias químicas en fase gaseosa existe exposición a factores de riesgos físicos como iluminancia, radiaciones ionizantes, radiaciones no ionizantes, temperatura de trabajo, humedad, nivel de presión sonora equivalente, vibraciones mecánicas, se necesita utilizar sistemas embebidos de monitoreo y reporte integrales para cumplir con la legislación ambiental (TULAS) y normativa especializada en higiene industrial (DE 2393) vigente en el país para poder adoptar medidas preventivas y correctivas a los valores que el sistema de monitoreo determine como críticos. [2,3]

Las señales de los sensores son tomadas para su monitoreo en la FPGA previo a su respectivo acondicionamiento las cuales van a ser procesadas eficientemente por esta ya que sus bloques lógicos reprogramados son únicos para cada sensor, y de este modo llevar la información a almacenarla por un lado para su posterior reporte y a visualizarla por otro en una HMI (LCD o Application Data Dashboard de NI), Esquema el cual vemos en la *Figura 1*.

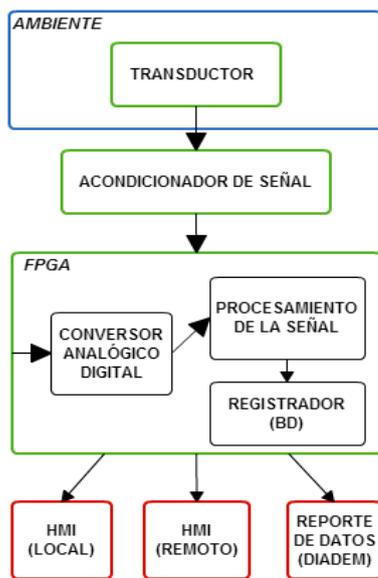


Figura 1. Elementos del sistema de adquisición, monitoreo y reporte de datos

2. METODOLOGÍA

2.1 Adquisición de las señales

Las variables para poder ser monitoreadas y almacenadas son transformadas de modo físico a eléctrico (voltaje, corriente o resistencia), en la *Tabla 1* observamos los diferentes tipos de dispositivos utilizados para lograr esta transformación.

Cada sensor mostrado en la *Tabla 1* pasa por un proceso de acondicionamiento, es decir llevar los límites inferior y superior del alcance del sensor a un rango estandarizado de voltaje de (0 a 5Vdc), requeridos por las entradas analógicas

de la tarjeta FPGA NI sbRIO-9631, la cual se encarga del procesamiento de las señales. [4, 5, 6]

Variable	Descripción del Sensor	Salida del sensor
Intensidad de Luz	Sensor Fotoeléctrico	V/lux
Sonido	Micrófono (Gras 40PH)	mV/Pa
Temperatura	LM35	mV/Pa
Humedad	HU-10S	V/%RH
CO_2	MQ7	R/ppm
CH_4	MQ4	R/ppm
$CH_3 + C_4H_{10}$	MQ6	R/ppm

Tabla 1. Sensores

2.2 Conversión analógica/digital

Las señales acondicionadas se conectan a las entradas analógicas que la tarjeta NI sbRIO-9631, [6] la cual realiza la transformación de la variable de analógica a digital, cuyo procedimiento obedece a la *ecuación (1)* y a las propiedades específicas de la tarjeta de adquisición.

$$r = \frac{Lsr}{rt} \quad (1)$$

$$R = \frac{5Vdc}{2^{16bits}} = 0.0762[mV/bit] \quad (2)$$

En donde:

r= Coeficiente de conversión analógico digital

Lsr=Límite superior de voltaje que la tarjeta soporta

R =resolución de la tarjeta

La tarjeta NI sbRIO-9631 tiene múltiples canales de entradas analógicas, cada uno de ellos con un ADC (Conversor Analógico-Digital).

Cada ADC tiene una resolución de 16 bits, que quiere decir que transformará la señal de (0-5 Vdc) a un número entero entre (0-65536), por lo que cada unidad de conversión representa una variación de 0.0762 [Vdc/bit], como se puede observar el resultado en la *ecuación (2)*.

El canal para la adquisición de datos de sonido entra por la entrada analógica de una tarjeta especial (NI 9234) compatible también con CompactRIO la cual tiene 14 bits de resolución.

2.3 Programación

La tarjeta NI sbRIO-9631, [7] se configura en el Measurement & Automation Explorer que se conecta a la PC bajo el protocolo TCP/IP.

Una vez realizadas las configuraciones se procede a realizar la programación, bajo el lenguaje gráfico que nos facilita LABView, En la *Figura 2* podemos observar un fragmento de esta programación. [8,9]

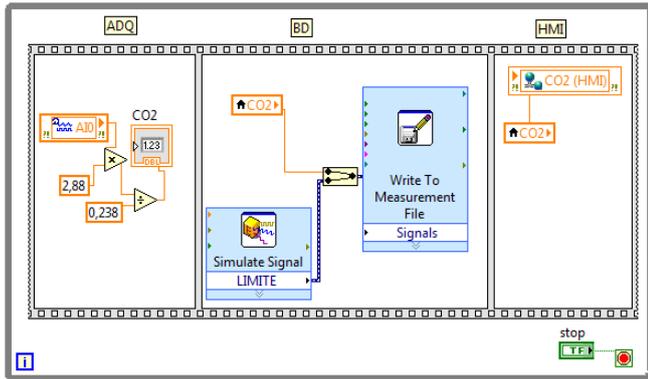


Figura 2. Fragmento de programación en Lenguaje Gráfico

Para la transformación de bits a números reales los cuales los podemos denominar con sus respectivas unidades ocupamos los datos mostrados en la *Tabla 2*, los cuales describen el comportamiento de la señal obtenida desde los sensores basándonos en su función de transferencia, para luego estas variables ya con sus respectivas unidades ser trasladadas a las bases de datos y a sistemas de visualización.

Variable	Ecuación
Intensidad de Luz	$I(\text{lux}) = 90.9091 * v_{out}$
Sonido	Toolkit NI Sound and Vibration
Temperatura	$T(C) = 9.09 * v_{out}$
Humedad	$H(\%Rh) = 11.6 * v_{out}^2 + 3.02 * v_{out} - 3.06$
CO_2	$ppm = e^{\frac{\left[\ln \frac{5-v_{out_s}}{v_{out}} \cdot \frac{10}{R_o * 25.12} \right]}{-0.747}}$
CH_4	$ppm = e^{\frac{\left[\ln \frac{5-v_{out_s}}{v_{out}} \cdot \frac{20}{R_o * 12.69} \right]}{-0.364}}$
$CH_3 + C_4H_{10}$	$ppm = e^{\frac{\left[\ln \frac{5-v_{out_s}}{v_{out}} \cdot \frac{20}{R_o * 19.07} \right]}{-0.424}}$

Tabla 2. Funciones de transferencia de los sensores para cada variable

2.4 HMI Local

La Interfaz de usuario local realizada para el sistema se basa en una pantalla LCD 16x2 y botoneras de desplazamiento en un menú con el cual podemos iniciar las mediciones de la variable seleccionada, la adquisición de la señal de sonido en este HMI podemos verla en la *Figura 3*. [10]



Figura 3. HMI local

2.5 HMI Remota

Bajo el estándar de comunicación inalámbrica Wi-Fi (802.11) se comparten las variables para la visualización desde la tarjeta NI sbRIO-9631 hacia una tableta electrónica con plataforma iOS en donde reside el programa Data Dashboard de National Instruments en el cual podemos observar gráficas de amplitud de la variable versus el tiempo, así lo apreciamos en la *Figura 4*. [11]

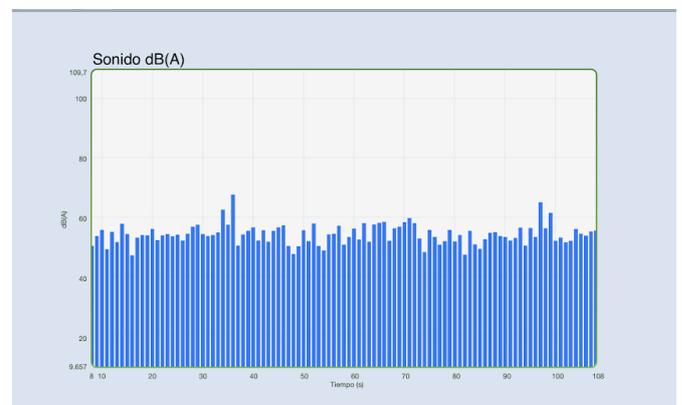


Figura 4. HMI Remoto (dB(A) vs. tiempo)

2.6 Calibración del sistema de medición

Los datos obtenidos por los sensores y procesados por la FPGA son validados en un proceso de comparación de la medición realizada con un instrumento patrón, para su posterior corrección, en la *Tabla 3* se muestran los instrumentos utilizados en este procedimiento. [12]

Variable	Dispositivo Patrón
Intensidad de Luz	LX1010B
Sonido	EXTECH 407732
Temperatura	FLUKE 971
Humedad	FLUKE 971
CO	MX6-IBRID
CH ₄	MX6-IBRID
CH ₃ + C ₄ H ₁₀	MX6-IBRID

Tabla 3. Instrumentos patrones

2.6 Reporte Técnico

En la tarjeta sbRIO se graba una base de datos que va almacenado el monitoreo del ambiente en la Figura 5 podemos observar un reporte técnico realizado en DIAdem el cual lee y procesa la base de datos grabada en la tarjeta sbRIO. [13]

Para un reporte técnico de 1 minutos se ocupó un espacio aproximado de 0.001953125 Mb, en la ecuación (3) podemos visualizar el tiempo estimado máximo de monitoreo que puede grabar la tarjeta NI sbRIO con la cual trabajamos, la cual tiene 128Mb de almacenamiento no volátil.

$$T = \frac{1[\text{min}] * 256[\text{Mb}]}{0.001953125[\text{Mb}]} = 131.072[\text{min}] \quad (3)$$

Tiempo suficiente para realizar una medición multi-vaible de más de 8 horas.

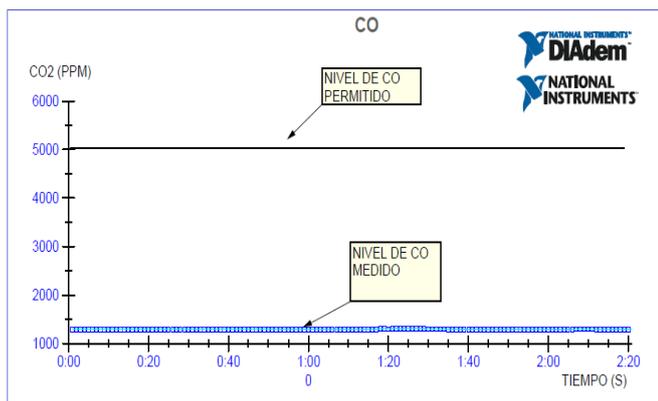


Figura 5. Reporte de medición de CO.

3. RESULTADOS

Podemos observar en la Figura 6, un HMI remoto para algunas mediciones simultaneas y en la Figura 7 un reporte técnico de la variable que representa al sonido en un ambiente en donde se realizó la medición.

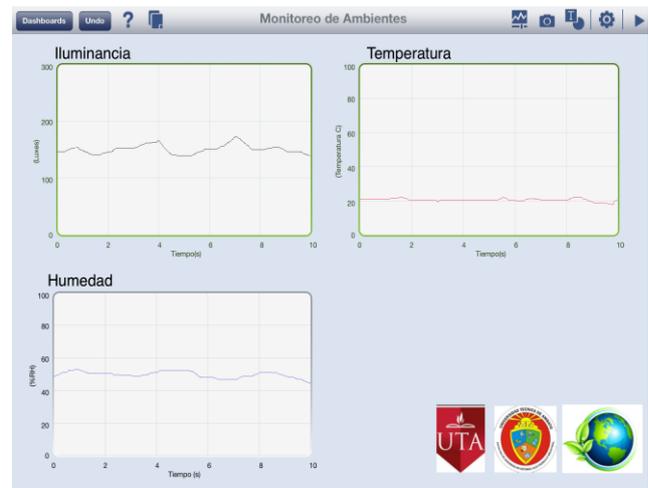


Figura 6. HMI remota para la visualización de múltiples variables

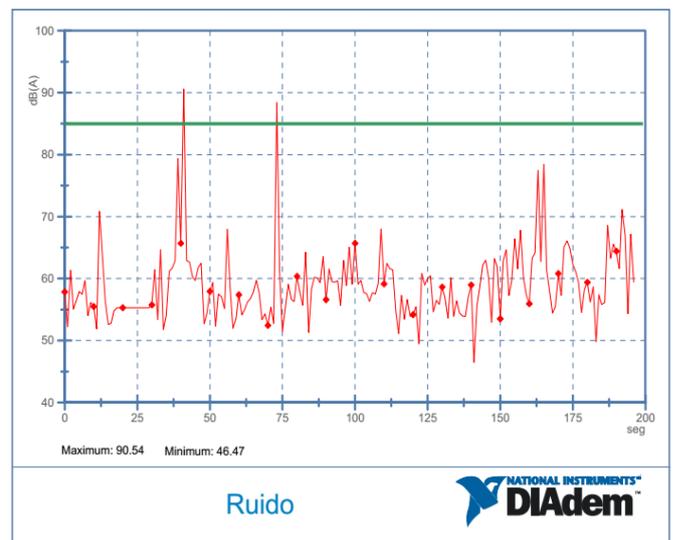


Figura 7. Reporte técnico de la señal de ruido (200 seg.)

La tarjeta NI sbRIO-9631 con un procesador de 266 MHz, tal como se muestra en la ecuación (4) realiza un ciclo en 3.76 nS, dicho ciclo corresponde a que en ese tiempo la tarjeta verifica el estado de las entradas, el procesamiento de la señal, actualiza las salidas y almacena los datos.

$$T_c = \frac{1}{266[\text{MHz}]} = 3.76[\text{nS}] \quad (4)$$

En donde

T_c= Tiempo de ciclo.

4. CONCLUSIONES

- 1 La FPGA de una manera tradicional se viene programando en lenguaje VHDL (VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Hardware Description Language), el cual fue reemplazado por el Lenguaje G (Lenguaje Gráfico) utilizado en LabVIEW acelerando así la puesta en marcha del sistema.
 - 2 Con DIAdem se logra procesar y reportar fácil y rápidamente grandes volúmenes de datos tomados de las mediciones realizadas, además nos ayuda a realizar de forma ligera cálculos involucrados a las mediciones técnicas tales como FFT, aplicar filtros digitales, cálculos estadísticos, etc.
 - 3 Se realiza el reporte técnico de manera que la persona especializada en analizar los datos pueda tener acceso a la información de manera comprensible.
 - 4 Si los límites de exposición cambian de acuerdo al área en donde se hace la medición, pueden ser cambiados por el usuario.
 - 5 Los reportes se utilizan para realzar análisis del comportamiento de las variables en el ambiente, este reporte se puede hacer en análisis en tiempos hasta aproximadamente 131.072 minutos o análisis en milésimas de segundo, puesto a que nuestro sistema tiene un bus de procesamiento de 40 MHz.
 - 6 El paralelismo de la tarjeta FPGA nos permite tomar muestras de las señales en ciclos comprendidos entre los 25 nS.
 - 7 El dispositivo consta de 32 entradas analógicas de las cuales solo están ocupadas 7, para que el dispositivo pueda hacer una medición integra de las diferentes variables se presentan en el medio se deberán añadir sensores de acuerdo a la necesidad.
- [6] W. Bolton, "Acondicionamiento de señales" en *Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctricas*. Alfaomega, 2013, pp. 54-90.
 - [7] National Instruments, NI sbRIO-9631, [online]. EEUU, 2014 Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/205894>
 - [8] National Instruments, FPGA a Fondo, [online]. EEUU, 2014 Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/6983/es/>
 - [9] National Instruments, Guía de Desarrolladores para NI CompactRIO, [online]. EEUU, 2014 Disponible en: <http://www.ni.com/compactrio/devguide/esa/>
 - [10] W. Bolton, "Sistemas de presentación de datos" en *Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctricas*. Alfaomega, 2013, pp. 92-119.
 - [11] National Instruments, Data Dashboard, [online]. EEUU, 2014 Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/13757/es/>
 - [12] A. Creus, "Calibración de los Instrumentos" en *Instrumentación Industrial*. Alfaomega, 2013, pp. 601-621.
 - [13] National Instruments, DIAdem, [online]. EEUU, 2014 Disponible en: <http://www.ni.com/diadem/start-support/esa/>

REFERENCIAS

- [1] A. Pérez, "Desarrollo de Sistemas Embebidos en FPGA", presentado en el Congreso de Microelectrónica Aplicada, 2010. Disponible en: http://www.lacie-unlam.org/uea2010/trabajos/uea2010_submission_36.pdf
- [2] American Conference of Industrial Hygienists, 2014. Disponible en: <http://www.acgih.org/>.
- [3] *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Medio Ambiente*. 2014.
- [4] W. Bolton, "Sensores y Transductores" en *Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctricas*. Alfaomega, 2013, pp. 17-50.
- [5] A. Serna, "Sensores de Temperatura Integrados" en *Guía Práctica de Sensores*. Alfaomega, 2013, pp. 601-621.

FPGA + LABVIEW + EJERCICIOS DE APLICACIÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO- FISEI

August 1, 2014

Autores: Patricio Encalada – Cristian Sarsoza

Tabla de contenido

1	FPGA	155
1.1	INTRODUCCION, HISTORIA Y GENERALIDADES.....	155
1.2	PARTES DE UNA FPGA	155
1.3	PROPIEDADES.....	156
1.4	LABVIEW Y LA TECNOLOGÍA FPGA	156
1.5	ADQUICISIÓN DE SEÑALES	158
1.6	ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES	158
1.7	PUERTO BIDIRECCIONAL DIGITAL DE LA FPGA.....	159
1.8	ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS DE LA FPGA	164
1.9	PRICIPALES PUERTOS DE COMUNICACIÓN DE UNA TARJETA FPGA	168
1.9.1	RS232.....	168
1.9.2	CANBUS	169
1.10	REPORTES TÉCNICOS CON DIADEM	172
1.11	GENERACIÓN DE HMIs REMOTOS.....	173
2	LISTADO DE PRÁCTICAS.....	174
2.1	EJERCICIO #1 (MANEJO DE LA FPGA A TRAVÉS DE LABVIEW).....	174
2.2	EJERCICIO #2 (ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE UN SENSOR DIGITAL).....	185
2.3	EJERCICIO #3 (MANIPULACIÓN DE UN DISPLAY).....	192
2.4	EJERCICIO #4 (ADQUICISIÓN DE UNA SEÑAL ANALÓGICA Y HMI REMOTO UTILIZANDO DATA DASHBOARD).....	198
3	REFERENCIAS.....	221

1 FPGA

1.1 INTRODUCCION, HISTORIA Y GENERALIDADES

Los arreglos de compuertas programables en campo o más conocidos como FPGA son circuitos integrados compuestos principalmente de Silicio (Si), tecnología la cual hay que dar gracias a Ross Freeman cofundador de Xilinx.

La razón por la cual una FPGA tiene un alto rendimiento es que se asigna a cada tarea de procesamiento independiente se asignada una sección del chip (Hardware) y puede ejecutarse de manera autónoma sin ser afectada por otras tareas o bloques lógicos.

A diferencia de cualquier otro dispositivo en la FPGA la lógica de aplicación se implementa en circuitos de Hardware, más no es un Sistema Operativo.

Si investigamos un poco más a fondo sobre las FPGAs nos daremos cuenta que estos dispositivos se encuentran en la cumbre del Hardware reconfigurable como son las ALUs

1.2 PARTES DE UNA FPGA

En la Figura 1.1 se observa una simple división de las partes más importantes en una FPGA, variando sus propiedades de acuerdo al modelo y características específicas de cada tarjeta.

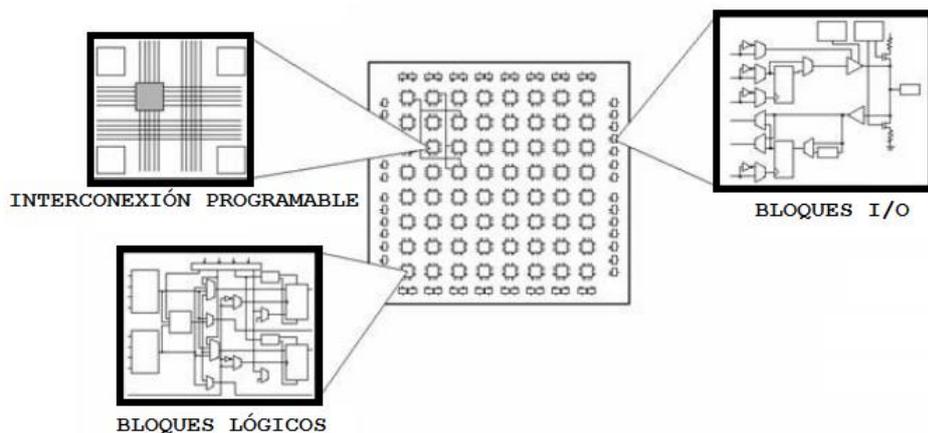


Figura 1.1.- Partes de la FPGA

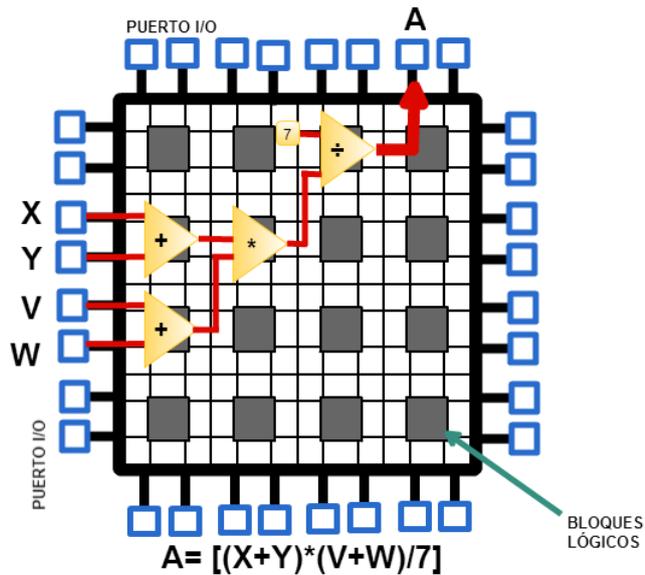


Figura 1.2.- Representación gráfica de un algoritmo procesado por la FPGA.

1.3 PROPIEDADES

Las FPGA tienen las mismas propiedades que cualquier tarjeta de adquisición, pero poseen una en especial, la cual les da características de versatilidad y rapidez para poder satisfacer las necesidades de entornos industriales, demóticos, robóticos, etc. Aplicación la cual requiera de computación de alto rendimiento, esta característica es el paralelismo, en la Figura 1.2 se observa un vistazo general de un algoritmo procesado por la FPGA, si existiera otros algoritmos programados en la tarjeta esta los procesa a todos al mismo tiempo, dando recursos individuales a cada tarea realizada, estos recursos vienen a ser ALU, Flip Flops, Memorias, etc.

1.4 LABVIEW Y LA TECNOLOGÍA FPGA

National Instruments ha creado varias herramientas para que el Lenguaje Gráfico sustituya al Lenguaje de

programación clásico VHDL, aumentando así la rapidez de la puesta en marcha e sistemas de automatización.

```

1  LIBRARY ieee;
2  USE ieee.std_logic_1164.ALL;
3  ENTITY TestBench IS
4  END TestBench;
5  ARCHITECTURE TestBenchArch OF TestBench IS
6      COMPONENT UnitUnderTest IS
7          PORT (a, b: IN std_logic;
8              c: OUT std_logic);
9      END COMPONENT;
10     SIGNAL x, y, z: std_logic;
11 BEGIN
12     CompToTest: UnitUnderTest PORT MAP (x, y, z);
13     PROCESS
14     BEGIN
15         x <= '0'; y <= '1';
16         WAIT FOR 5 ns;
17         x <= '1';
18         WAIT FOR 25 ns;
19         x <= '0'; y <= '0';
20         WAIT FOR 10 ns;
21         x <= '1';
22         WAIT FOR 20 ns;
23         x <= '0'; y <= '1';
24         WAIT FOR 5 ns;
25     END PROCESS;
26 END TestBenchArch;

```

Figura 1.3.- Fragmento de Lenguaje de Programación VHDL.

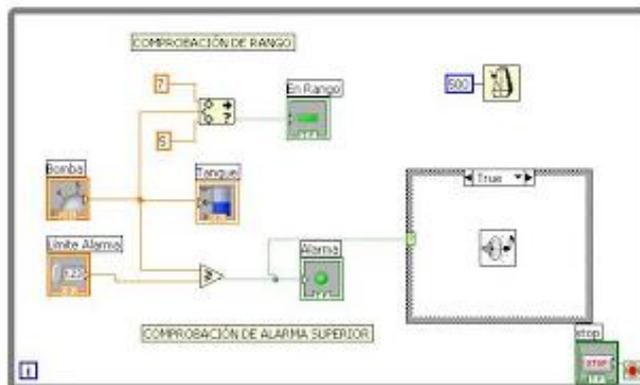


Figura 1.4.- Fragmento de Lenguaje de Programación Gráfica.

Una de las ventajas de sustituir el Lenguaje VHDL por gráfico viene a ser la mejor interfaz de usuario así como la reducción de probabilidades de fallo en las líneas de programación.

LabVIEW nos ofrece un Toolkit para programar FPGA, en la Figura 1.5 está el ícono del Toolkit debe estar instalado juntamente con LabVIEW, juntamente con programas de

cabecera como el NI MAX y DIAdem para la generación de reportes del sistema

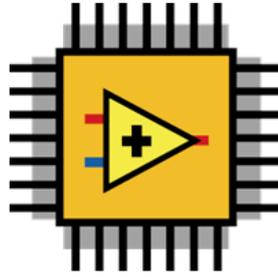


Figura 1.5.- Toolkit FPGA para LabVIEW.

1.5 ADQUICISIÓN DE SEÑALES

Para la adquisición de las señales se debe tener muy en cuenta los rangos de aceptación de la tarjeta en niveles de voltaje tanto para entradas analógicas como para digitales, así como también un valor muy importante viene a ser la resolución de los conversores Analógico Digital o Digital Analógico.

1.6 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Si los sensores o transductores ocupados para transformar la señal de modo físico a señal eléctrica (voltaje, corriente, resistencia) salen del rango o no entran en el rango de aceptación de entradas digitales o analógicas de la tarjeta se emplear un método para llevar estos valores a los límites establecidos por la FPGA. Algunos métodos que se ocupan son:

- Puente de wheatstone
- Amplificadores Operacionales (Sumadores, Inversores, Multiplicadores, etc.)
- Divisores de tensión
- Transformadores
- Filtros (Pasa bajos, Pasa Altos, Rechaza Banda)

1.7 PUERTO BIDIRECCIONAL DIGITAL DE LA FPGA

Se describe a continuación las características del puerto bidireccional de la FPGA NI sbRIO-9631, si se quiere ver las características específicas de alguna otra tarjeta FPGA se recurre a su manual disponible en la red del fabricante de la misma.

La tarjeta FPGA NI sbRIO-9631 110 líneas DIO de 3.3 V (tolerancia de 5 V/TTL), el termino DIO quiere decir que ese puerto se lo puede reconfigurar como entrada o salida digital, de acuerdo a su configuración en el programa fuente.

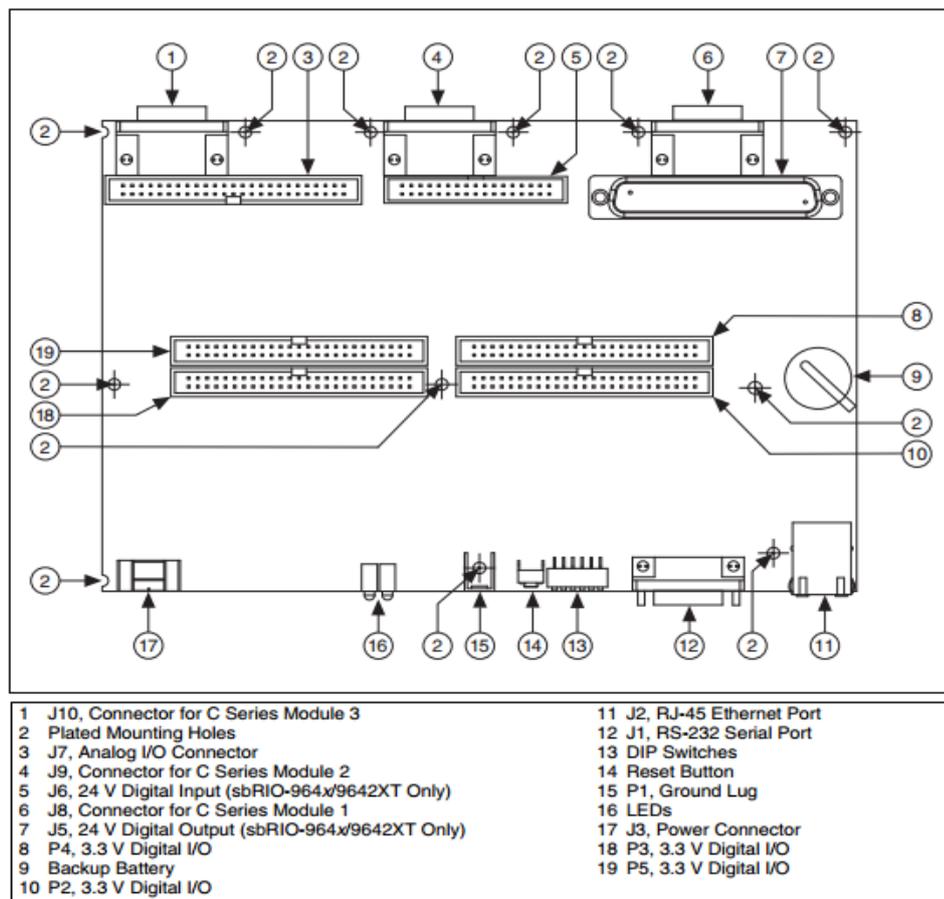


Figura 1.6.- FPGA NI sbRIO-9631, diagrama de partes y puertos

Fácilmente en la Figura 1.6 se observa en que conectores se encuentran las DIO de la tarjeta, enumerándolas:

- J6 (Entradas Digitales de 24 VDC, este puerto es especial y dedicado solo para entradas).
- J5 (Salidas Digitales de 24 VDC, este puerto es especial y dedicado solo para salidas).
- P2, P3, P4, P5 puertos bidireccionales DIO a 3.3 Vdc
- Además en el apartado 13 y 16 de la Figura 1.6 se observa que existen DIP Switches y LEDs considerados respectivamente como entradas y salidas de la tarjeta.

En la Figura 1.7, 1.8, 1.9 y 1.10 se observa el pinout del P2, P3 P4 y P5 correspondiente a los puertos bidireccional a 3.3. Vdc.

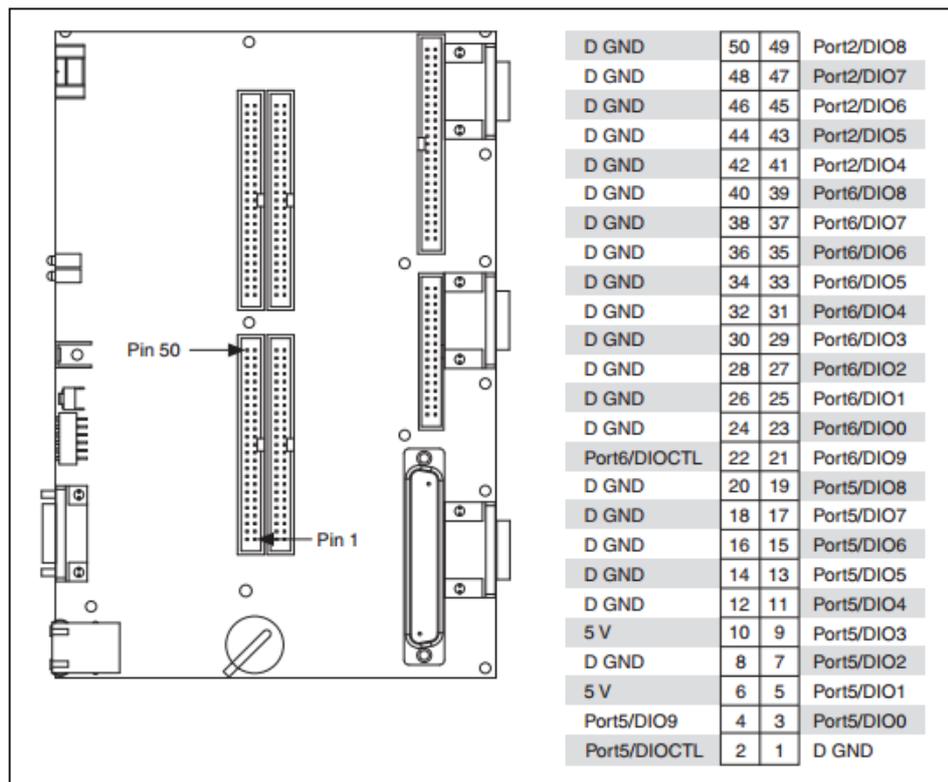


Figura 1.7.- FPGA NI sbRIO-9631, Pinout P2

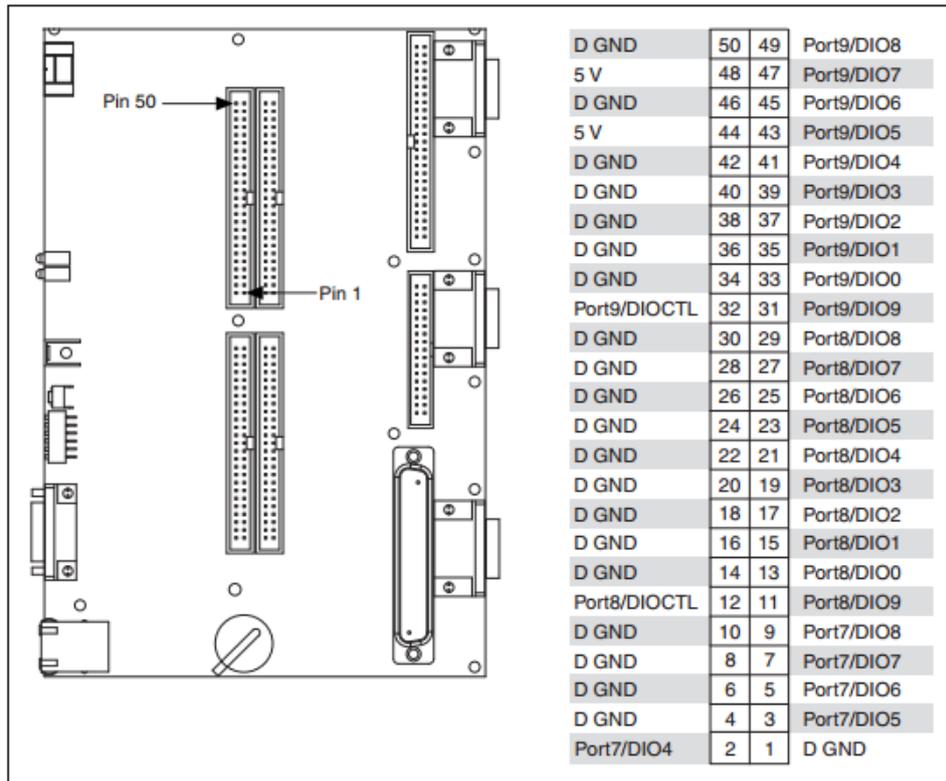


Figura 1.8.- FPGA NI sbRIO-9631, Pinout P3

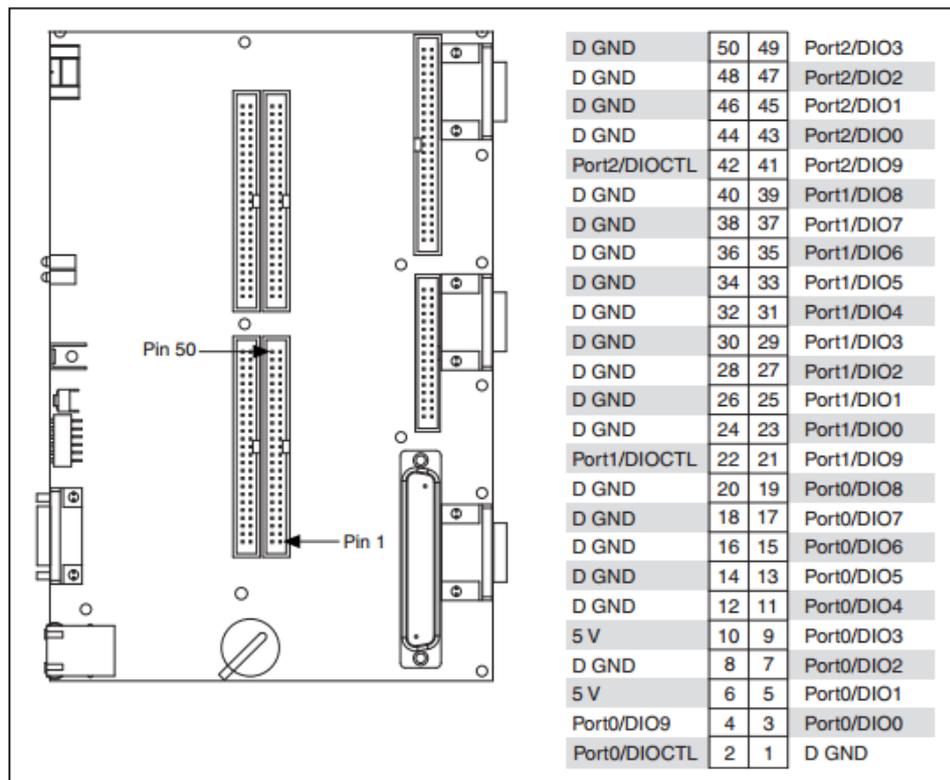


Figura 1.9.- FPGA NI sbRIO-9631, Pinout P4

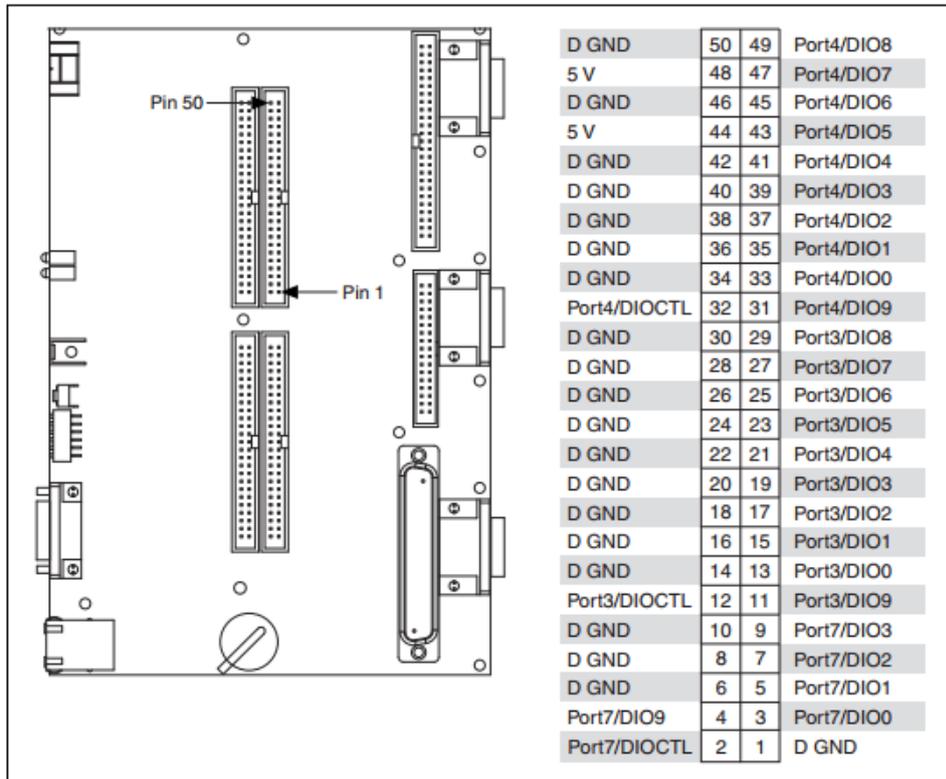


Figura 1.10.- FPGA NI sbRIO-9631, Pinout P5

En la Figura 1.11, 1.12 se observa el pinout del J6 y J5 correspondiente a los puertos de entradas y salidas digitales de 24 Vdc, cabe recalcar que son solo para entradas el puerto J6 y solo salidas el J5.

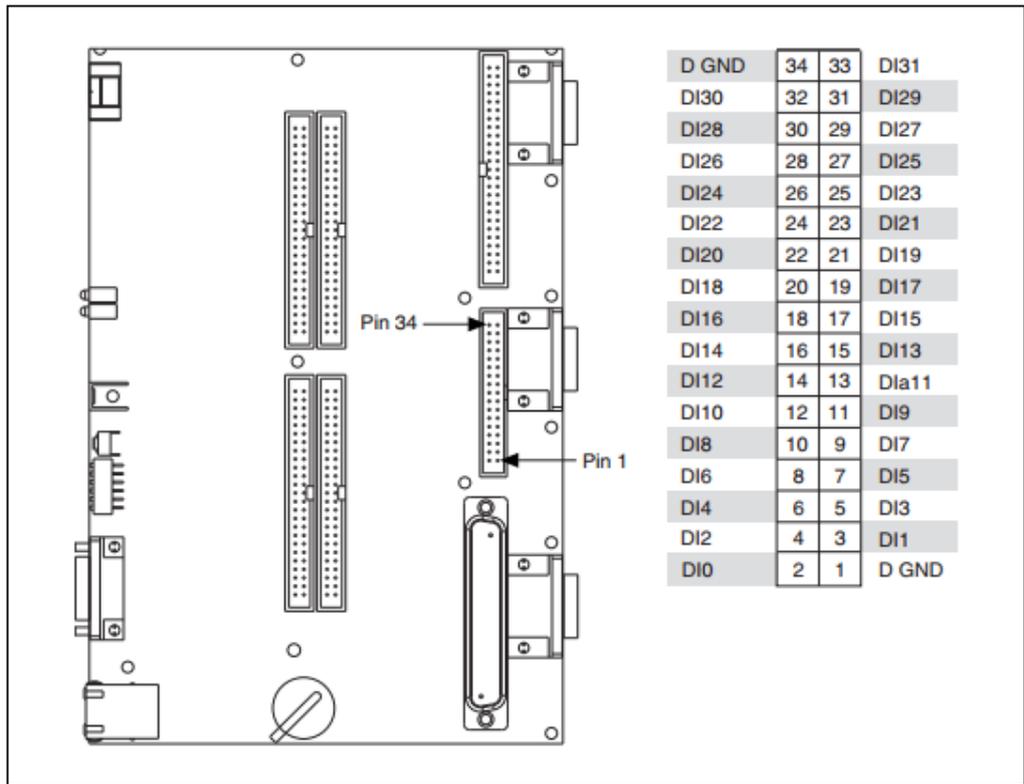


Figura 1.11.- FPGA NI sbRIO-9631, Pinout J6

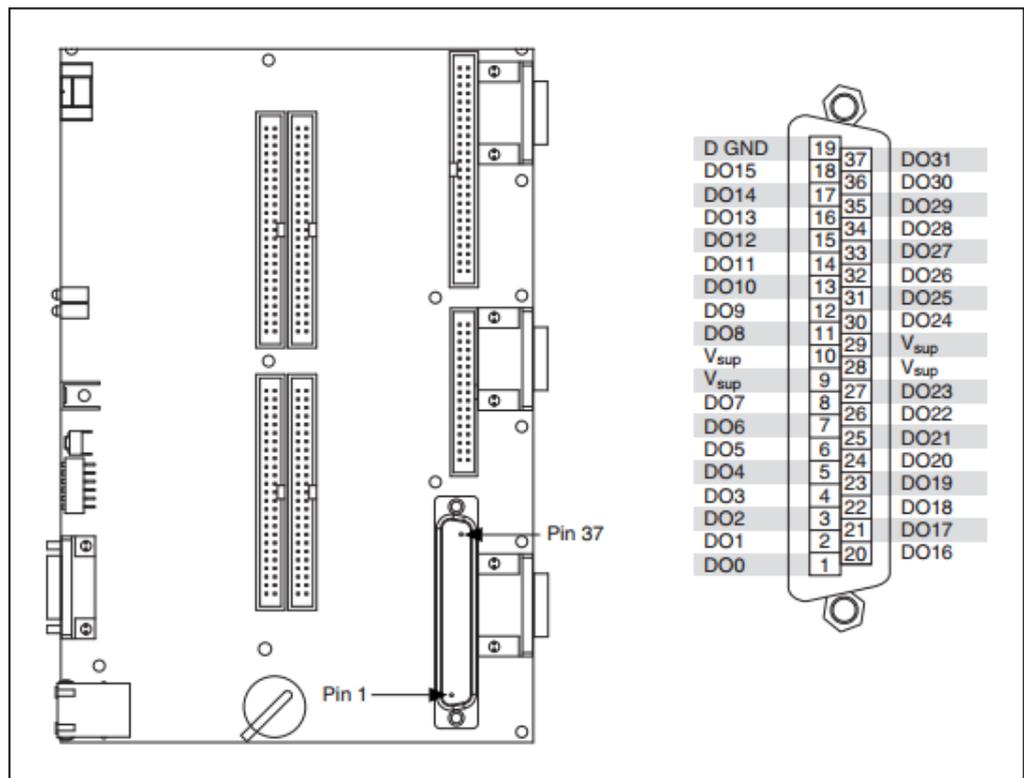


Figura 1.12.- FPGA NI sbRIO-9631, Pinout J5

1.8 ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS DE LA FPGA

La tarjeta NI sbRIO9631 posee 32 entradas analógicas de 16 bits cada una, en la ecuación 1 y 2 se observa a que se refiere los 16 bits en este caso de conversión analógico digital

$$r = \frac{Lsr}{rt} \quad (1)$$

$$R = \frac{5Vdc}{2^{16bits}} = 0.0762[mV/bit] \quad (2)$$

En donde:

r= Coeficiente de conversión analógico digital

Lsr =Límite superior de voltaje que la tarjeta soporta

R =resolución de la tarjeta

Explicando las ecuaciones 1 y 2 se deduce que a cada 0.0762 mV que la señal cambie se asigna un bit, como las entradas analógicas son hasta 5 Vdc a este valor se le asigna 65536 bits.

En los circuitos de las Figuras 1.13 y 1.15 se observa de forma generalizada como entran y como salen estos tipos de señales.

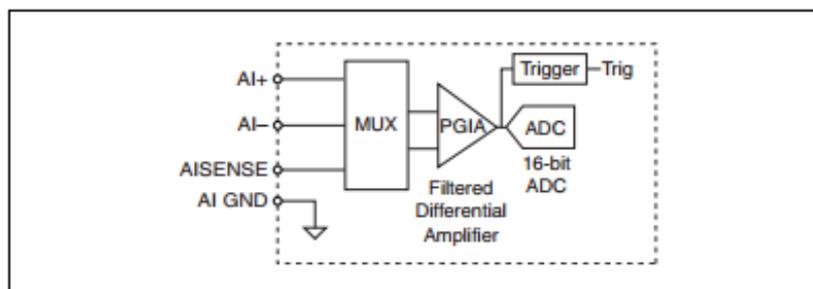


Figura 1.13.- Esquema del circuito para una entrada analógica

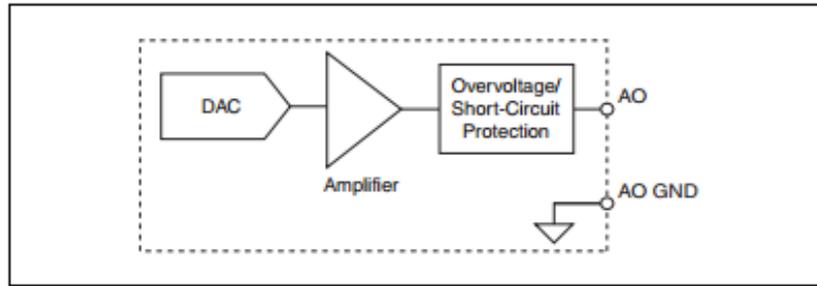


Figura 1.14.- Esquema del circuito para una salida analógica

Como por ejemplo, dado el caso de tener un transmisor de presión absoluta cuyo rango de medición esta entre 0 y 50 PSI, y su salida varía de 0 a 5 Vdc, este obedecerá a la fórmula de la ecuación de la recta sin offset o desplazamiento, dada en la ecuación 3.

$$y = mx \quad (3)$$

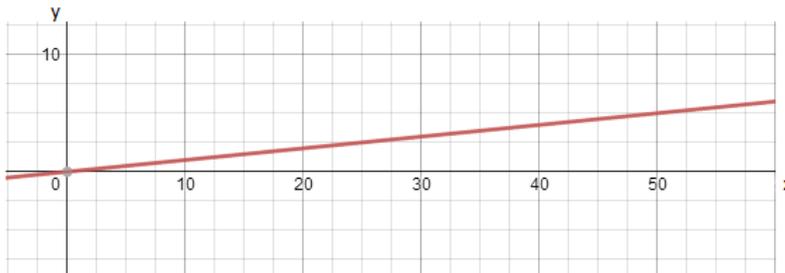


Figura 1.15.- Función de transferencia entre la salida de un transmisor y la entrada analógica de la FPGA

En la Figura 1.16 se observa el pinout del puesto P7 equivalente a las entradas y salidas analógicas de nuestra FPGA las mismas que poseen su equivalente de 16 bits para su conversión analógico-digital.

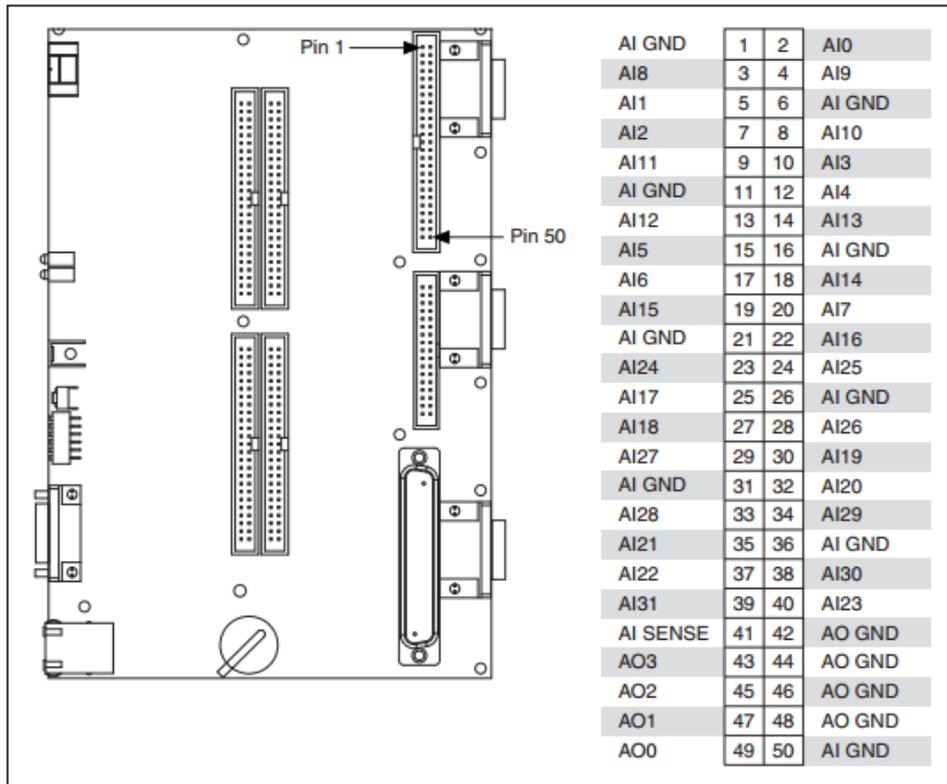


Figura 1.16.- FPGA NI sbRIO-9631, Pinout P7

En la Figura 1.17 se ve un proyecto en LabVIEW, en donde se introduce una FPGA, como se ve los puertos de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, así como otras señales que en las prácticas se ira describiendo.

Para poder programar en LabVIEW se debe tener un VI compuesto por un Panel Frontal y un Diagrama de Bloques, en el Diagrama de Bloques se programa nuestra Lógica y nuestros algoritmos, a esta se llevan nuestras entradas y salidas de la FPGA, en el caso de analógicas y digitales solo se arrastra desde el árbol de proyecto hasta el Diagrama de Bloques, así se ve en la Figura 1.19, o simplemente si se usa el menú de FPGA I/O en la paleta de funciones como se muestra en la Figura 1.18.

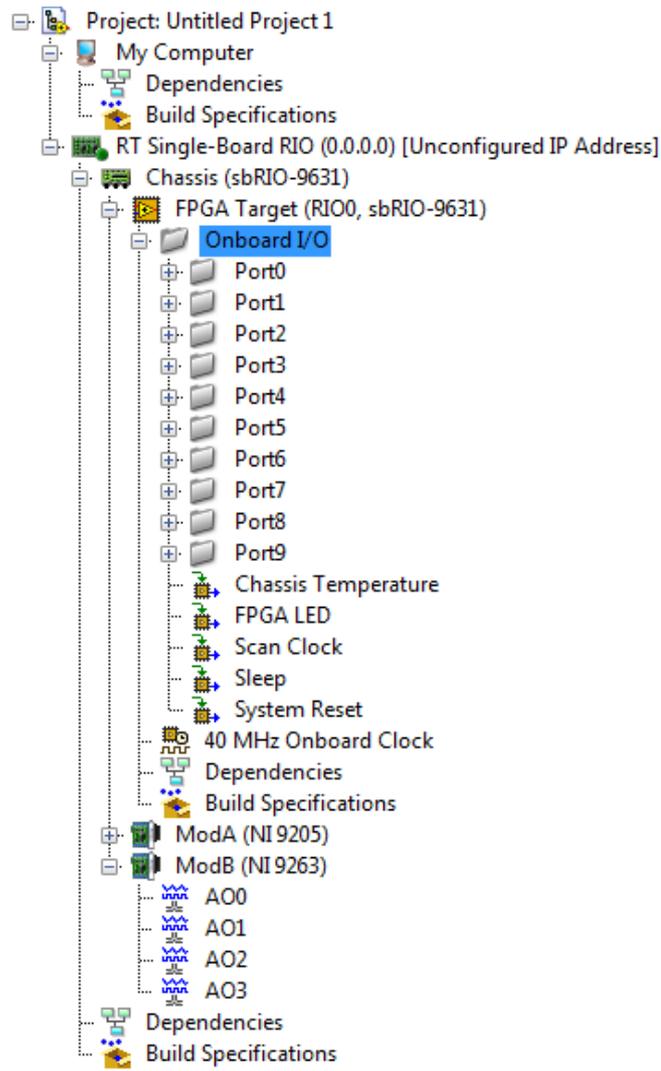


Figura 1.17.- Árbol de Proyecto

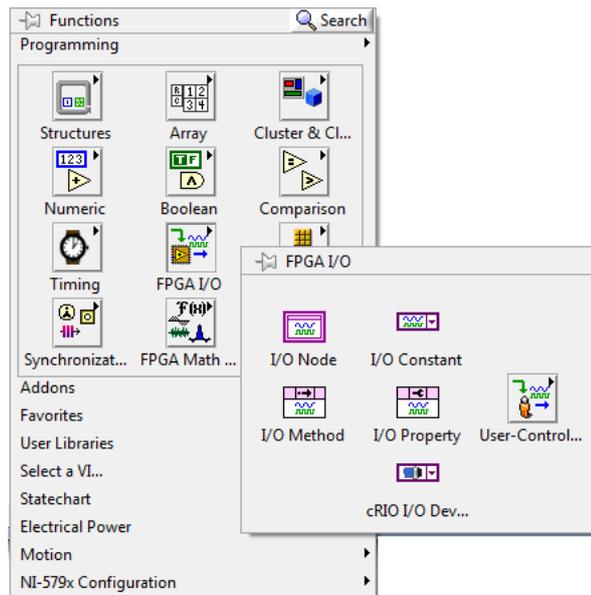


Figura 1.18.- Menú FPGA I/O

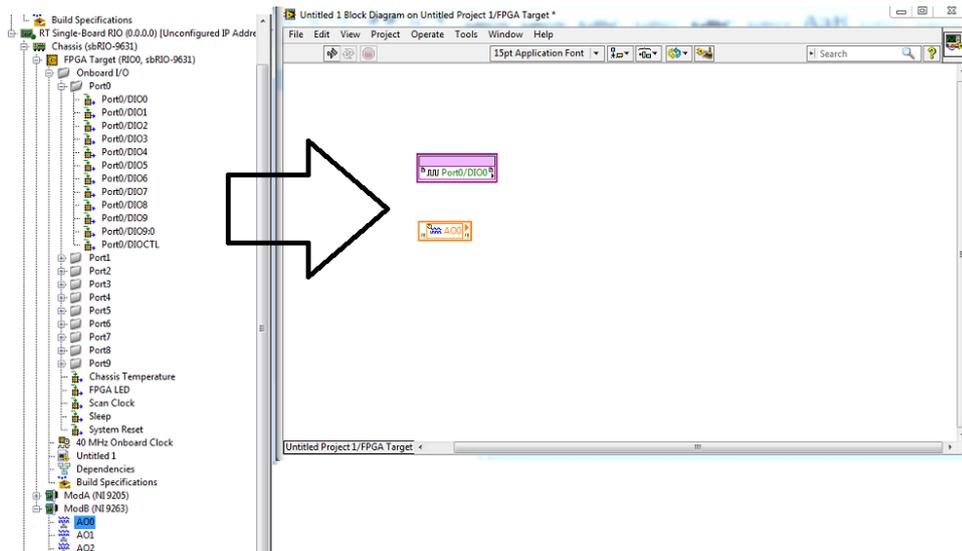


Figura 1.19.– Ingreso de entradas analógicas y digitales en el Diagrama de Bloques.

1.9 PRINCIPALES PUERTOS DE COMUNICACIÓN DE UNA TARJETA FPGA

1.9.1 RS232

El protocolo RS-232 rige los parámetros de uno de los modos de comunicación serial estandarizado.

Con RS232 se estandarizan:

- Velocidades de transferencia de datos.
- la forma de control para la transferencia de datos.
 - Nivel de voltajes utilizados.
- Tipo de cable.
- Distancias entre equipos, los conectores, es decir todo el nivel físico.

Las tensiones empleadas están comprendidas entre +15/-15 voltios, existen algunos tipos de conexión como por ejemplo el Full modem.

En la Figura 1.20 se ve conector DB9 estandarizado para este tipo de transmisión de datos.

El tipo de comunicación serial full dúplex para comunicación punto a punto a una distancia no superior a 30 metros. Desde 3 hilos hasta 19 hilos.

Este tipo de comunicación se configura en el VI de comunicación serial para LabVIEW llamadas VISA.

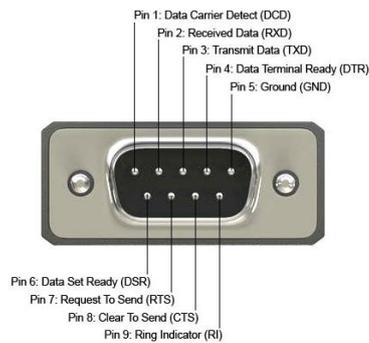


Figura 1.20.- Conector DB9 para comunicación RS232

1.9.2 CANBUS

Partiendo desde las necesidades que se tiene en la industria automotriz National Instruments ha introducido este protocolo de comunicación en sus algunas de sus tarjetas FPGA como puerto nativo, y para CompactRio módulos tipo C que se pueden adaptar al rack de esta.

CanBus es la columna vertebral de la electrónica de los automóviles a partir de 1996 en donde se hace este tipo de protocolo un estándar para su comunicación entre sensores y actuadores del auto, comunicados estos la unidad central de procesamiento, comercialmente conocida como "cerebro del auto", también en este tipo de comunicación se basa el scan de los autos para poder ver posibles fallas y dar soluciones a las mismas.

En las Figuras 1.21 y 1.22 se observa un monitoreo en tiempo real de algunas variables de un auto en una HMI realizada en LabVIEW y la adquisición realizada en una tarjeta FPGA, existen proyectos en donde se vincula DIAdem para realizar el reporte técnico de las mediciones realizadas para su posterior análisis.

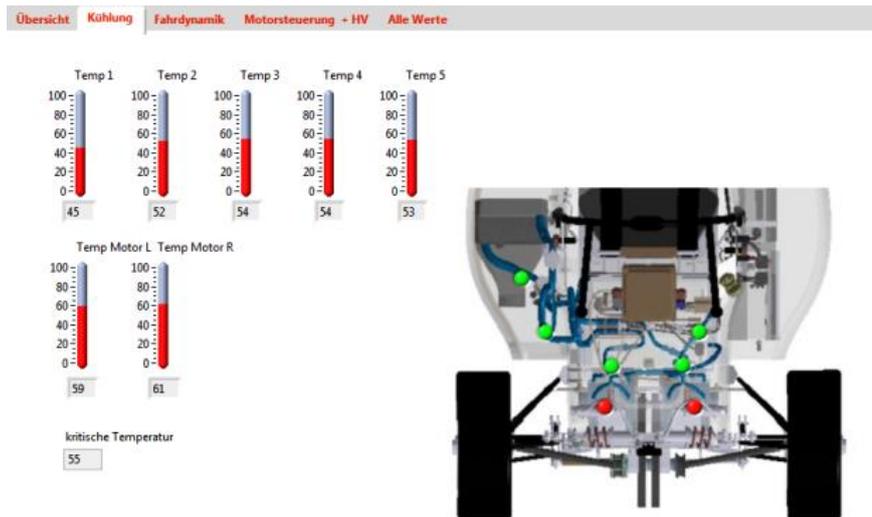


Figura 1.21.- Monitoreo de variables de un automóvil utilizando CanBus, FPGA y LabVIEW.(1)

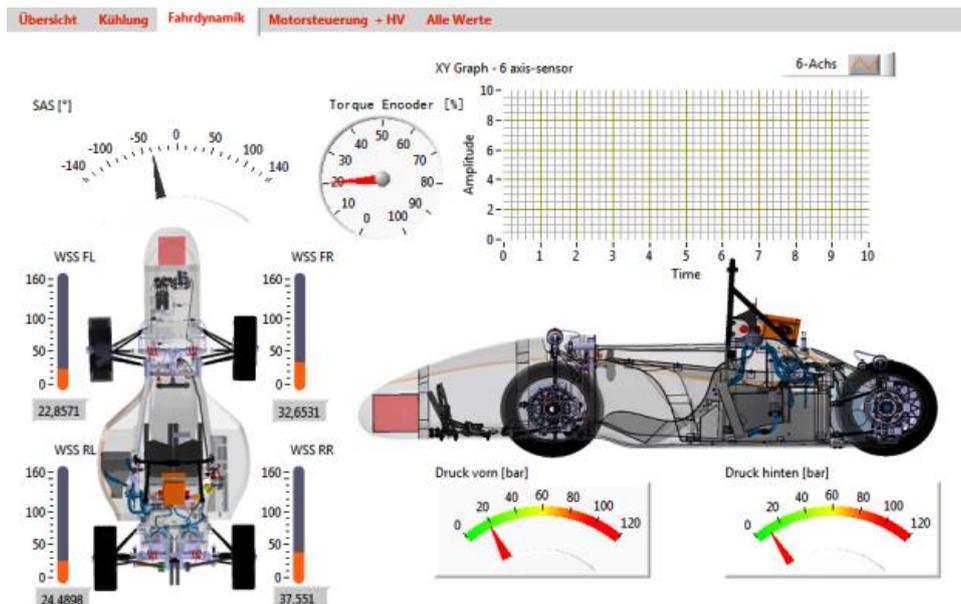


Figura 1.22.- Monitoreo de variables de un automóvil utilizando CanBus, FPGA y LabVIEW.(2)

En las Figuras 1.21 y 1.22 se observa un monitoreo en tiempo real de algunas variables de un auto en una HMI realizada en LabVIEW y la adquisición realizada en una tarjeta FPGA, existen proyectos en donde se vincula DIAdem para realizar el reporte técnico de las mediciones realizadas para su posterior análisis.

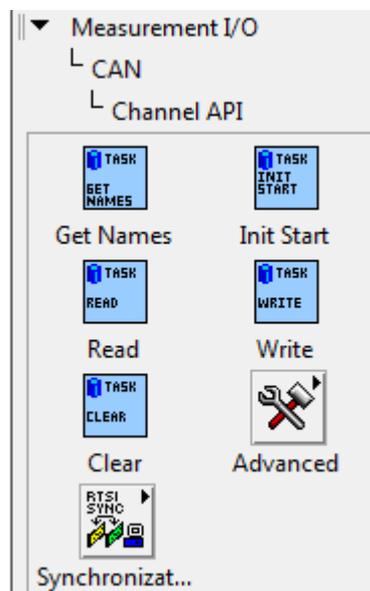


Figura 1.23.– Menú CanBus en LabVIEW

LabVIEW tiene preparado un apartado para este tipo de red industrial, en el cual se inician sesiones de comunicación y se añaden nodos para comunicarse con el sistema del automóvil, la Figura 1.23 muestra este menú con el cual se establece comunicación con diferentes sistemas en el automóvil, así se observa en la Figura 1.24.

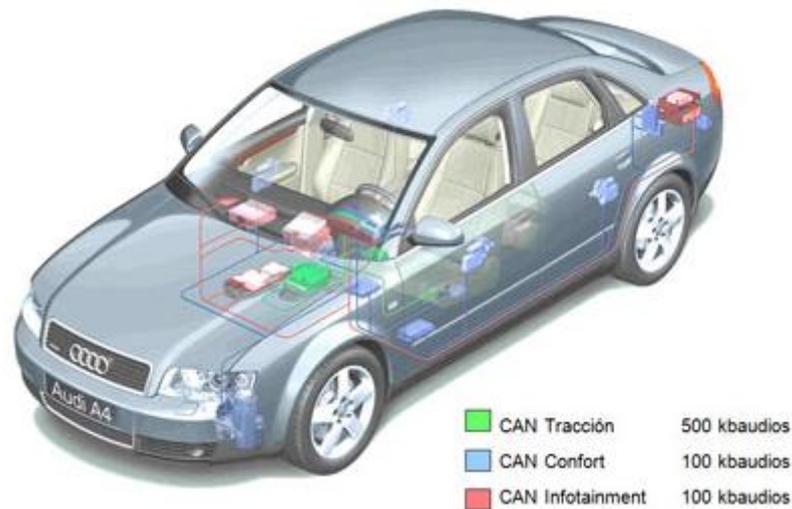


Figura 1.24.- Sistemas del automóvil comunicados con CanBus.

1.10 REPORTE TÉCNICO CON DIADEM

NI DIADEM es una sola herramienta de software que puede usar para ubicar, cargar, visualizar, analizar y reportar rápidamente datos de medidas obtenidos durante la adquisición o simulaciones.

Está diseñado para cumplir con las demandas de los entornos de prueba de hoy en día, las cuales requieren que usted tenga acceso, procese y reporte rápidamente grandes volúmenes de datos en múltiples formatos personalizados para tomar decisiones respaldadas con información. DIADEM es un componente de la solución Administración Técnica de Datos (TDM).

Con DIADEM tal como se muestra en la Figura 1.25 se puede realizar actividades como las enumeradas:

- Navegar entre los datos de adquisición o simulación,
- Observar con herramientas de Zoom y visualización las bases de datos.
- Realizar análisis, cálculos estadísticos, cálculos matemáticos, etc. y aplicarlos a la señal adquirida.

- Realizar reportes técnicos de cálculos, desenvolvimiento en las señales con respecto al tiempo, generando archivos de reporte en formatos preestablecidos.
- Realizar Scripts para poder introducir cálculos y reportes personalizados.

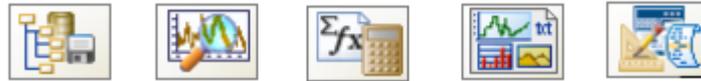


Figura 1.25.- Panel Principal de DIAdem.

1.11 GENERACIÓN DE HMIs REMOTOS

DATA DASHBOARD es una aplicación que se ejecuta en sistemas operativos Android y iOS, los cuales hoy en día encontramos en celulares y tabletas electrónicas.

En el mundo de la Automatización la necesidad de tener HMIs amigables de los procesos es un requisito técnico vital.

Con DATA DASHBOARD podemos adquirir señales desde las tarjetas de adquisición y FPGAs de National Instruments, tarjetas Arduino, CompactRIO, PLCs a través de su correspondiente configuración del OPC Server, etc., en el Ejercicio 4 de aplicación se evidencia los procedimientos necesarios para realizar esta conexión.

2 LISTADO DE PRÁCTICAS

2.1 EJERCICIO #1 (MANEJO DE LA FPGA A TRAVÉS DE LABVIEW)

OBJETIVOS:

General

- Manejar la tarjeta FPGA mediante el software LabVIEW.

Específicos

- Crear una red entre la computadora y la FPGA.
- Revisar la compatibilidad entre el software instalado en la FPGA y LabVIEW.
- Crear un proyecto en LabVIEW para utilizar la FPGA.

MATERIALES

- Hardware
 - sb-RIO 9631.
 - Computador.
- Software
 - NI LabVIEW.
 - NI LabVIEW FPGA.
 - NI LabVIEW Real-Time.
 - NI-RIO.
- Otros
 - Cable Ethernet.

PROCEDIMIENTO

1. Alimentar la tarjeta FPGA y conectar el cable ethernet al puerto de red del computador o al switch por el cual el computador este en red.
2. Abrir el NI MAX (Measurement & Automation Explorer). Se puede abrir de dos maneras:
 - Inicio/ Todos los programas/ NI MAX.
 - Escritorio/ NI MAX (acceso directo).

En ésta práctica se utiliza la versión 2013 de LabVIEW, el icono del NI MAX de ésta versión se lo puede observar en el Figura 2.1 mientras que en el

Figura 2.2 se observa el icono de versiones anteriores.



Figura 2.1.- NI MAX LabVIEW 2013.



Fig. 2.2.- NI MAX LabVIEW versiones anteriores.

3. Cambiar la IP de la tarjeta FPGA para que se una a la red.

En la pantalla principal del NI MAX dar clic en "Remote Systems" y se desprende una lista de las tarjetas que se han conectado al computador, dar clic en la tarjeta que no está con una "x" y en una de las pestañas que aparecen en la parte inferior presionar "Network Settings" como se puede observar en el Figura 2.3.

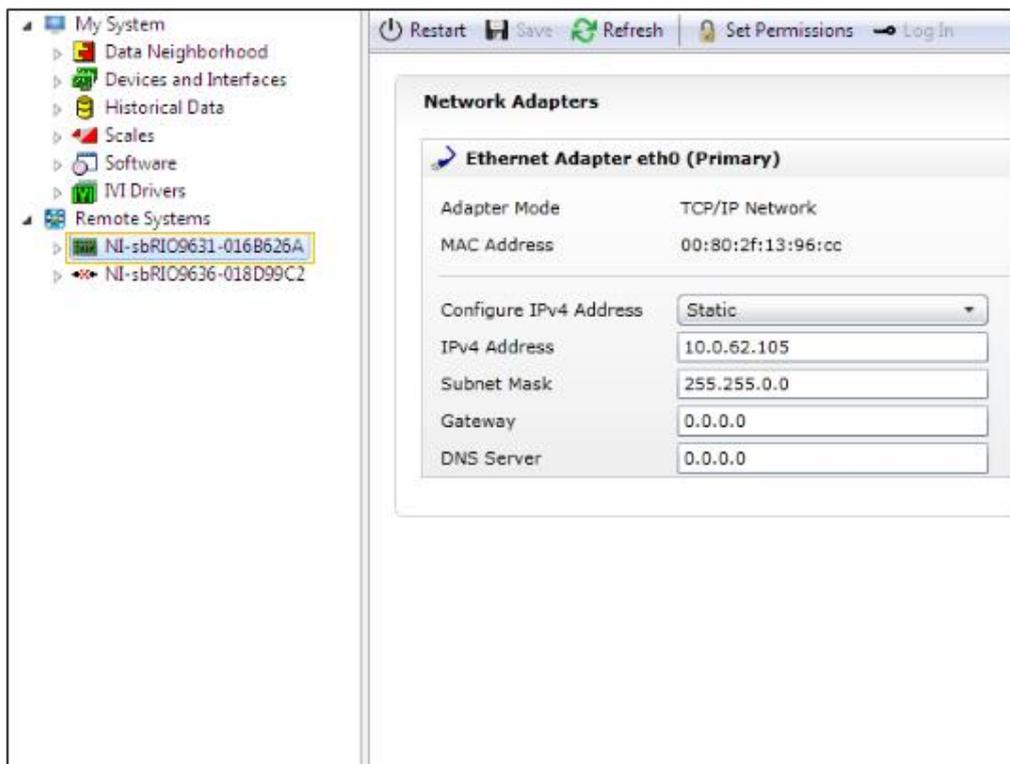


Figura 2.3.- Configuración de la IP de la FPGA en el NI MAX.

Identificar cual es la dirección IP y la máscara de subred del computador en Inicio/ Panel de control/ Redes e internet/ ver el estado y las tareas de red/ conexión de área local/ Protocolo de internet versión 4 (TCP/IP v4)/ propiedades y aparece la dirección IP y máscara de subred del computador como se puede observar en el Figura 2.4.

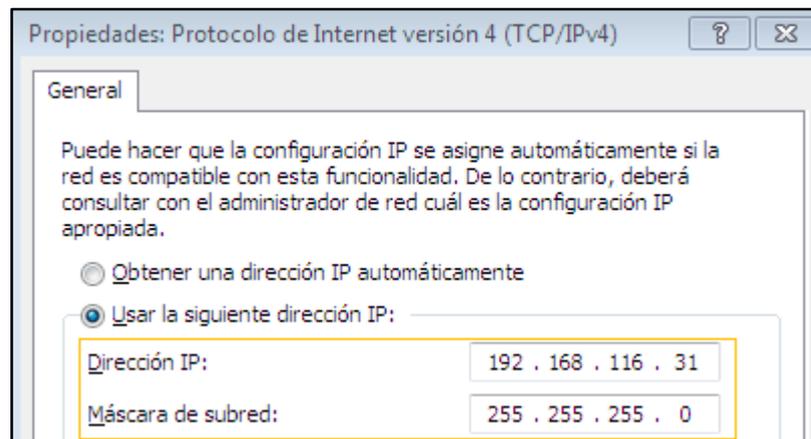


Fig. 2.4.- Dirección IP y máscara de subred del computador.

Se cambia la IP de la FPGA en el NI MAX de tal manera que los 3 primeros grupos coincidan y el último no debe ser igual y debe estar comprendido entre 0-255. Como se muestra en el Figura 2.5. Posteriormente se guarda los cambios con el botón "save" y aparece un mensaje que pide reiniciar la tarjeta FPGA para que los cambios tengan efectos, en este mensaje dar clic en "si".

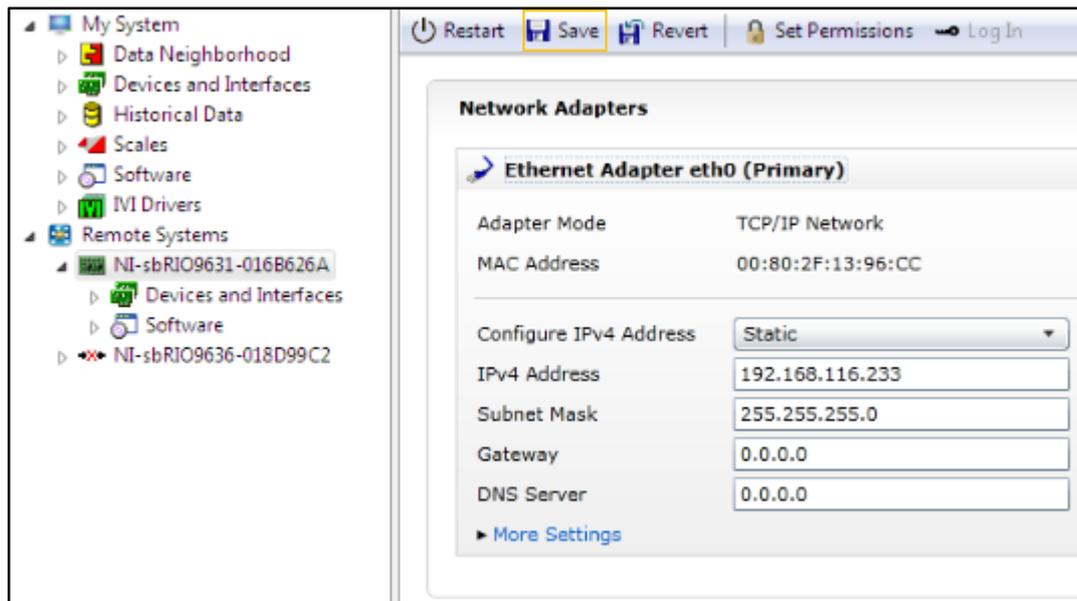


Figura 2.5.- Configuración de la red de la tarjeta FPGA.

4. Verificar que el software instalado en la FPGA sea el mismo que se tiene instalado en el computador para que exista compatibilidad. En esta práctica debe coincidir que tanto el software del computador como de la FPGA estén en la versión 2013.

En el menú que se despliega bajo Remote Systems/ NI-sbRIO9631 se observa los dispositivos, las interfaces y el software de la tarjeta FPGA. En software aparece un icono igual a una insignia ahí se verifica la versión del software de la FPGA como se muestra en el Figura 2.6.

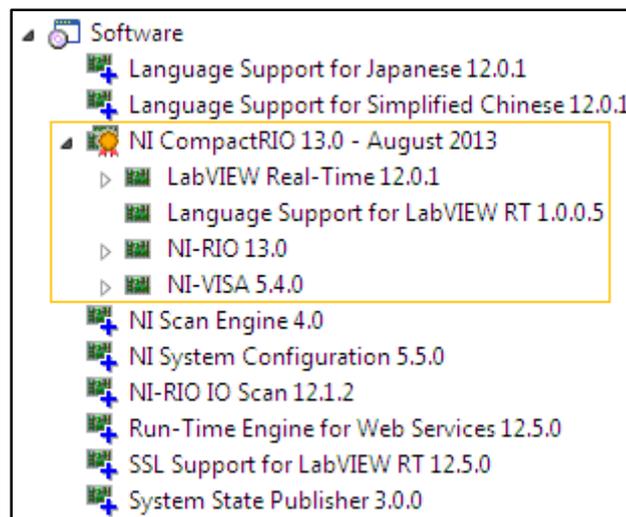


Figura 2.6.- Software instalado en la tarjeta FPGA.

Como se puede apreciar en el anterior Figura la versión de LabVIEW Real-Time es 2012 que es inferior al que se tiene en el computador LabVIEW Real-Time 2013. Para actualizar el software de la FPGA se procede a hacer lo siguiente: dar clic derecho sobre software y clic en "Add/remove Software" como se muestra en el Figura 2.7.

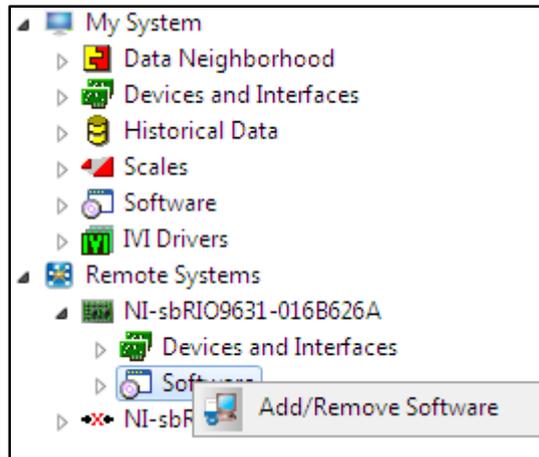


Figura 2.7.- Añadir o remover el software de la FPGA.

Aparece una ventana como se observa en el Figura 2.8. En esta ventana se puede actualizar el software o añadir otro toolkit que se necesite para realizar alguna aplicación específica. Los iconos que aparecen de color son las instalaciones recomendadas que se puede elegir. La opción que aparece con currently installed es la que está instalada actualmente. Se elige la opción LabVIEW Real-Time 13.0.

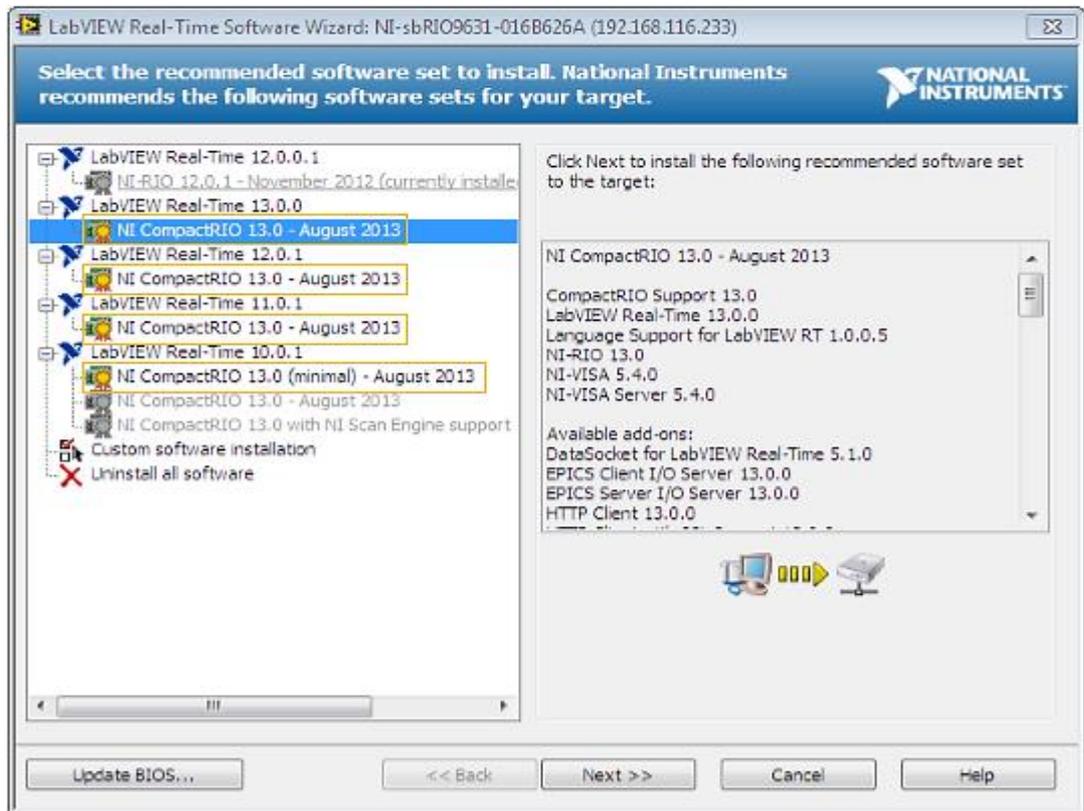


Figura 2.8.- Asistente para la instalación de software en la FPGA

Al presionar "Next" aparece una ventana en la cual muestra el software recomendado que se va a instalar como se observa en el Figura 2.9. Sin embargo se puede seleccionar más toolkits dependiendo de la aplicación a realizarse.

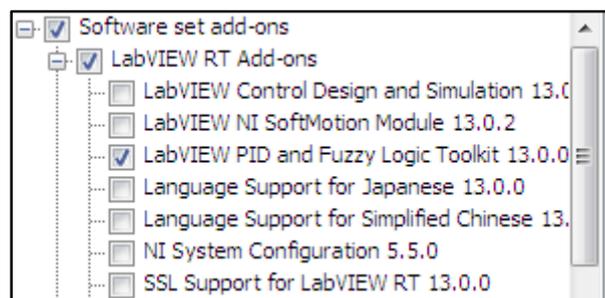


Figura 2.9.- Selección del software a instalarse

Por ultimo aparece una ventana en donde menciona que se ha actualizado exitosamente la tarjeta FPGA.

También se puede instalar los toolkits que se necesite de acuerdo a los requerimientos de una aplicación específica en la opción "Custom software installation" del Figura 2.8 y al seleccionar esa opción aparece una

ventana como se puede apreciar en el Figura 2.10. Es el mismo proceso anterior, se selecciona los toolkits a instalar y se presiona siguiente.

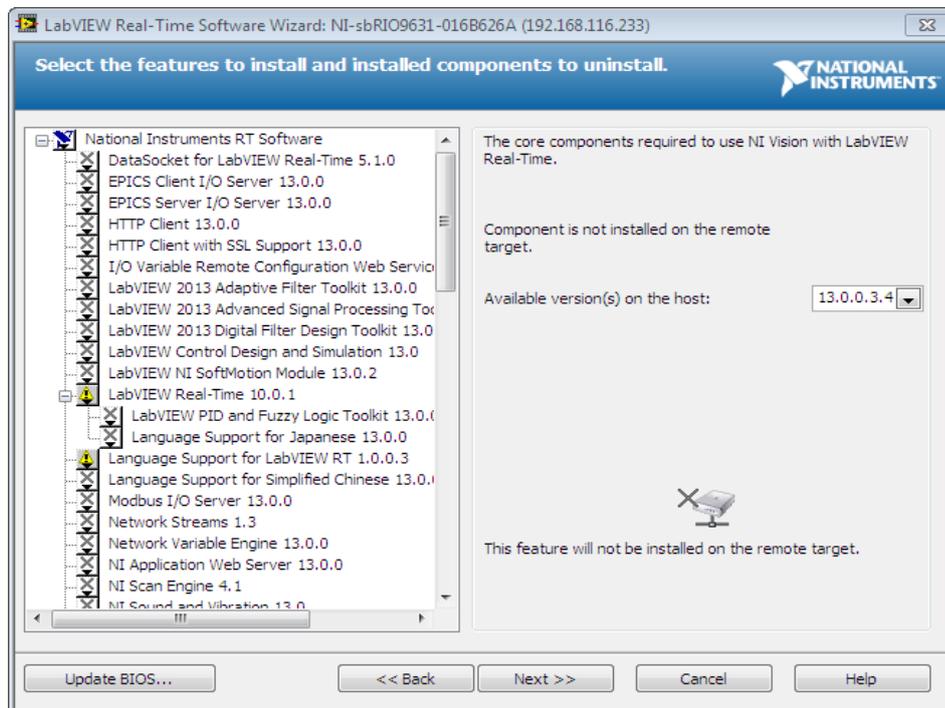


Figura 2.10.- Software adicional que se puede instalar en la FPGA.

Ahora ya está configurada la tarjeta FPGA para que LabVIEW reconozca correctamente la tarjeta.

5. Creación de un proyecto en LabVIEW

Inicio/ Todos los programas/ NI LabVIEW.

En la pantalla de inicio elegimos la opción "Create Project", aparecerá una ventana en la que seleccionamos la opción "LabVIEW FPGA Project" como se puede observar en el Figura 2.11.

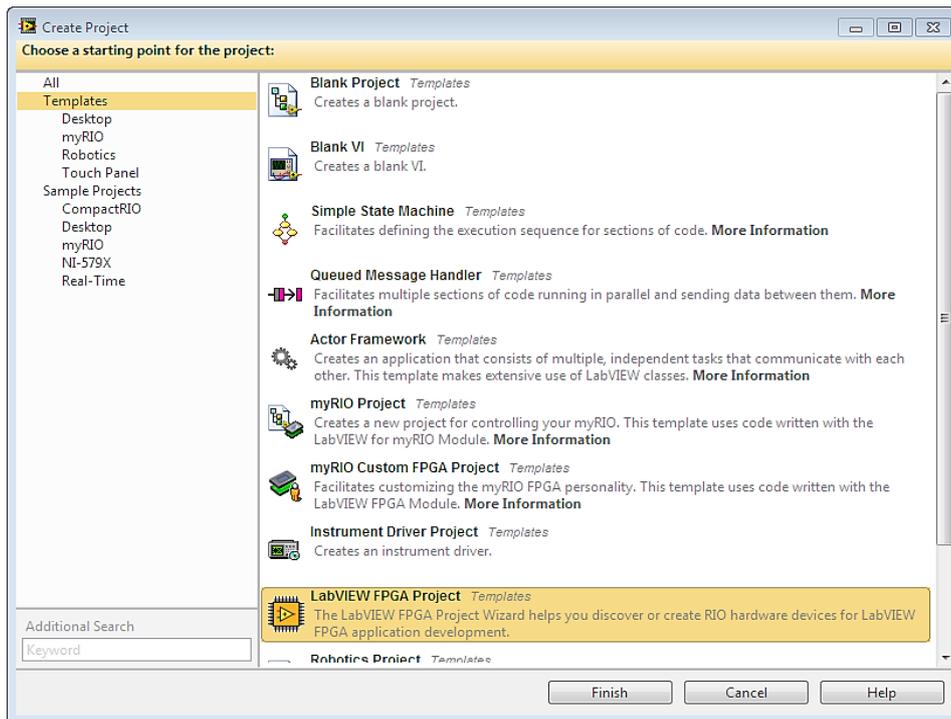


Figura 2.11.- Creación de un proyecto en LabVIEW.

Presionar "Finish" y en la siguiente ventana mostrada en el Figura 2.12 se selecciona "Single-Board RIO Embedded System".

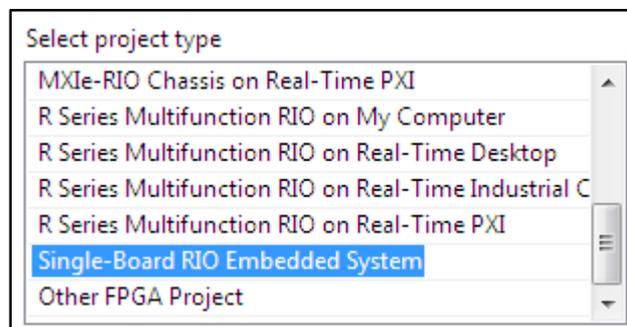


Figura 2.12.- Selección del tipo de proyecto

En la siguiente ventana elegimos la opción "Discover existing system" como se muestra en el Figura 2.13.

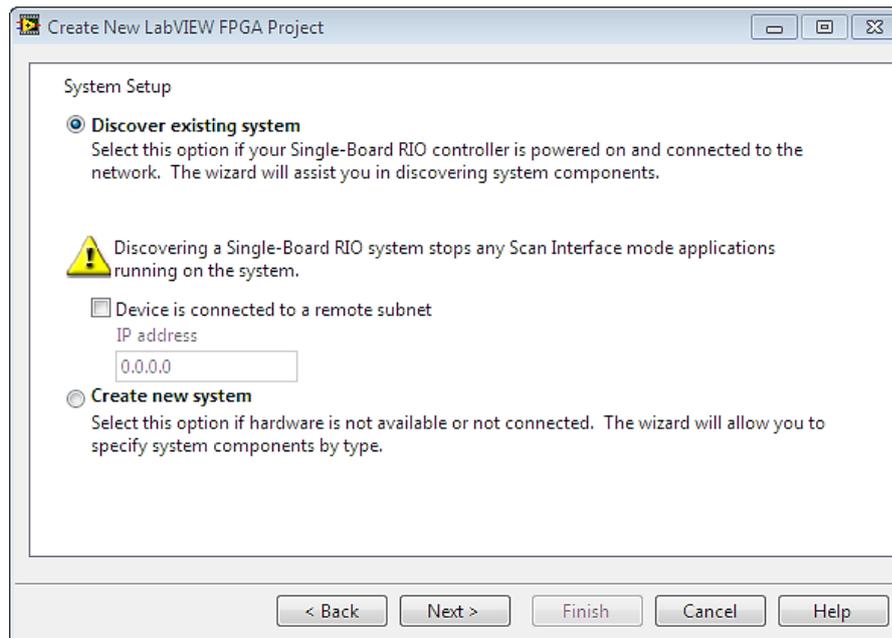


Figura 2.13.- Búsqueda de la tarjeta FPGA conectada a la red.

El asistente busca si existe un dispositivo conectado y si lo encuentra aparecerá una ventana igual a la que se observa en el Figura 2.14.

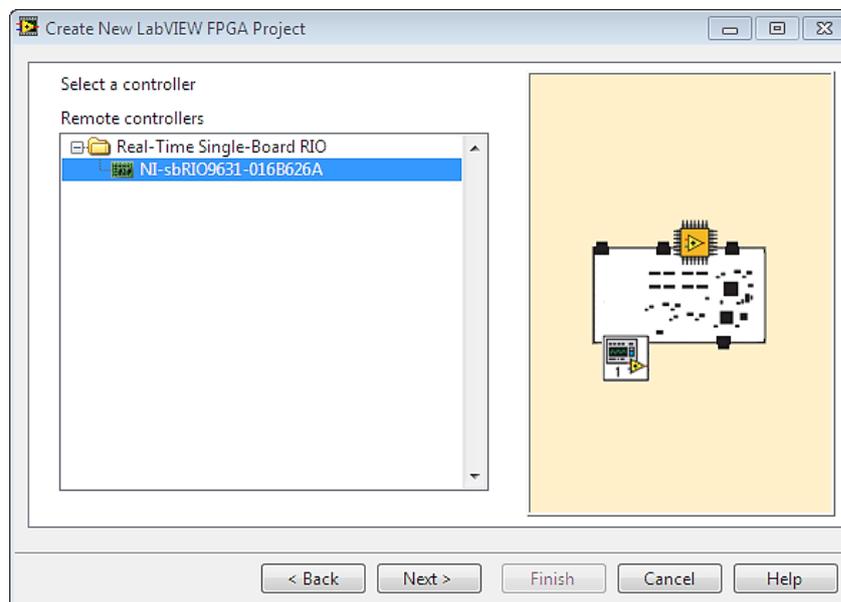


Figura 2.14.- Tarjeta FPGA reconocida por el asistente de creación de proyectos.

Se presiona "Next" y aparece una ventana similar a la mostrada en el Figura 2.15.

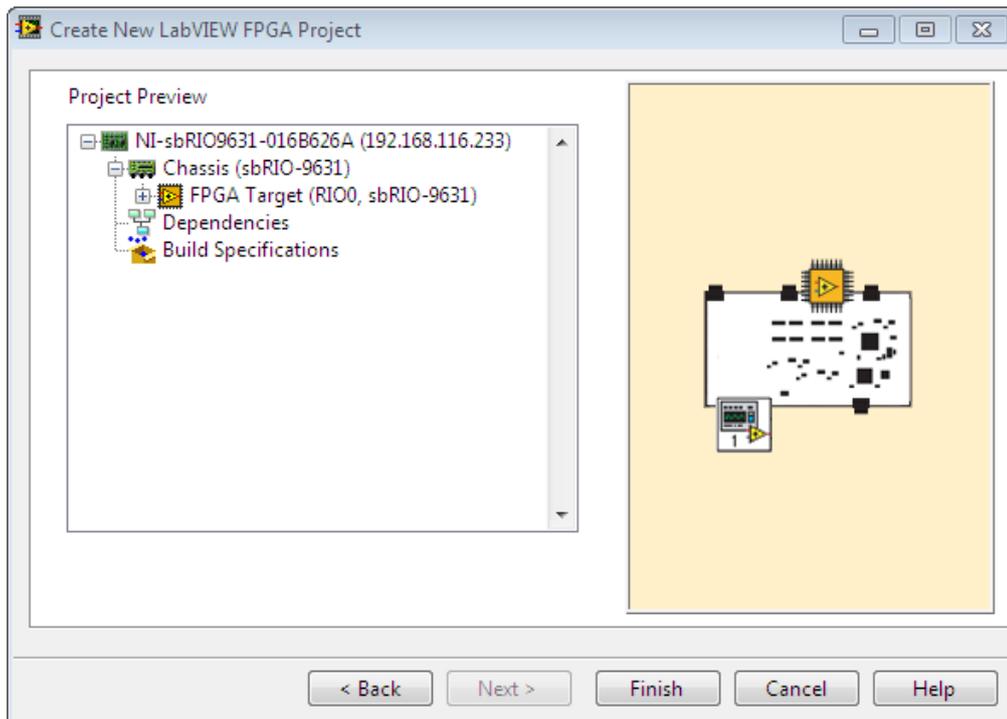


Figura 2.15.- Chasis reconocido de la tarjeta FPGA.

Se presiona "Finish" y ya está creado el proyecto para poder utilizarla tarjeta FPGA por último aparece una ventana como se observa en el Figura 2.16.

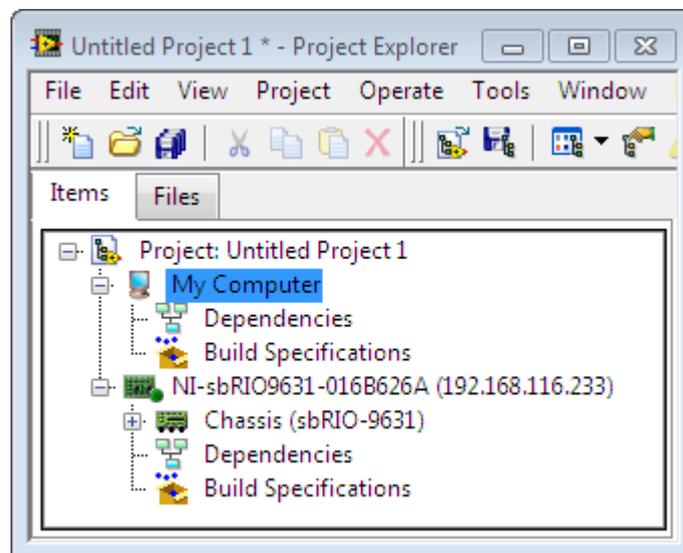


Figura 2.16.- Proyecto para el manejo de la tarjeta FPGA.

Para asegurar que el proyecto se ha creado correctamente se da clic derecho la tarjeta y se elige la opción "Connect", si en este icono se enciende el led verde el proyecto se ha realizado correctamente.

En el Figura 2.17 se puede observar que el proyecto se ha realizado correctamente.

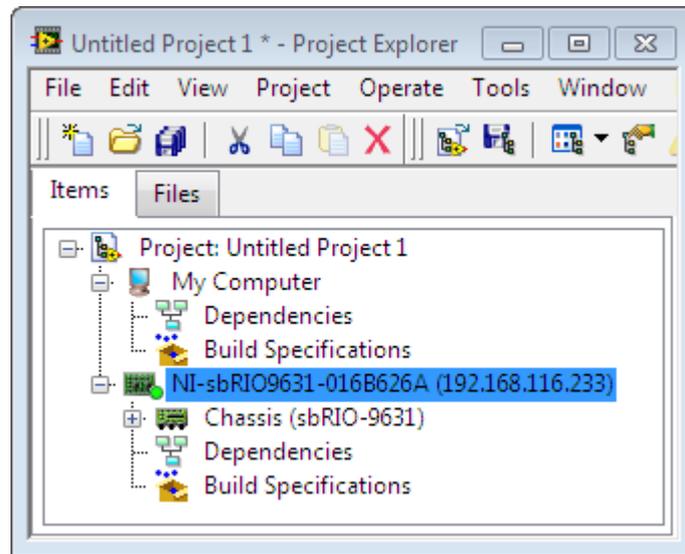


Figura 2.17.- Proyecto realizado correctamente.

2.2 EJERCICIO #2 (ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE UN SENSOR DIGITAL)

OBJETIVOS:

General

- Acondicionar un sensor digital para utilizarlo con la tarjeta FPGA.

Específicos

- Revisar las especificaciones del sensor digital.
- Identificar los puertos de entradas/salidas digitales de la FPGA.
- Acondicionar el sensor digital para utilizarlo con la tarjeta FPGA.
- Crear un proyecto en LabVIEW para mostrar el funcionamiento de sensor con la tarjeta FPGA.

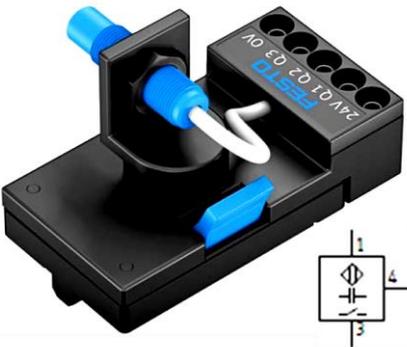
MATERIALES

- Hardware
 - sb-RIO 9631.
 - Computador.
 - Sensor capacitivo de FESTO.
- Software
 - NI LabVIEW.
 - NI LabVIEW FPGA.
 - NI LabVIEW Real-Time.
 - NI-RIO.
- Otros
 - Cable Ethernet.
 - Fuente DC.

PROCEDIMIENTO

1. Identificar los parámetros del sensor. Como se puede observar en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.- Hoja de datos del sensor capacitivo FESTO.

	Zona de detección	0 - 4 mm
	Tensión de alimentación	10 - 36 VDC
	Salida	PNP, normalmente abierto
	Temperatura de operación	-25 °C a 80 °C
	Indicación de estado de conmutación	Led amarillo
	Clase de protección	IP 65
	Frecuencia de conmutación	Máx. 100 Hz
	Corriente de salida	Máx. 200 mA

2. Reconocer los puertos de entradas/salidas digitales de la tarjeta FPGA. Como se aprecia en la Figura 2.18.

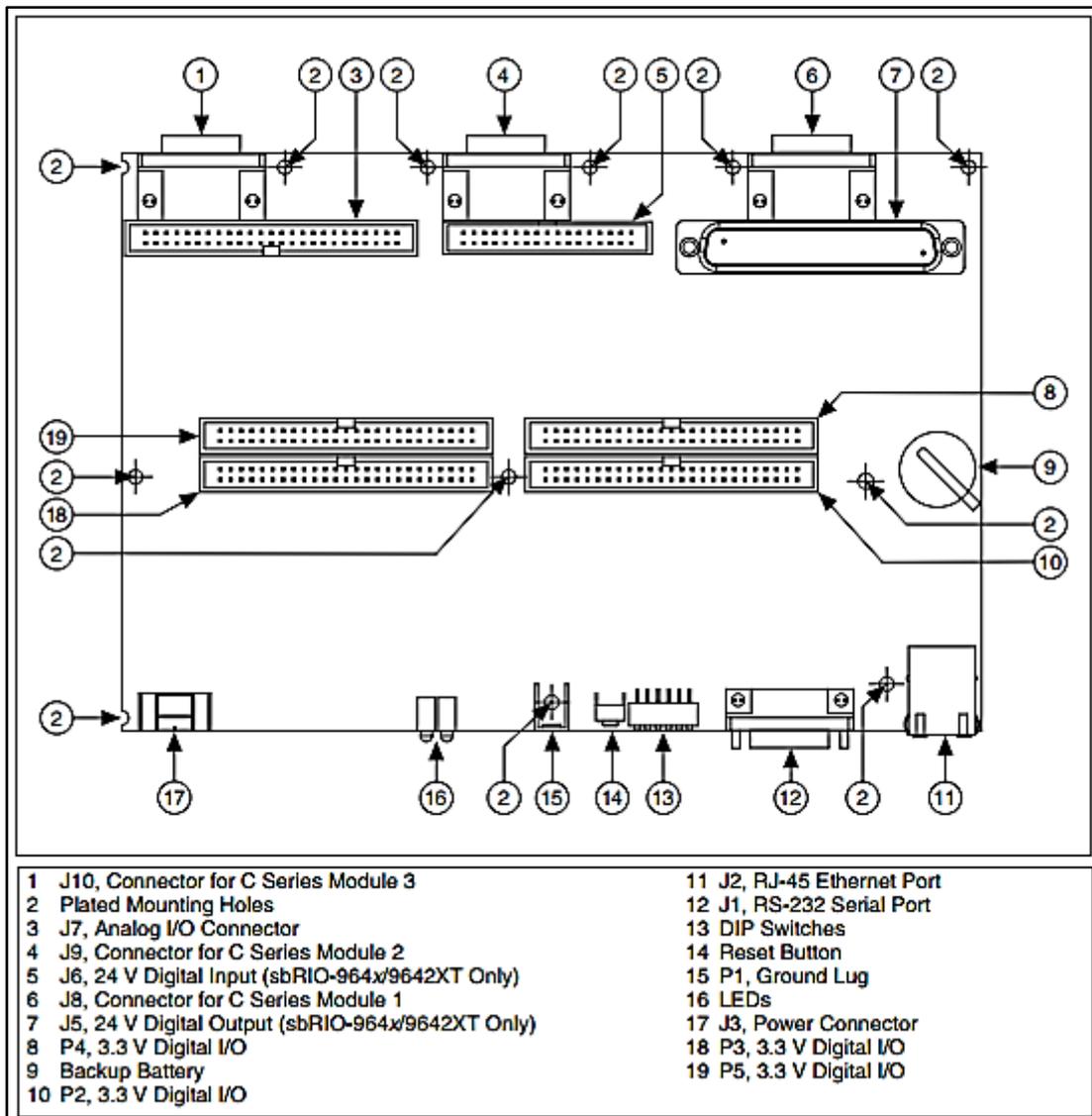


Figura 2.18.- Esquema general de la tarjeta FPGA 9631.

Se observa que los conectores: P2, P3, P4 y P5 son digitales. Según la hoja de características de la tarjeta FPGA esta soporta hasta 5 Vc.d. debido a que el sensor que se utiliza para esta práctica su salida es PNP normalmente abierto, es decir, dejará pasar el voltaje de alimentación que reciba cuando detecte un objeto. Se tiene que acondicionar la salida del sensor para que no sobrepase el voltaje máximo soportado de la tarjeta que es de 5Vc.d.

3. Acondicionar la salida del sensor capacitivo.

Se utiliza un divisor de voltaje como circuito de acondicionamiento como se muestra en la Figura 2.19.

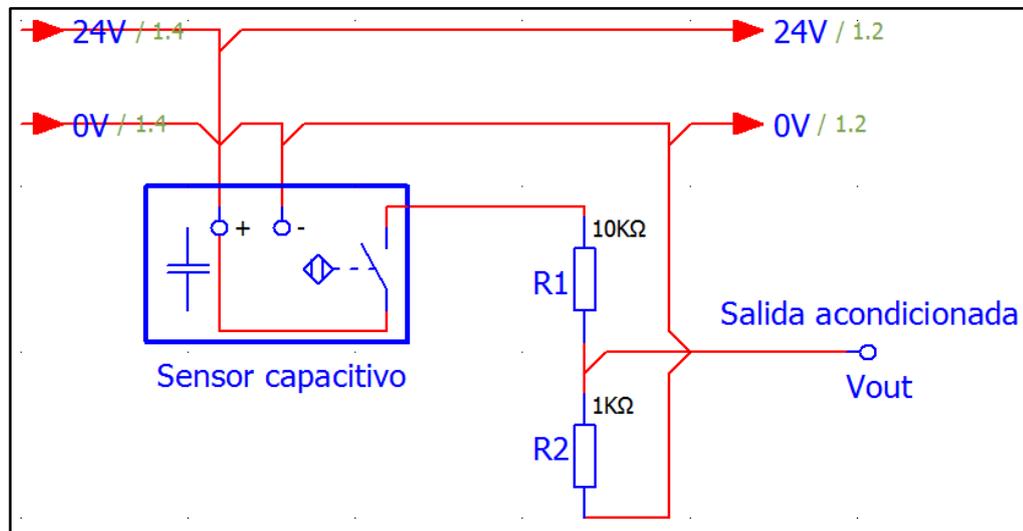


Figura 2.19.- Acondicionamiento de señal de un sensor digital.

Se comprueba el voltaje de salida mediante la ecuación (1).

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in} \quad (2.1)$$

$$V_{out} = \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 10k\Omega} * 24 = 2.18 \text{ V.c.d.}$$

En condiciones normales se tiene un voltaje de salida de 2.18 c.d. pero si se alimenta al sensor con su voltaje máximo de alimentación que según la hoja de datos es de 36 Vc.d. se tiene lo siguiente:

$$V_{out} = \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 10k\Omega} * 36 = 3.27 \text{ V.c.d.}$$

Como se observa en el resultado al aplicar la ecuación (1) en condiciones máximas de alimentación del sensor, no se sobrepasa el voltaje permitido por la tarjeta FPGA.

4. Conectar el sensor capacitivo a la tarjeta FPGA.

Se utiliza el Conector P3 y según se observa en la hoja de características de la tarjeta en la Figura 2.20, el puerto que se utiliza es el Port 8/DIO0, ya que de esta manera el programa lo reconoce.

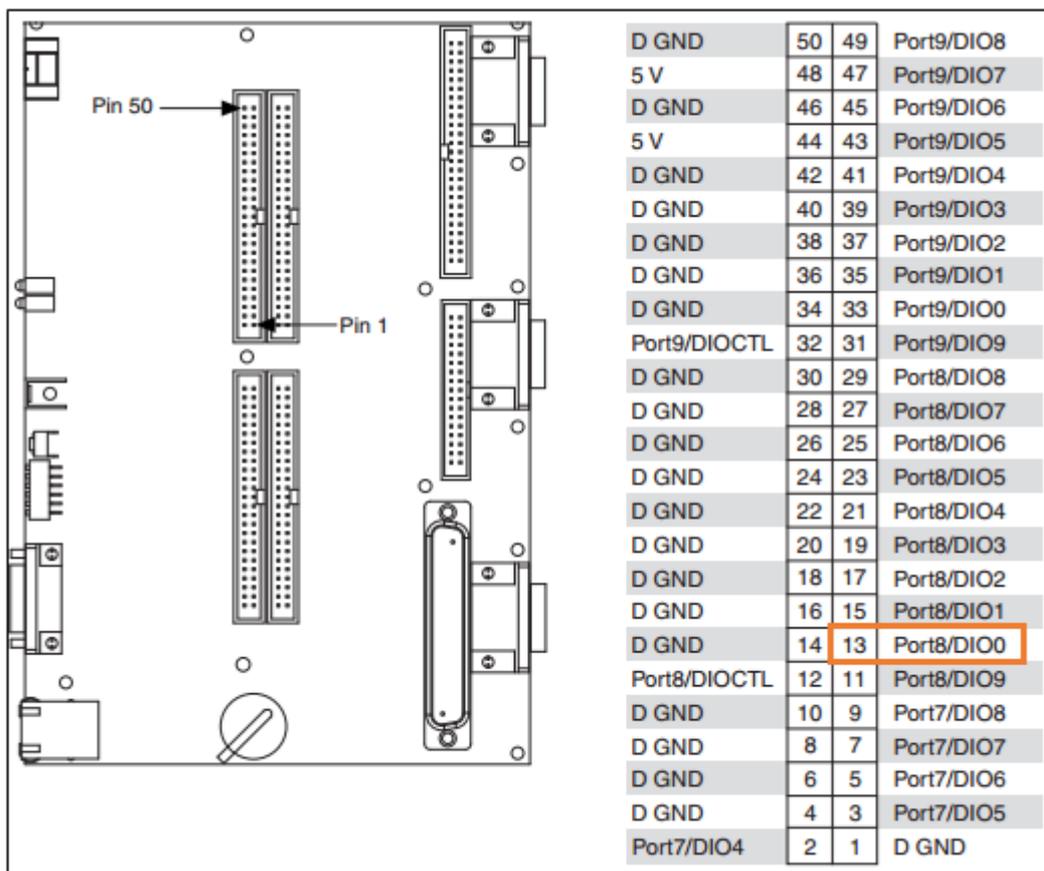


Figura 2.20.- Pines de conexión del conector P3.

Como se muestra en la Figura 2.20 se utiliza el pin 13 para obtener la señal de salida del sensor digital capacitivo.

5. Crear un proyecto en LabVIEW para adquisición de la señal del sensor

Se sigue los mismos pasos de la ejercicio 1 realizar la conexión de la tarjeta sb-rio con la computadora.

Una vez que se tenga listo el proyecto se procede a dar clic derecho sobre FPGA Tarjet y se selecciona la opción New/VI. Como se muestra en la Figura 2.21.

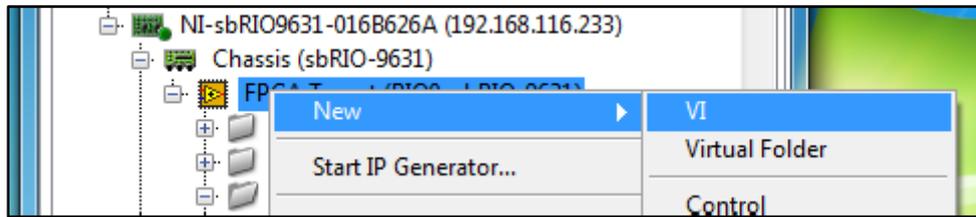


Figura 2.21.- Creación de un Instrumento Virtual en la tarjeta FPGA.

Se aparece 2 ventanas, una es el panel de control y la otra es el diagrama de bloques. En el panel de control se realiza la siguiente interfaz como se muestra en la Figura 2.22.



Figura 2.22.- Panel de control práctica2.

Los elementos que se observan en la Figura 2.22 se colocaron de la paleta de control la opción modern/decorations. Como se muestra en Figura 2.23.

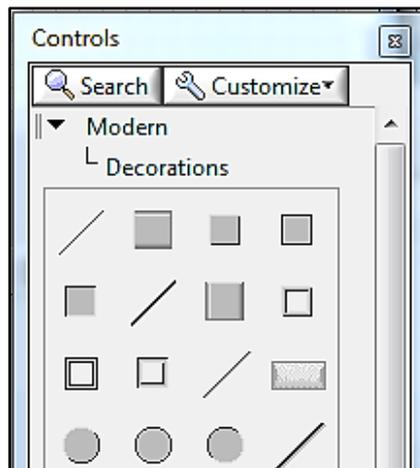


Figura 2.23.- Decoraciones en LabVIEW.

De la misma manera se procede para insertar las etiquetas de practica 2 y acondicionamiento de la señal de un sensor digital.

Para colocar el led indicador, en la paleta de control se elige la opción modern/ Boolean/ Round led como se observa en la Figura 2.24.

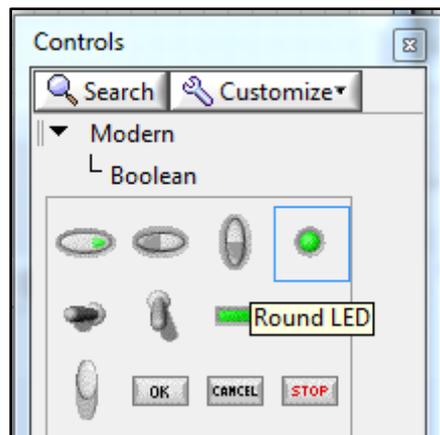


Figura 2.24.- Led redondo en LabVIEW.

La imagen del sensor capacitivo se inserta con Ctrl+v. En la Figura 2.25 se observa el diagrama de bloques y con más detalle se describe en la tabla 2.2 los pasos que se siguen para la creación de cada elemento.

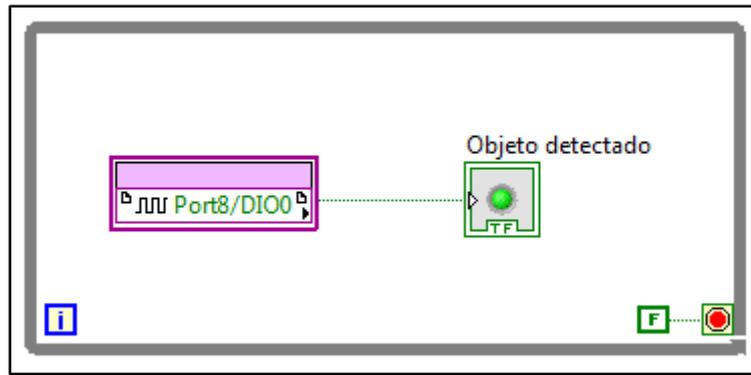


Figura 2.25.- diagrama de bloques de la práctica 2.

Tabla 2.2.- Descripción de los elementos utilizados en el diagrama de bloques.

Objeto	Detalle
While Loop	Paleta de funciones/ Programing/ Structures/ While loop
Port8/DIO0	Menu del proyecto/ NI-sbRIO9631/Chasis/ FPGA tarjet/ Port8

Se guarda el VI y se corre el programa en la opción run para este caso se elige la compilación local y se presiona ok y se espera unos minutos hasta que el programa se compile. Al acercar un objeto el led se enciende indicando que ha detectado un objeto el sensor capacitivo como se puede observar en la Figura 2.27.



Figura 2.27.- VI de la practica 2 en ejecución.

2.3 EJERCICIO #3 (MANIPULACIÓN DE UN DISPLAY)

OBJETIVOS:

General

- Manipular un display LCD con la tarjeta sb-rio 9631

Específicos

- Realizar un circuito para conectar el LCD a la tarjeta sb-rio
- Realizar un proyecto en LabVIEW para enviar datos al LCD.

Materiales

- Software
 - NI LabVIEW.
 - NI LabVIEW FPGA.
 - NI LabVIEW Real-Time.
 - NI-RIO.
- Hardware
 - Sb-RIO.

PROCEDIMIENTO

1. Definir los pines digitales a utilizarse de la tarjeta sb-rio. Se utiliza en el conector P4 para la conexión del LCD como se muestra en la figura 2.28.

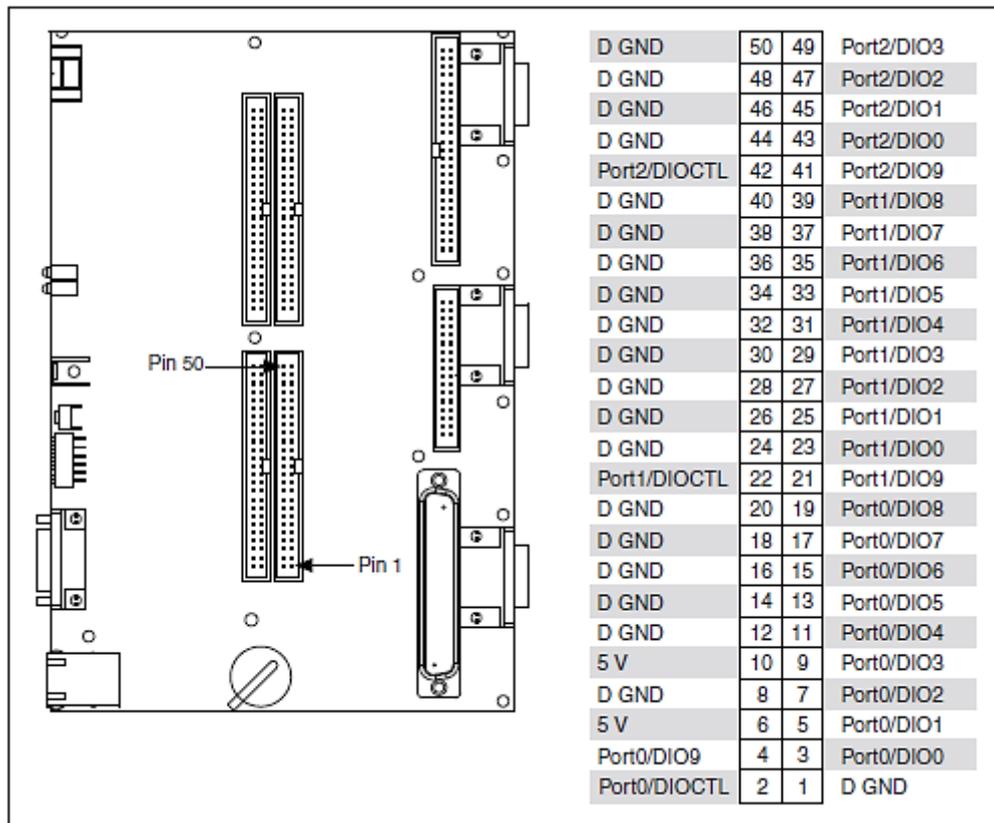


Figura 2.28.- Conector P4 de la tarjeta sb-rio 9631.

Se utiliza los siguientes pines del conector P4 como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3.- Descripción de los pines utilizados de la tarjeta sb-rio para el LCD.

Pines Sb-rio	LCD
Port0/DIO0	RS
Port0/DIO1	RW
Port0/DIO2	E
Port0/DIO3	DB4
Port0/DIO4	DB5
Port0/DIO5	DB6
Port0/DIO6	DB7

Ahora, se realiza el circuito que se muestra en la figura 2.29.

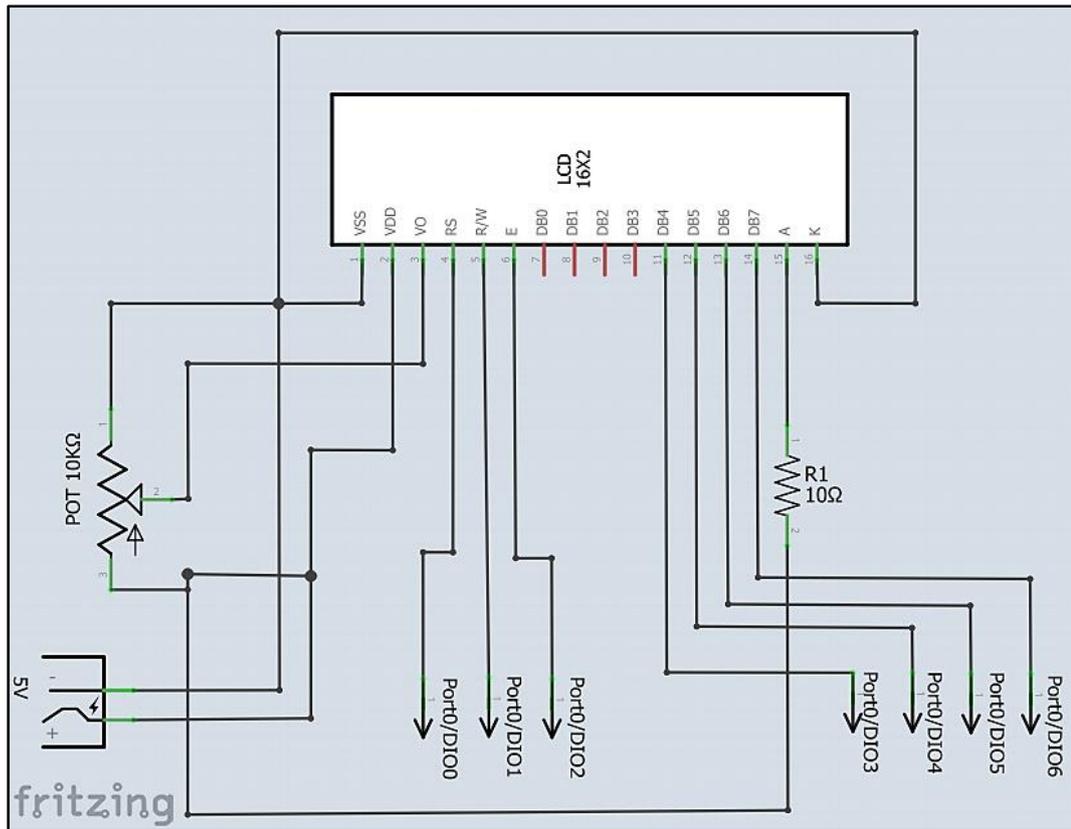


Figura 2.29.- Conector P4 de la tarjeta sb-rio 9631.

2. Crear un proyecto en LabVIEW para el manejo del LCD.

Se sigue los pasos de la práctica 1 para realizar la conexión de la tarjeta sb-rio con la computadora.

Una vez que se tenga listo el proyecto se procede a dar clic derecho sobre FPGA Tarjet y se selecciona la opción New/VI. Como se muestra en la figura 2.30.

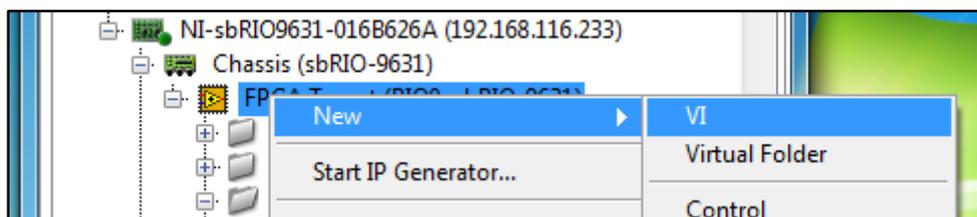


Figura 2.30.- Creación de un Instrumento Virtual en la tarjeta FPGA.

Se procede a realizar el siguiente diagrama de bloques que se muestra en la figura 2.31.

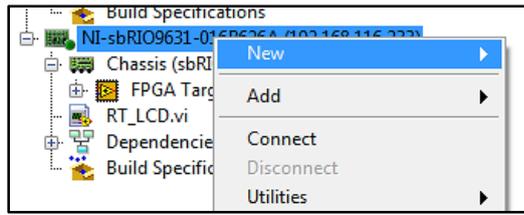


Figura 2.33.- Creación de un VI en el Real Time de la tarjeta Sb-rio 9631.

Una vez creado el VI se realiza el diagrama que se muestra en la figura 2.34.

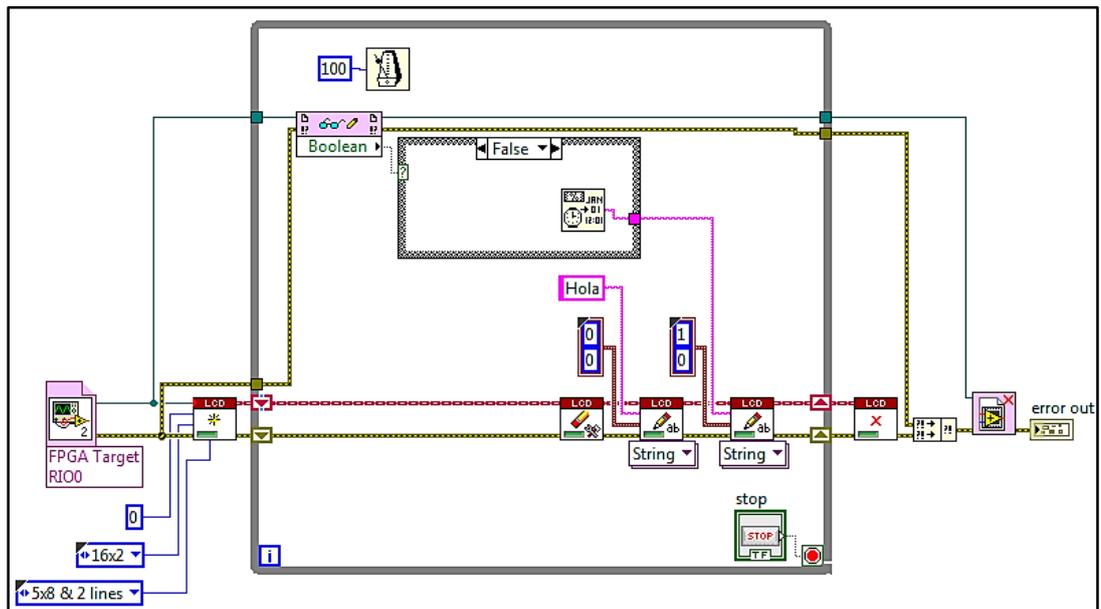
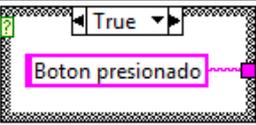


Figura 2.34.- Diagrama de bloques del RT_LCD.

En la tabla 2.4 se indica los pasos para la creación de cada uno de los componentes del diagrama de bloques.

Tabla 2.4.- Descripción de los VI utilizados en el diagrama de bloques.

Icono	Detalle
	FPGA interface/ open Vi reference/ doble clic sobre el VI/ seleccionar VI/ elegir fpga_vi
	Conectivity/ LCD/ Hitachi HD 44780/ Initialize
	FPGA interface/ read write control/ seleccionar el control boolean del vi de la fpga(para que aparezca tiene que ser cableado el fpga vi reference in)/ la salida del control Boolean a la entrada del case
	Programing/ Structures/ Case structures/ Por el caso verdadero, al presionar un botón aparecerá ese texto en el LCD, por el caso verdadero desplegará la fecha y hora.
	Conectivity/ LCD/ Hitachi HD 44780/ advanced/ Clear LCD
	Conectivity/ LCD/ Hitachi HD 44780/ output
	Conectivity/ LCD/ Hitachi HD 44780/ close
	Programing/ Dialog & User Interface/ Merge errors
	FPGA interface/ close Vi reference.

Para que funcione correctamente la aplicación en el Real Time primero tiene que compilarse el vi en la tarjeta FPGA. Finalmente se corre el programa en el Real Time de la tarjeta sb-rio y listo aparecerá hola en la primera fila y la fecha con la hora en la segunda.

2.4 EJERCICIO #4 (ADQUICISIÓN DE UNA SEÑAL ANALÓGICA Y HMI REMOTO UTILIZANDO DATA DASHBOARD)

OBJETIVOS:

General

- Visualizar datos analógicos de la tarjeta sb-rio en un dispositivo móvil.

Específicos

- Adquirir una señal analógica de un sensor para monóxido de carbono.
- Realizar el VI en la tarjeta FPGA.
- Realizar un VI en Real Time para adquisición y envío de datos continuos al dispositivo móvil

Materiales

- Software
- NI LabVIEW.
- NI LabVIEW FPGA.
- NI LabVIEW Real-Time.
- NI-RIO.

PROCEDIMIENTO

4. Definir los pines analógicos a utilizarse de la tarjeta sb-rio como se muestra en la figura 2.35.

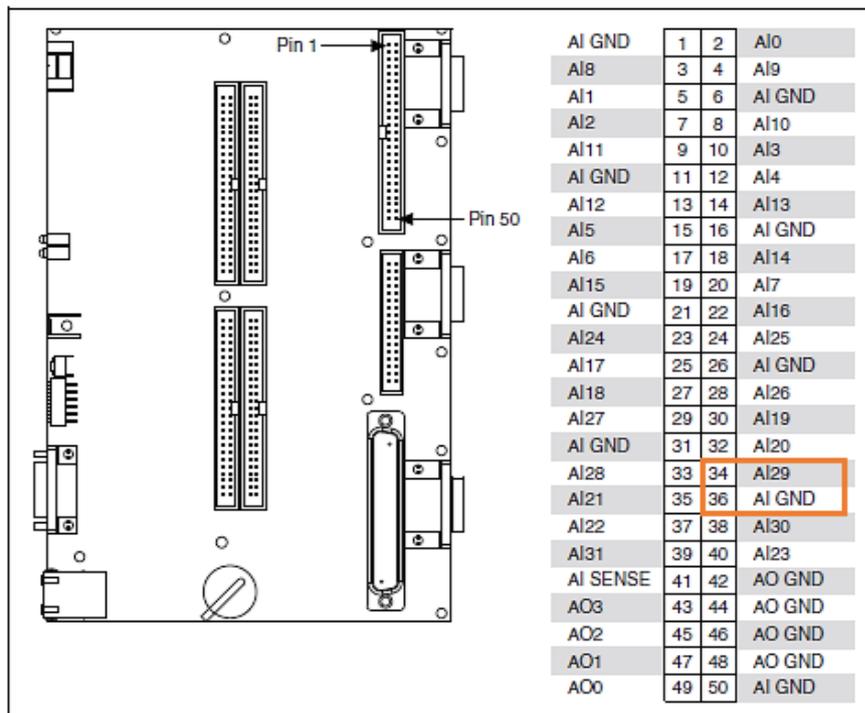


Figura 2.36.- Conector de entradas y salidas analógicas.

Para realizar esta práctica se un utiliza el sensor MQ7 que mide monóxido de carbono. En la figura 2.36 se muestra el circuito para su funcionamiento.

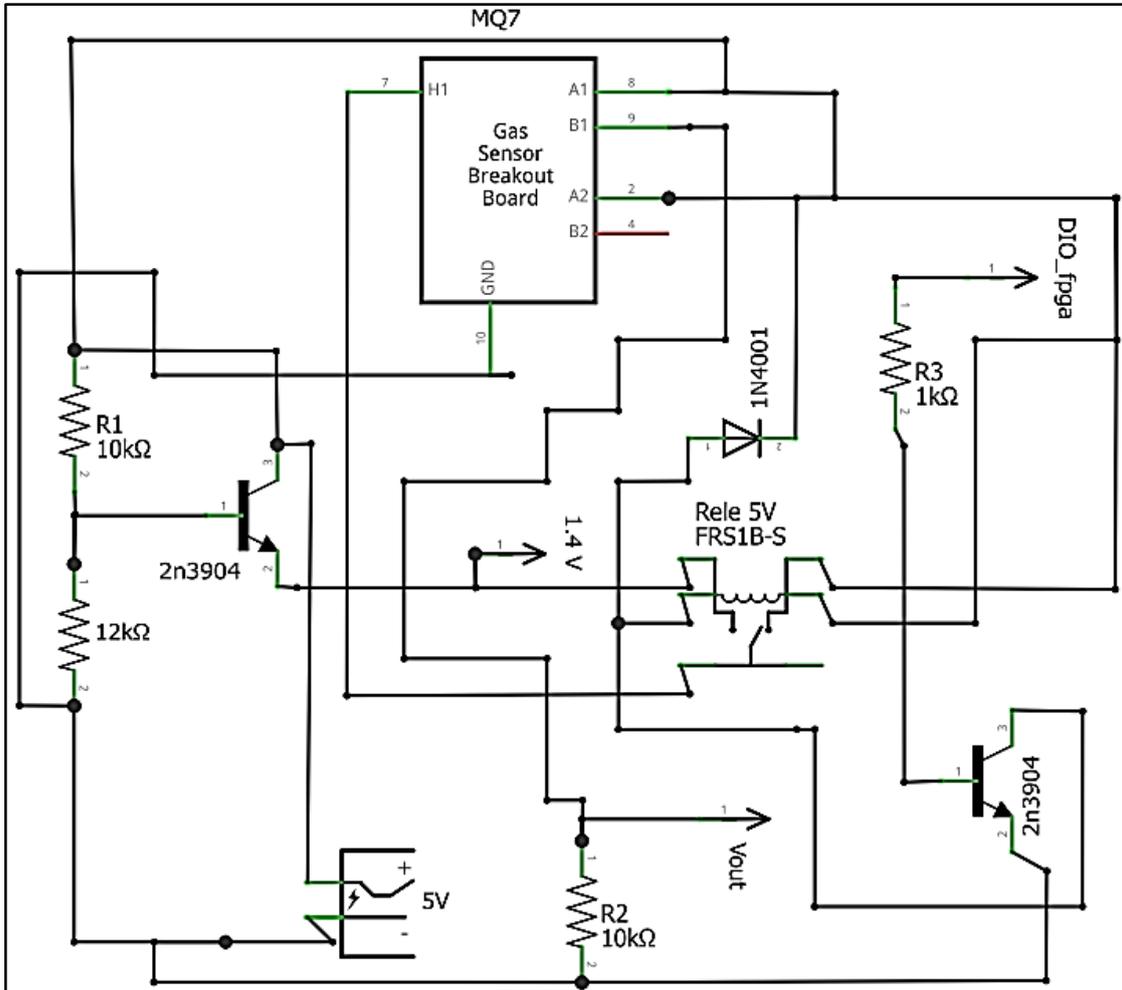


Figura 2.37.- Circuito de acondicionamiento para el sensor MQ7.

La ecuación (2) permite calcular el número de ppm de monóxido de carbono (CO) que se encuentra en el ambiente.

$$ppm = e^{\left[\frac{\ln\left(\frac{5-V_{out}}{V_{out}} \cdot \frac{10}{R_o+25,112}\right)}{-0,747} \right]} \quad (2.2)$$

R_o es un número de calibración que esta entre 2 y 20, al momento de calibrar el sensor con un equipo patrón se designa este valor que es igual a 10.

Ahora se procede a realizar una red entre la computadora y la tarjeta sb-rio por medio de un router en base al esquema que se muestra en la figura 2.38.

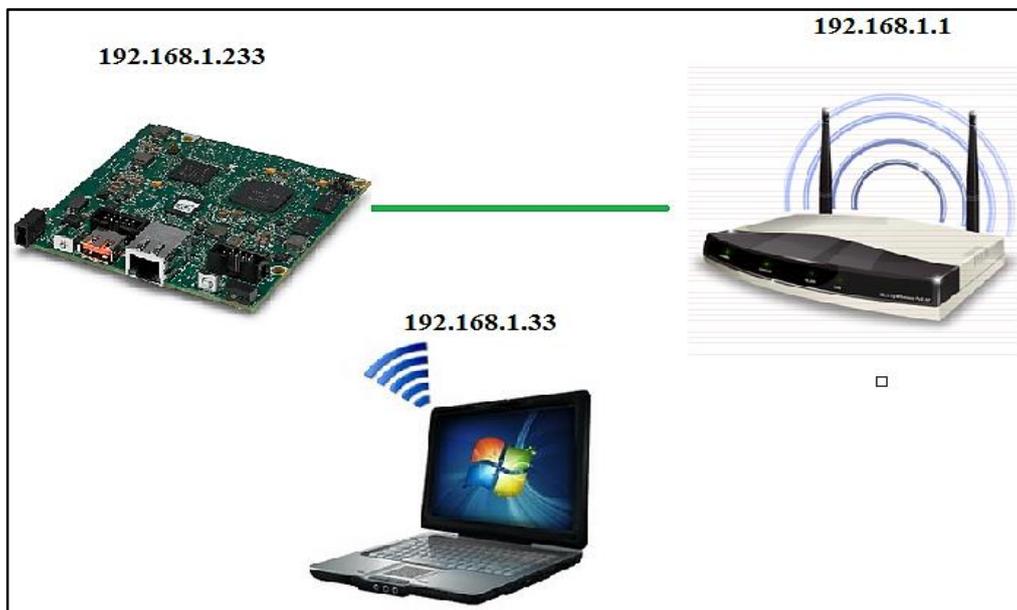


Figura 2.38.- Red entre la tarjeta sb-rio y la computadora por medio de un router.

Para verificar que se haya hecho la conexión correcta se abre el NI MAX de labview y se observa en remote systems que aparezca la tarjeta sb-rio. Como se muestra en la figura 2.39.

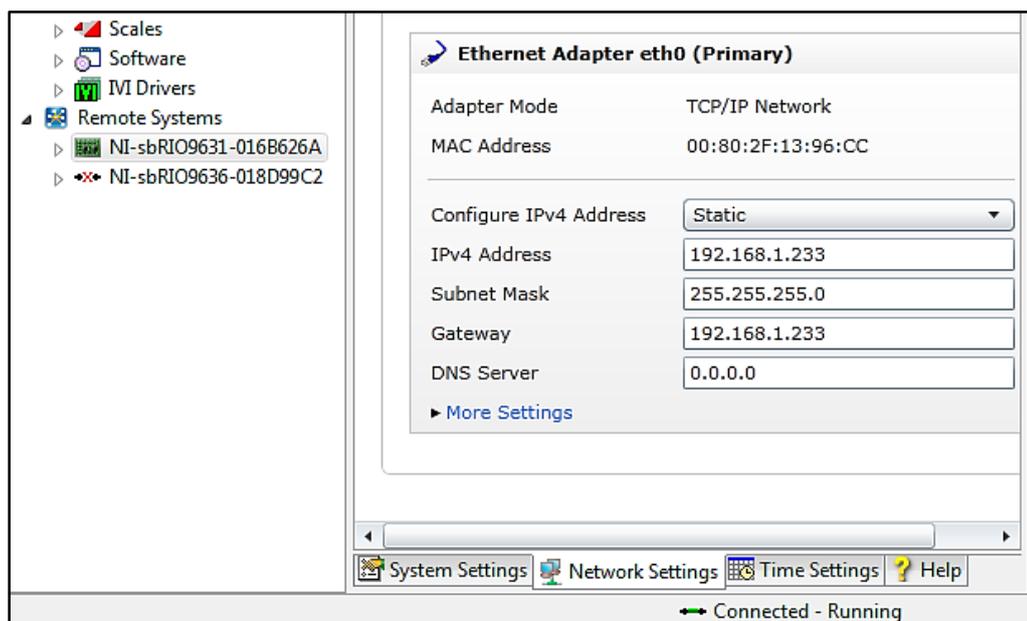


Figura 2.39.- Reconocimiento de la tarjeta sb-rio en el NI MAX.

5. Realizar un VI en la FPGA de la tarjeta sb-rio.
 En la figura 2.40 se muestra el VI que se debe cargar en la FPGA.

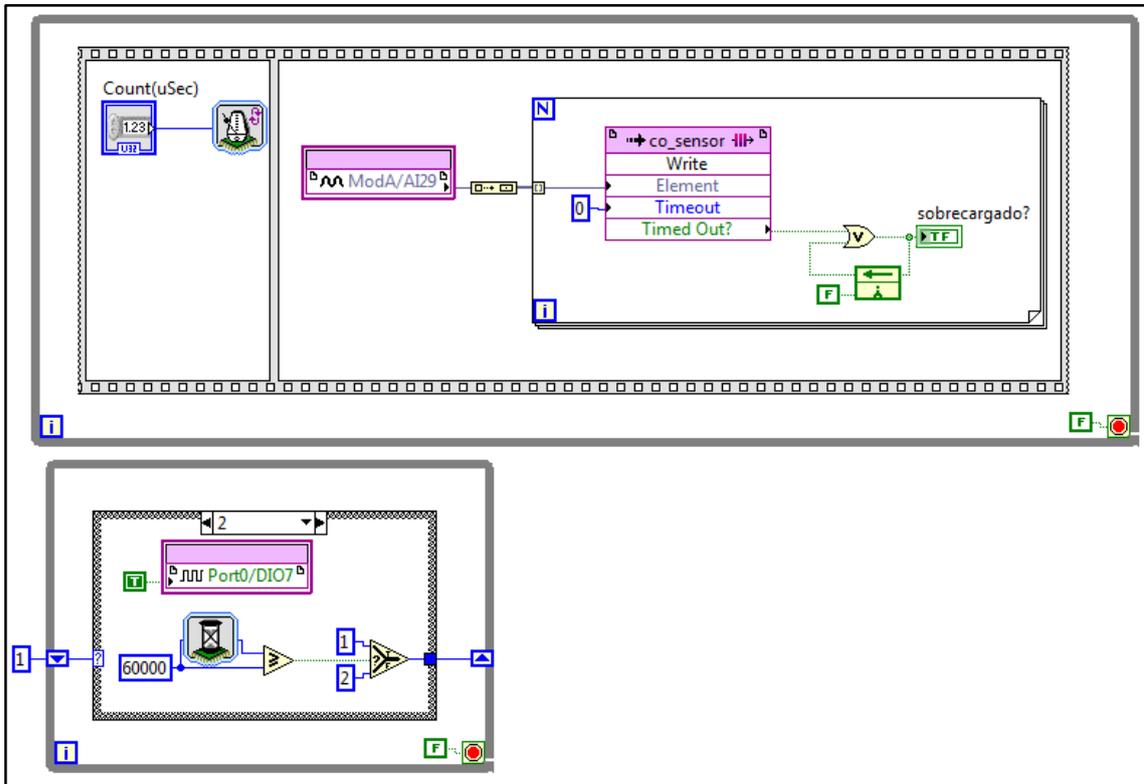


Figura 2.40.- VI de la FPGA.

En el primer ciclo while se crea una constante falso para la condición de stop, se coloca un flat sequence en el cual la primera parte controla la velocidad de adquisición de la variable que mide el sensor en la segunda parte se coloca el número del pin por el cual se adquiere la señal en este caso el pin 29.

Se coloca un build array ya que el método de adquisición de datos que se utiliza en esta práctica es el DMA FIFO que envía los datos adquiridos directamente al buffer de memoria de la tarjeta FPGA para que sea una adquisición de datos a alta velocidad, en la figura 2.40 se muestra un esquema cómo funciona la adquisición de datos por DMA FIFO.

Para crear el FIFO se dirige al proyecto se da clic derecho sobre FPGA tarjet/ New/ FIFO y aparece una ventana en la cual seleccionamos el tipo de FIFO para esta práctica es tarjet to host-DMA y el número de elementos requeridos es igual a 4095. En el tipo de

datos se selecciona FXP, Signed, la longitud de palabra de 26 bits y la longitud de palabra entera de 5 bits; de esta manera ya se encuentra configurado el DMA FIFO.

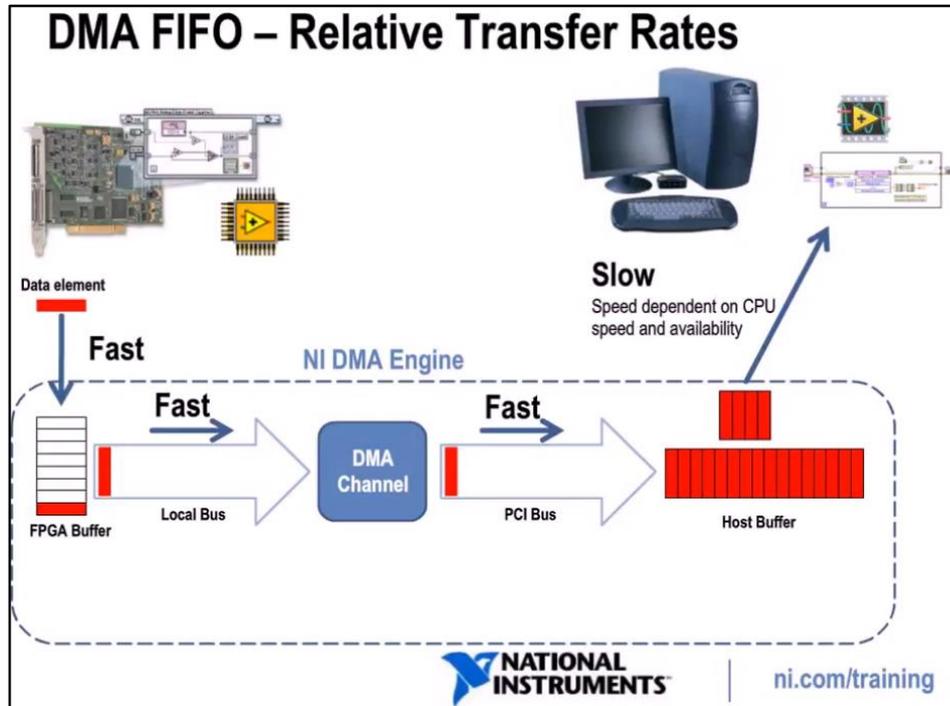


Figura 2.41.- Esquema de funcionamiento del DMA FIFO.

Es importante crear un indicador para asegurarnos de que el DMA FIFO no se sobrecargue ya que esto puede ocasionar pérdida de datos, como se muestra en la figura 2.40.

El indicador de sobrecarga de datos nos ayuda a escoger una velocidad de muestreo y un número de muestras idóneo para no sobrecargar la memoria de la tarjeta FPGA.

En el segundo while loop sirve para generar un pulso en alto y un pulso en bajo ya que mediante el datasheet del sensor MQ7 se observa que necesita un voltaje de calefactor alternado entre 1.4v y 5v en 90 y 60 segundos respectivamente.

Una vez que se tiene el VI completo se le ejecuta y se espera hasta que termine la compilación para proceder a realizar la programación en el procesador de la tarjeta sb-rio.

6. Realizar un VI en RT de la tarjeta sb-rio.

Primero se realiza una inicialización para poder utilizar los datos que la tarjeta FPGA adquiere como se muestra en la figura 2.42.

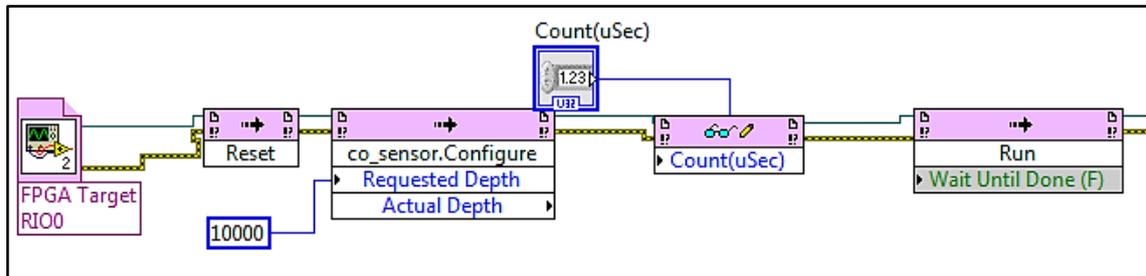


Figura 2.42.- Inicialización y configuración del VI en el RT.

En la paleta de FPGA interface se selecciona abrir una referencia en la cual al dar doble clic sobre el vi se abre una ventana en la que selecciona VI y buscamos FPGA_VI en el proyecto en el que se está trabajando. Se selecciona un invoke method en la misma paleta y se elige reset esto ayuda a que la memoria se vacía una vez que empieza la ejecución, eso evita que no haya problemas con el FIFO.

Se selecciona otro invoke method pero en este caso se selecciona el nombre el FIFO que se creó en la FPGA y la opción configura por defecto la profundidad requerida es de 10000 así que se crea una constante.

En la paleta de FPGA interface se selecciona read/write esta sirve para poder observar o controlar los indicadores o controles utilizados en la tarjeta FPGA.

Por último se pone coloca un invoke method RUN para que exista comunicación entre el RT y la FPGA.

La segunda parte del VI se muestra en la figura 2.43.

Primeramente se utiliza un ciclo while en el cual se empieza leyendo datos del FIFO pero se crea una constante de cero en el número de elementos para que únicamente cuando existan datos se ejecute el método. Eso se lo realiza mediante el case structure en caso de que sea verdadero lee los valores que se desee para lo

cual se utiliza un control numérico. En el caso de falso espera 1 ms para recibir los datos. Una vez que recibe los datos se transforman a dbl ya que los datos recibidos son de tipo fxp, como son datos indexados vienen en forma de array entonces se extrae el dato que llega para ingresarlo en la formula node y aquí esta a ecuación que permite calcular el número de ppm en función del Vout del sensor.

Finalmente para enviar a la red la variable se crea una variable compartida, para realizar esto se dirige a sbrio y se da clic derecho, new, variable y se selecciona de tipo double; y se cierra la referencia de la tarjeta FPGA en FPGA interface la opción close.

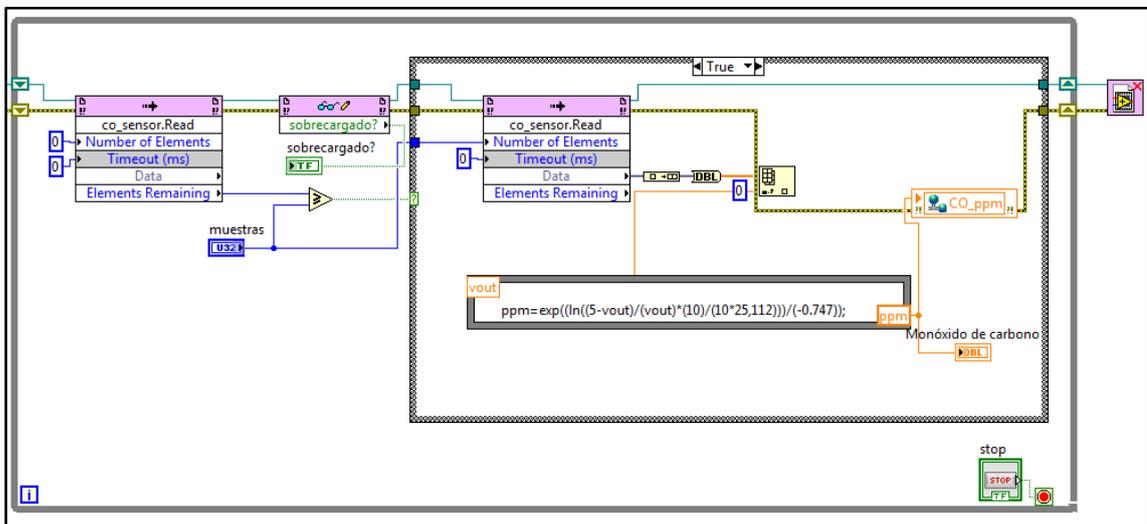


Figura 2.43.- Continuación del VI del RT.

7. Conectar el dispositivo móvil.

Para esta práctica se utiliza un IPAD con la aplicación DATA DASHBOARD desarrollada por National Instruments, esta opción permite visualizar variables compartidas en la red.

Primero el dispositivo móvil tiene que unirse a la red por medio del wireless, una vez en la red se ejecuta la aplicación DASHBOARD, en la aplicación se ubica un indicador tipo chart como se muestra en la figura 2.44.

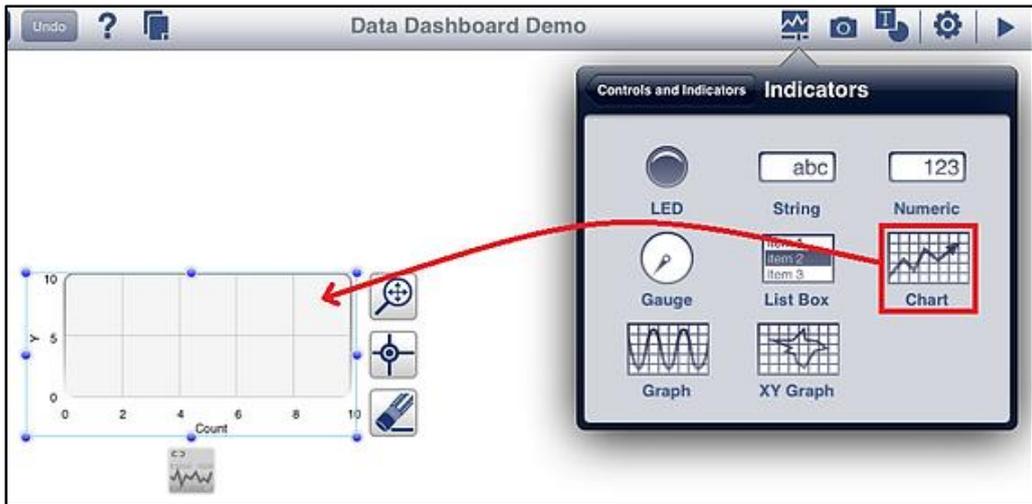


Figura 2.44.- Creación de un chart en la aplicación DATA DASHBOARD.

En el icono data link se realiza la conexión de la variable con el dispositivo que despliega las variables en la red como se muestra en la figura 2.45.

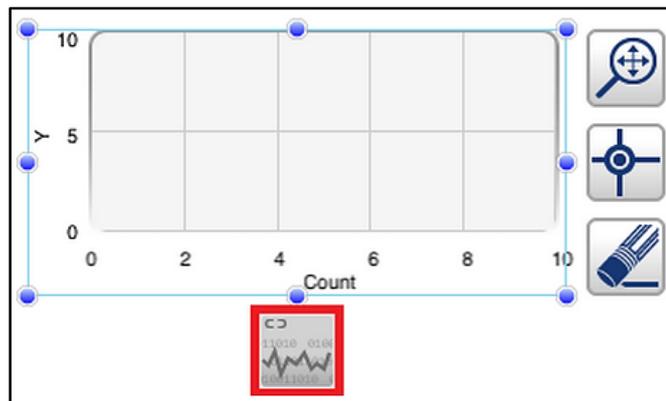


Figura 2.45.- Icono data link del chart.

Aparecerá una pantalla en donde se ingresa el IP de la tarjeta sb-rio en este caso 192.168.1.233 y se presiona el botón conect. Y seleccionamos la variable co_ppm. En la figura 2.46 se muestra el resultado de la adquisición de datos por medio de la aplicación DATA DASHBOARD.

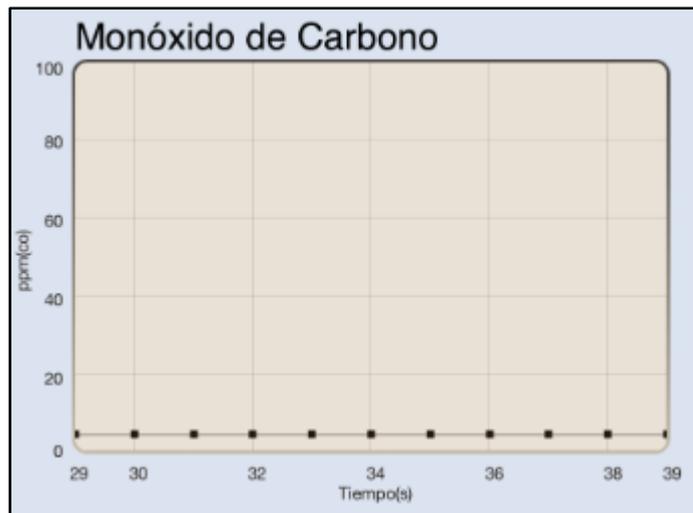


Figura 2.46.- Visualización de la variable compartida `co_ppm`.

2.5 EJERCICIO #5 (REPORTE TÉCNICO DE DATOS ALMACENADOS EN LA TARJETA SB-RIO)

OBJETIVOS:

General

- Generar un reporte técnico de los datos almacenados en la memoria no volátil de la tarjeta sb-RIO.

Específicos

- Adquirir una señal analógica de un micrófono.
- Realizar el VI en la tarjeta FPGA para adquisición de datos.
- Realizar un VI en Real Time para la manipulación y almacenamiento de datos del micrófono.
- Generación del reporte técnico mediante DIAdem.

MATERIALES

- Hardware
 - Sb-rio 9631.
 - Computador.
- Software
 - NI LabVIEW.
 - NI LabVIEW FPGA.
 - NI LabVIEW Real-Time.
 - NI-RIO.
 - DIAdem.
- Otros
 - Cable Ethernet.

PROCEDIMIENTO

1. Acondicionar la señal del sensor

Par esta práctica se utiliza el micrófono G.R.A.S. 40 ph adquirido por la empresa National Instruments. Sus características más importantes se las muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5.- Características del micrófono.

Características del micrófono GRAS 40 ph		
	Rango	(32 a 135) dbA
	Respuesta en frecuencia	± 2db en (5 a 20) khz
	Sensibilidad	50 mV/Pa
	T. de operación	(-10 a 50) °C
	Rango de frecuencia	5 Hz a 20 Khz

National Instruments proporciona toolkits específicos para manejar los dispositivos que ofrece, para el caso del micrófono 40 ph es el NI Sound & Vibration.

El dato más importante que se extrae de la tabla 2.5 que muestra las características del micrófono es el de su sensibilidad que es igual a 50 mV/Pa. Este dato es necesario cuando se utiliza en toolkit NI Sound & Vibration para interpretación de las señales del sensor.

En la figura 2.46 se observa un esquema de la conexión del micrófono en donde el micrófono se conecta a un cable coaxial que conecta al módulo de la serie C NI 9234, éste módulo se conecta a cualesquiera de los 3 slots para módulos C de la tarjeta sb-RIO.

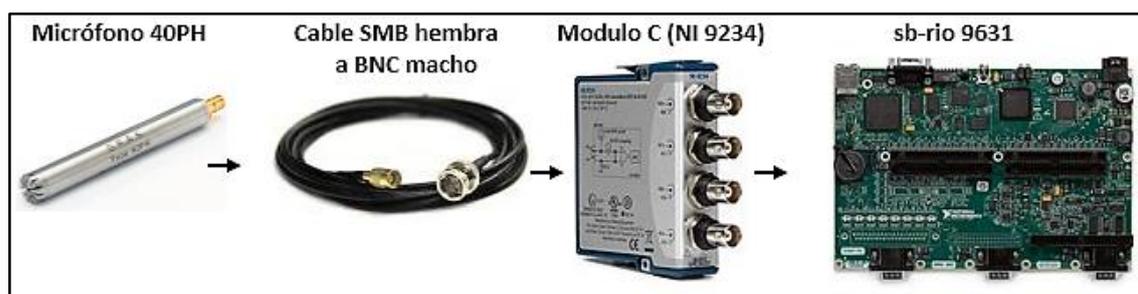


Figura 2.46.- Esquema de conexión del micrófono 40PH.

Se revisa el datasheet del módulo de la serie C NI 9234 y se muestra las siguientes características en la tabla 2.6.

Tabla 2.6.- Especificaciones del módulo de la serie C NI 9235.

Ítem	Detalle
Número de canales	4
Resolución del ADC	24 bits
Velocidad de muestreo	51.2 Ks/s
Máximo voltaje de entrada analógica	5V
Muestreo simultaneo	Si
Impedancia de entrada	305 KΩ
Excitación de	2 mA

corriente	
Temperatura de operación	(-40 a 70) °C

2. Realizar el VI en la FPGA para adquisición de datos del micrófono.

Se realiza los pasos básicos descritos en la práctica 1 para la conexión de la tarjeta sb-RIO con la computadora. Una vez creado el proyecto se procede configurar el módulo de la serie C NI 9234 el cual es reconocido automáticamente cuando se crea el proyecto. En la figura 2.47 se muestra el proyecto en donde se reconoce el modulo C por el Slot1, se configura al dar clic derecho sobre mod1/ properties.

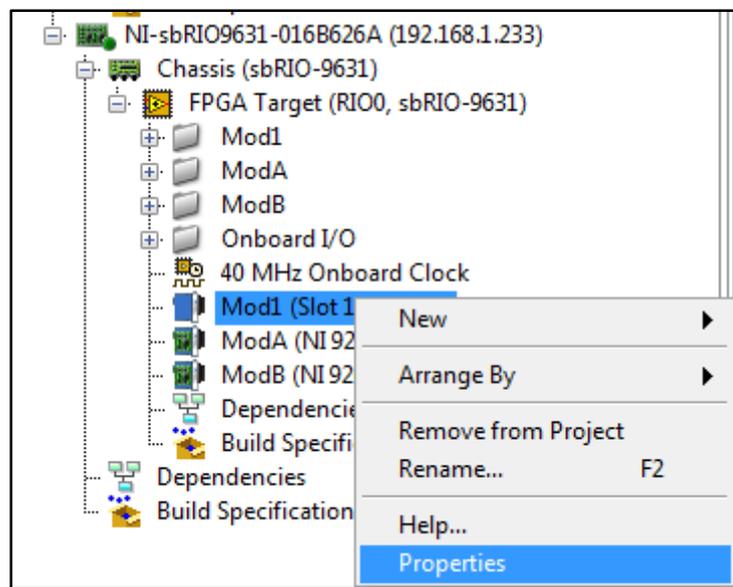


Figura 2.47.- Árbol del proyecto.

Aparece una ventana como la que se muestra en la figura 2.48 en donde se configura el tipo de alimentación del sensor, en este caso como el micrófono tiene un principio de transducción piezoeléctrico el tipo de alimentación es IEPE (Integrated Electronic Piezo Electric), también se muestra la velocidad de muestreo de los datos pero este parámetro se lo configurará mediante

programación.

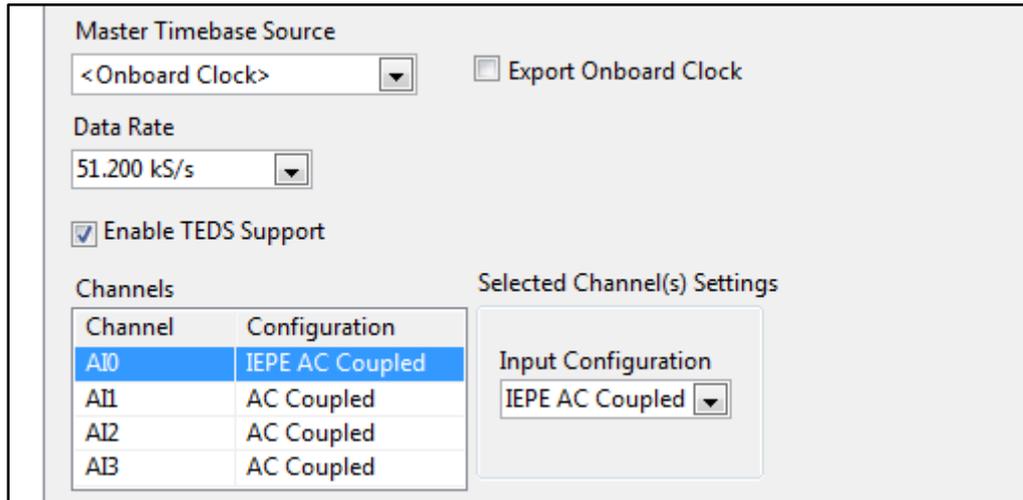


Figura 2.48.- Configuración del módulo de la seri C(NI 9234)

Posteriormente, se realiza el VI en la FPGA el cual se muestra en la figura 2.49

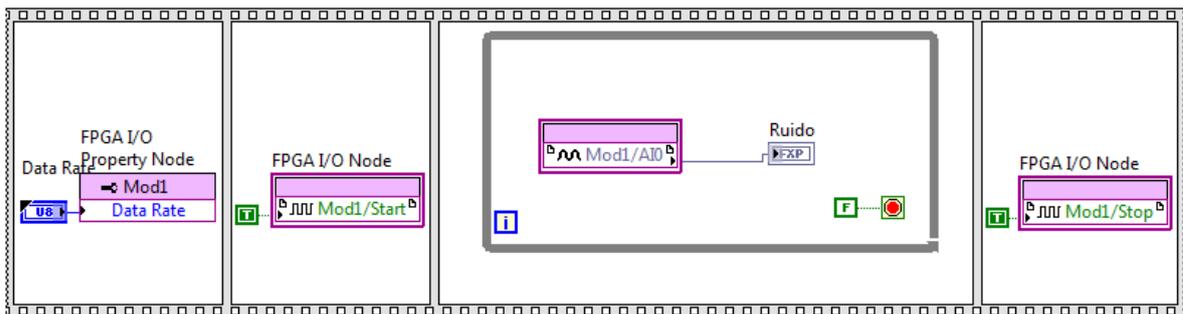


Figura 2.49.- Programación del VI en la FPGA.

Se utiliza un flat sequence para la configuración inicial del módulo NI 9234 con respecto a la velocidad de muestreo, la función FPGA I/O para seleccionar el Mod1/start de esta manera el módulo comienza a adquirir datos, posteriormente ingresa en un ciclo while para que la ejecución del programa sea continuamente, y finalmente cuando se aborta la ejecución del programa se envía una constante de verdadero al mod1/Stop para detener la adquisición de datos por el módulo. Se guarda el VI y se compila.

3. Realizar un VI en el Real Time de la tarjeta sb-RIO.

En esta práctica se pretende medir el ruido en unidades de decibelios tipo A que es el tipo de medida que el sonómetro indica para lo cual se utiliza los toolkits de NI sound and vibrations, el VI que se

realiza en el RT se muestra en la figura 2.50 la primera parte y en la figura 2.51 la segunda parte.

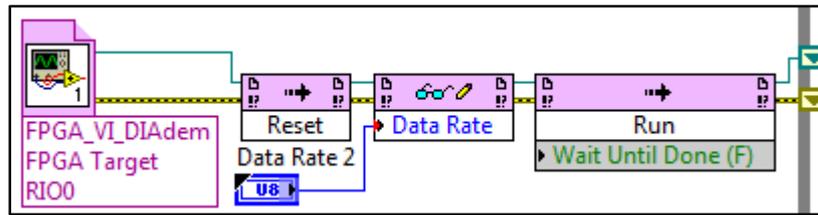


Figura 2.50.- Programación del RT parte 1

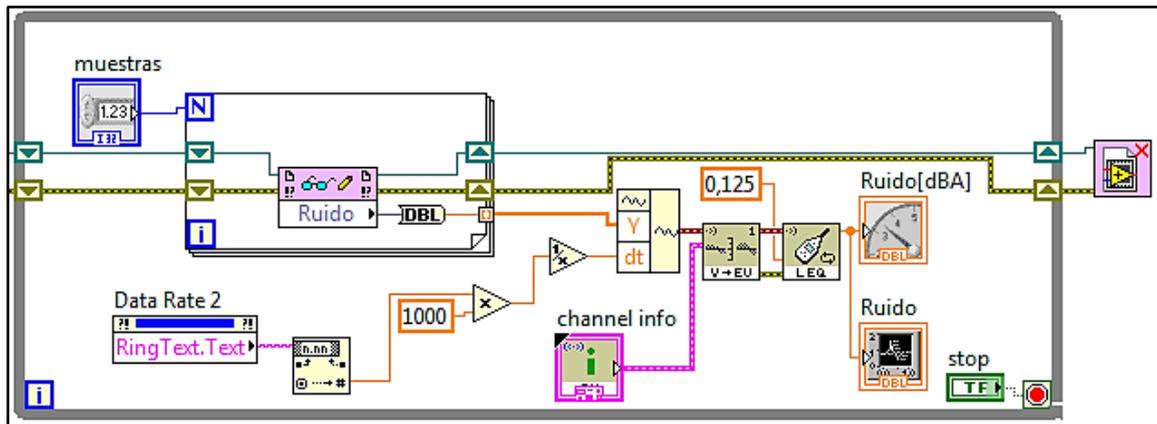


Figura 2.51.- Programación del RT parte 2

Como se describe en prácticas anteriores, se abre una referencia al VI de la FPGA, la función reset ayuda a que si se aborta la ejecución o se detiene el VI por algún error la tarjeta sb-RIO se resetea a sus estados iniciales. Se utiliza una función for para generar un arreglo de los datos adquiridos por el sensor.

Para acondicionar la señal del micrófono se utiliza la función "SVL scale voltage to EU" como se muestra en la figura 2.52 está función permite transformar las señales de voltaje por el micrófono a dB(A) ingresando datos por el "channel info"

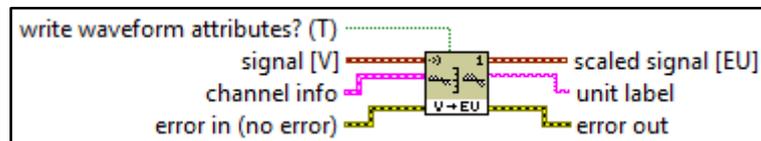


Figura 2.52.- Función SVL scale voltage to EU

La función "SVL scale voltage to EU" se encuentra en Sound and vibration/ Scaling and calibration.

La Señal del micrófono ingresa por signal, en el canal de información se ingresan los datos que se muestran en la figura 2.53.

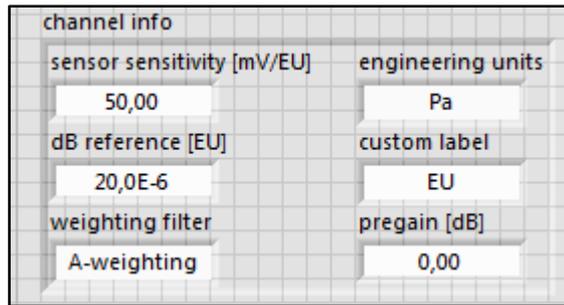


Figura 2.53.- Parámetros para el acondicionamiento de la señal del sensor

En base al datasheet del micrófono se obtiene el dato de sensibilidad. Además se selecciona el filtro de ponderación tipo A.

Una vez que la señal ya está escalada se utiliza las VI para obtener los niveles de ruido que se muestra en la siguiente figura 2.55.

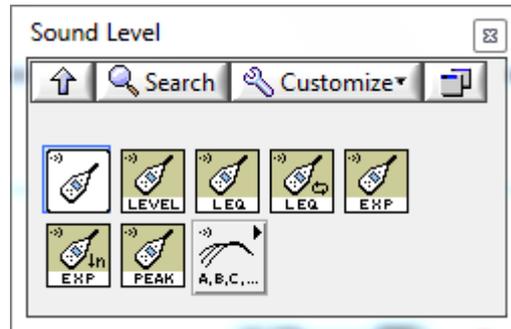


Figura 2.54.- VIs para mediciones de ruido.

El panel frontal del VI del RT se muestra en la figura 55

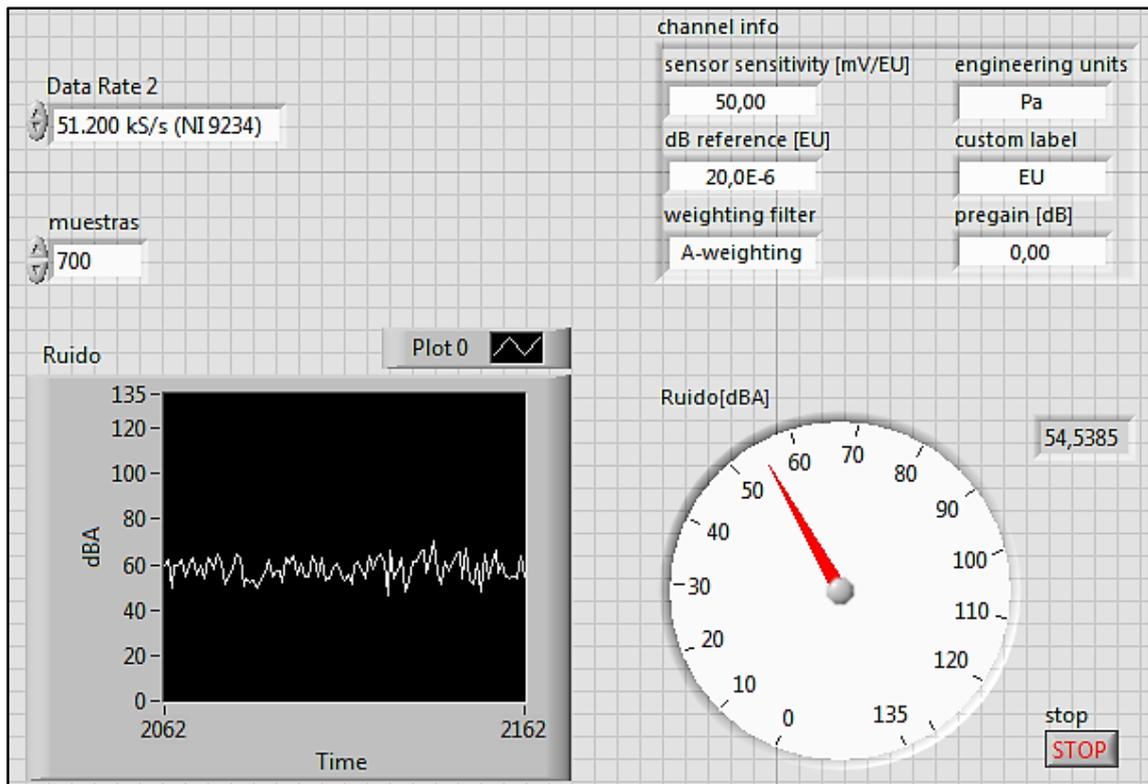


Figura 2.55.- Panel frontal del VI del RT.

En el VI mostrado anterior se obtiene la señal del micrófono, ahora para guardar los datos en la tarjeta sb-RIO se utilizan los siguientes Vis que se muestran en la figura 2.56.

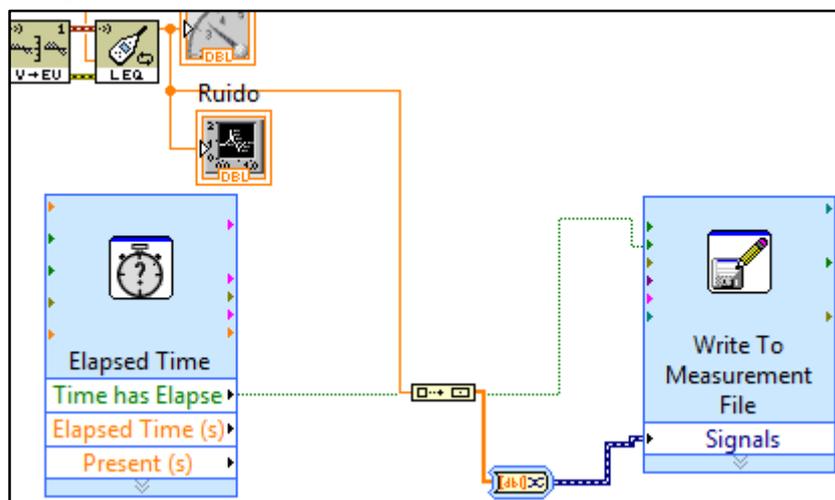


Figura 2.56.- VIs para almacenamiento de datos.

El VI "Elapsed Time" sirve para generar un pulso de activación en el enable del VI "Write To Measurement File" de esta manera se guardan los datos cada segundo.

Se tiene que configurar el VI "Write To Measurement File" al dar doble clic sobre el VI, en la figura 2.57 se muestra las opciones de configuración del VI para

almacenar los datos, en donde la dirección del archivo para almacenar el archivo se encuentra al abrir el MAX (Measurement Automation Explorer) clic derecho sobre la tarjeta sb-RIO y se elige la opción "File Transfer" y se copia la dirección del explorador de Windows y se la pega en el Filename del VI.

The image shows the configuration window for the 'Write To Measurement File' VI. It is divided into several sections:

- Filename:** A text box containing 'ftp://ruido.lvm' and a folder icon button.
- Action:** Radio buttons for 'Save to one file' (selected), 'Save to series of files (multiple files)', and 'Ask user to choose file'. Under 'Ask user to choose file', there are radio buttons for 'Ask only once' (selected) and 'Ask each iteration'. A 'Settings...' button is located below this section.
- If a file already exists:** Radio buttons for 'Rename existing file', 'Use next available filename', 'Append to file' (selected), and 'Overwrite file'.
- File Format:** Radio buttons for 'Text (LVM)' (selected), 'Binary (TDMS)', 'Binary with XML Header (TDM)', and 'Microsoft Excel (.xlsx)'. A checked checkbox for 'Lock file for faster access' is also present.
- Segment Headers:** Radio buttons for 'One header per segment', 'One header only' (selected), and 'No headers'.
- X Value (Time) Columns:** Radio buttons for 'One column per channel', 'One column only' (selected), and 'Empty time column'.
- Delimiter:** Radio buttons for 'Tabulator' (selected) and 'Comma'.
- File Description:** A text box at the bottom of the window.

Figura 2.57.- Configuración del VI "Write To Measurement File".

Con estas modificaciones del VI del RT ya se puede almacenar los datos en la tarjeta sb-RIO.

Se ejecuta el programa por un instante y posteriormente se dirige a buscar el archivo generado que tiene extensión .lvm.

Como se muestra en la figura 2.58 el archivo con el nombre de ruido tiene la extensión .lvm, este archivo se lo copia a otra dirección y posteriormente se abre el programa DIAdem.

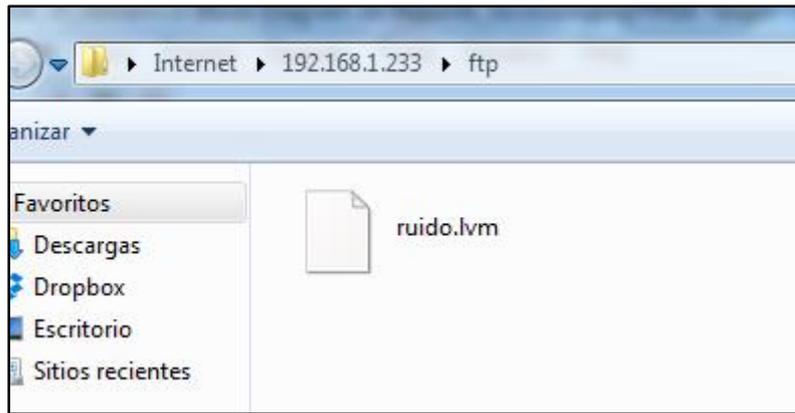


Figura 2.58.- Archivo almacenado en la tarjeta sb-RIO.

En la barra de opciones del DIAdem se elige File/ New y posteriormente se abre una archivo que para esta práctica se guarda el archivo en el escritorio y se abre de esa dirección también es importante seleccionar la extensión lvm para abrir el archivo.

Como se observa en la figura 2.59 el archivo está listo para utilizarse como vista de datos, análisis o generar reportes.

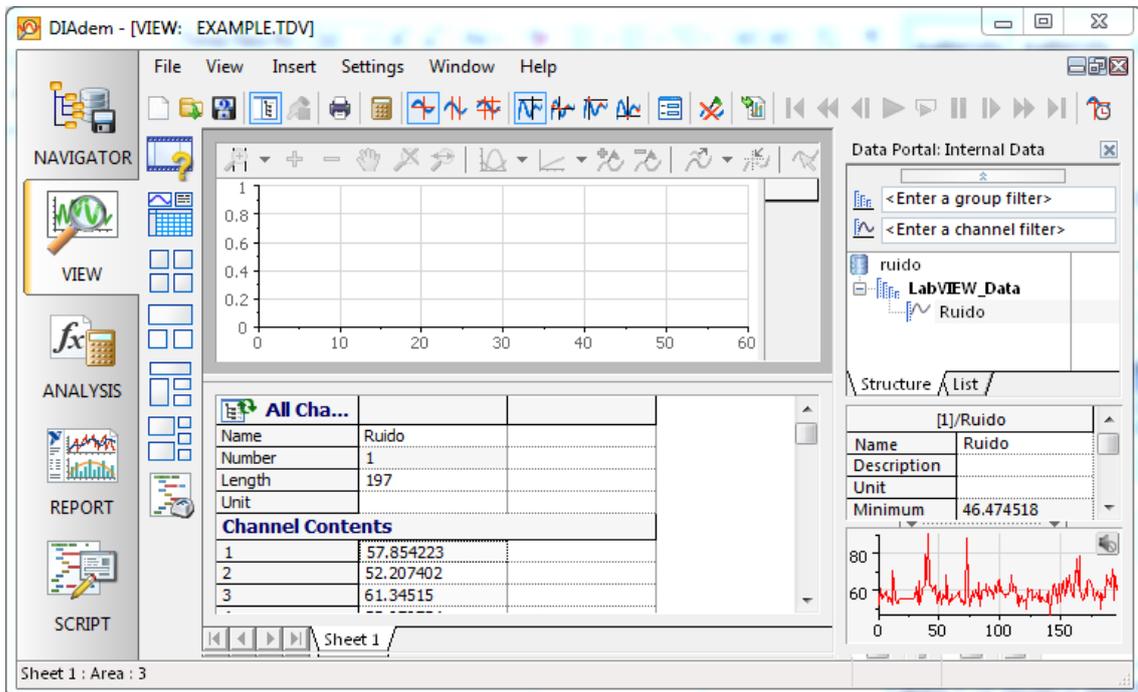


Figura 2.59.- Pantalla principal de DIAdem.

Debajo de la opción LabVIEW Data se encuentra el archivo Ruido ese archivo se lo arrastra en el eje que se muestra en la figura 2.59 y se observa los datos con más detalles, para generar el reporte, en la parte izquierda de la pantalla principal se encuentra la

opción report. En esta pantalla de la misma manera que para visualizar se arrastra el archivo ruido y se lo deja sobre el eje, finalmente se arregla la hoja del reporta según sus preferencias, para esta práctica se lo configura de la forma que se muestra en la figura 2.60.

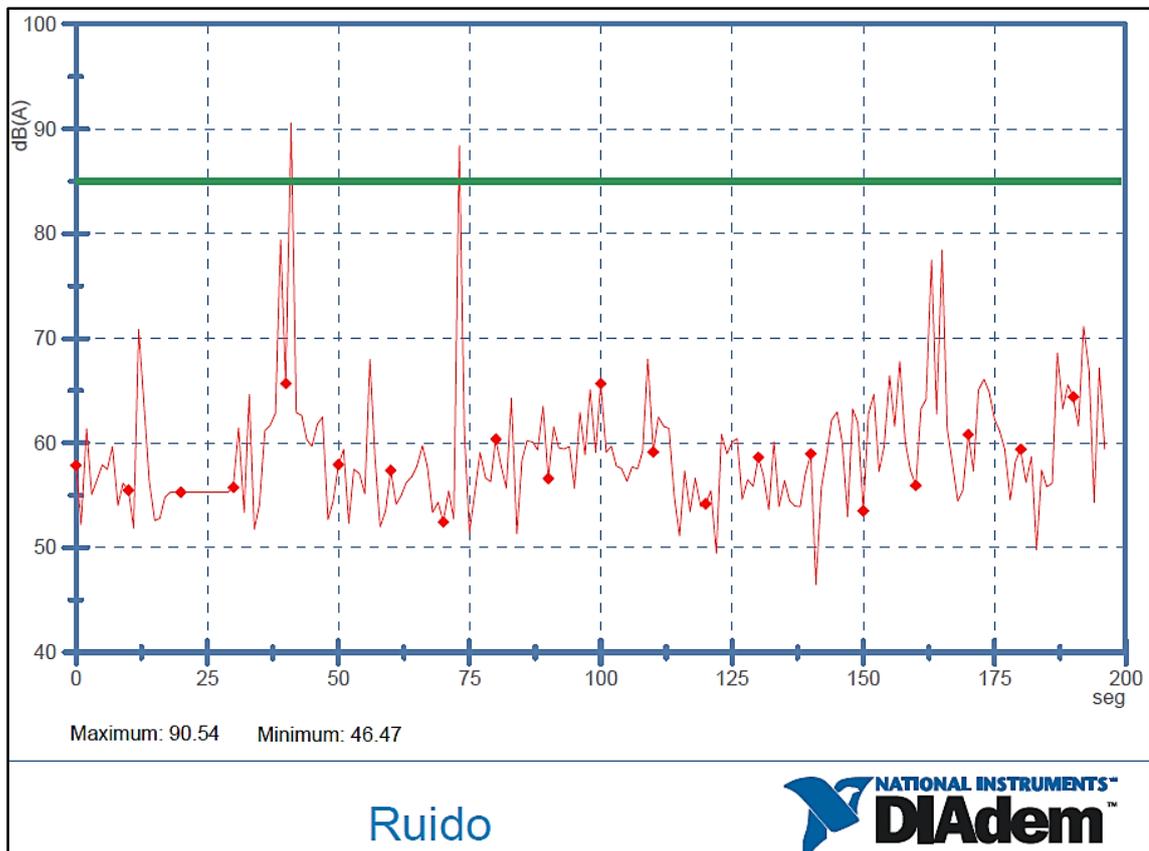


Figura 2.60.- configuración del reporte en DIAdem.

Finalmente en la opción file/ PDF export se genera el reporte en PDF.

2.6 EJERCICIO #6 (COMUNICACIÓN DE 2 TARJETAS SB-RIO MEDIANTE CABLE ETHERNET).

OBJETIVOS:

General

- Comunicar 2 Real Time tarjets mediante cable Ethernet.

Específicos

- Crear una red entre las 2 tarjetas sb-RIO y la computadora.
- Programar en LabVIEW Real Time para comunicación de datos entre tarjetas sb-RIO.

MATERIALES

- Hardware
 - sb-RIO 9631.
 - sb-RIO 9636.
 - Computador.
 - Router.
- Software
 - NI LabVIEW.
 - NI LabVIEW FPGA.
 - NI LabVIEW Real-Time.
 - NI-RIO.
 - DIAdem.
- Otros
 - Cable Ethernet.

PROCEDIMIENTO

4. Configuración de red

Se realiza la conexión mediante el esquema que se muestra en la figura 2.61. Una vez configurada la red se procede a crear un nuevo proyecto en el software labview. Para la creación del proyecto se realiza con los pasos descritos en la práctica 1, sin embargo, solo se muestra una tarjeta sb-RIO, para añadir otra tarjeta sb-RIO se da clic derecho sobre "Project: nombre del proyecto.lvproj", posteriormente se elige la opción New/ Tarjets and devices, se verifica que este marcada la opción "Discover an existing tarjet or device" en la casilla de verificación "Existing tarjet or device". En la ventana que aparece de tarjet and devices se busca la opción "Real Time Single-Board RIO" y se elige la tarjeta que no esté añadida en el

proyecto. Y se tiene el proyecto tal como se muestra en la figura 2.62 en donde se muestran las 2 tarjetas sb-RIO en un mismo proyecto.

Para esta práctica se utiliza un intercambio bidireccional de datos en que un caso la tarjeta sb-RIO recibe datos de la otra tarjeta y en el segundo caso recibe datos de la tarjeta sb-RIO 9636.

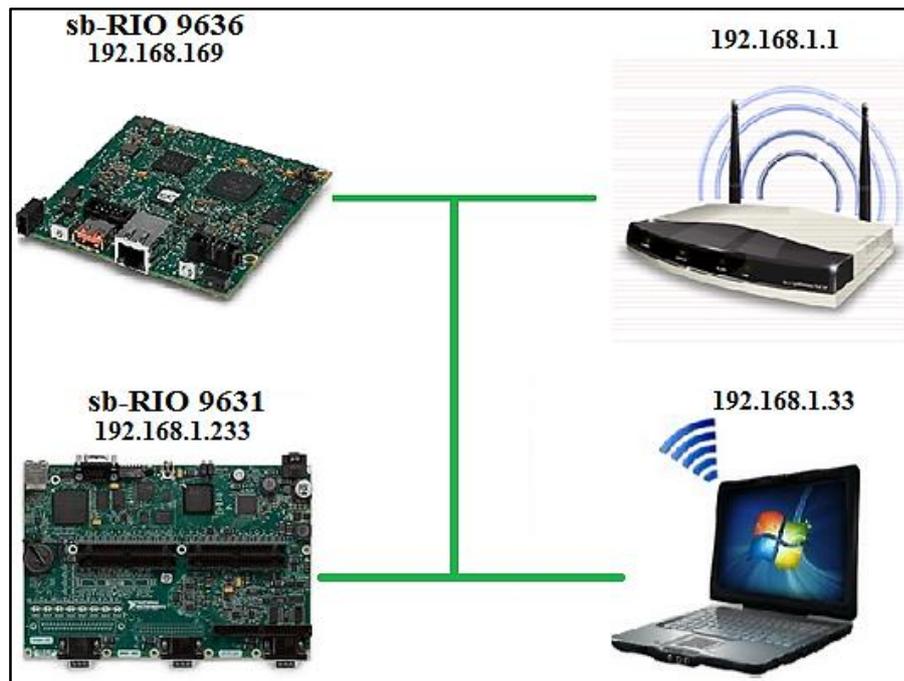


Figura 2.61.- Configuración de la red entre 2 tarjetas sb-RIO y computadora.

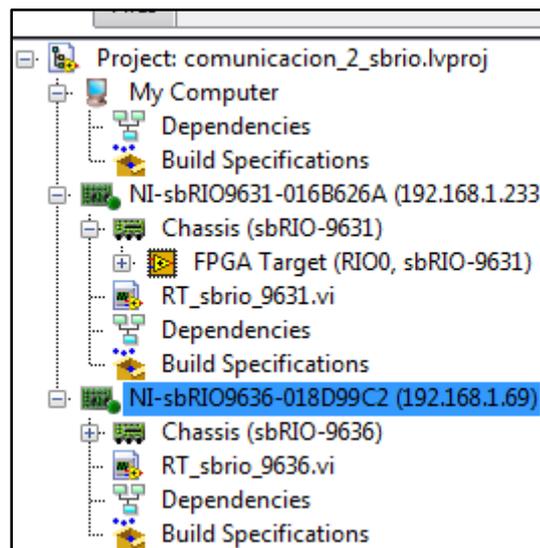


Figura 2.62.- Árbol del proyecto para comunicación de 2 tarjetas sb-RIO.

Primeramente se crea las librerías de las variables compartidas en RT de cada tarjeta sb-RIO, se realiza

esto al hacer clic derecho sobre "NI-sbRIO09631" / New/ Variable y aparece una ventana en la cual se coloca por nombre "boton" y en data type se elige "boolean" , finalmente se presiona ok. Se sigue el mismo procedimiento para crear la variable compartida en la tarjeta sb-RIO 9636 con la diferencia que esta variable se le pone por nombre "numero" y se elige el data type "double".

Se crea un nuevo VI en el RT de la tarjeta sb-RIO 9631 y se realiza lo que se muestra en la figura 2.63.

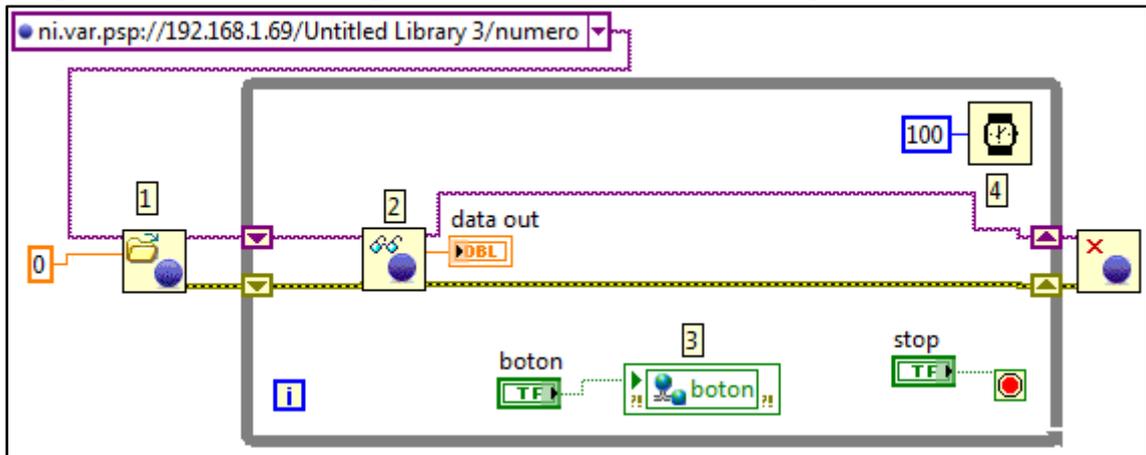


Figura 2.63.- VI realizado en el RT de la tarjeta sb-RIO 9631.

Se utiliza la paleta data communication/ shared variable para abrir la referencia y leer los datos que se comparten por la red. Dos parámetros son necesarios para la configuración del VI (1), se crea una constante de "shared variable refnun in" y se busca con la opción browse la dirección de la variable a que se hace referencia en este caso se busca en ni.var.psp:/ 192.168.1.69/ numero, para el siguiente parámetro se crea una constante de tipo double. En el VI (2) se lee los datos de la red y crea un indicador de los datos de salida. En el VI (3) se envía datos de la variable compartida por la red. En (4) se hace un retardo de 100 milisegundos. Y finalmente se cierra la referencia que se abre en (1).

Se procede de la misma manera para el VI que se realiza en el RT dela tarjeta sb-RIO 9636 que es el que se muestra en la figura 2.64.

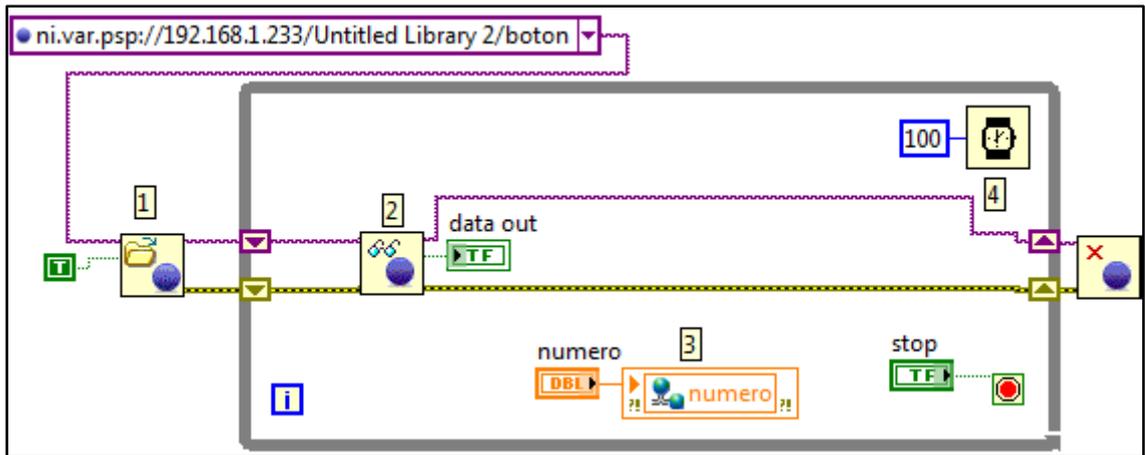


Figura 2.64.- VI realizado en el RT de la tarjeta sb-RIO 9631.

Se guardan los VI y se ejecutan, como se observa en la figura 2.65, la comunicación bidireccional de las tarjetas sb-RIO se realiza correctamente.

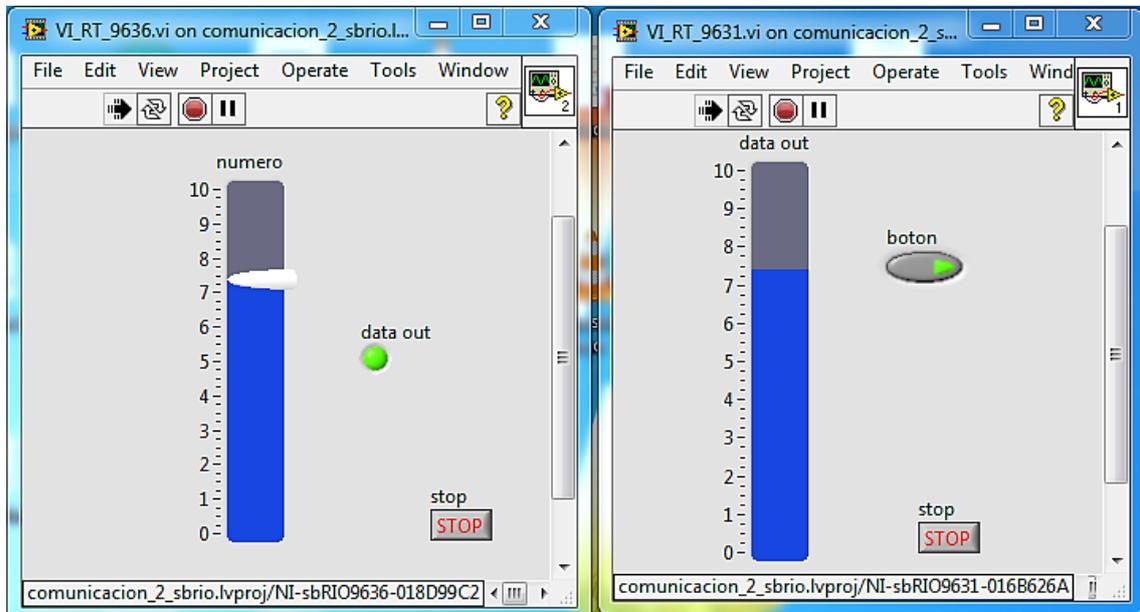


Figura 2.65.- Paneles frontales de la comunicación de 2 sb-RIO mediante cable Ethernet.

3 REFERENCIAS

Entre la literatura de LABVIEW, FPGA, DIADEM y DATA DASHBOARD el lector puede consultar las siguientes fuentes de información para poder tener un análisis más profundo de la temática.

- Pérez, "Desarrollo de Sistemas Embebidos en FPGA", presentado en el Congreso de Microelectrónica Aplicada, 2010. Disponible en:
http://www.lacie-unlam.org/uea2010/trabajos/uea2010_submission_36.pdf
- W. Bolton, "Sensores y Transductores" en *Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctricas*. Alfaomega, 2013, pp. 17-50.
- W. Bolton, "Acondicionamiento de señales" en *Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctricas*. Alfaomega, 2013, pp. 54-90.
- National Instruments, NI sbRIO-9631, [online]. EEUU, 2014 Disponible en:
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/205894>
- National Instruments, FPGA a Fondo, [online]. EEUU, 2014 Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/6983/es/>
- National Instruments, Guía de Desarrolladores para NI CompactRIO, [online]. EEUU, 2014 Disponible en:
<http://www.ni.com/compactriodevguide/esa/>
- W. Bolton, "Sistemas de presentación de datos" en *Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctricas*. Alfaomega, 2013, pp. 92-119.
- National Instruments, Data DASHBOARD, [online]. EEUU, 2014 Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/13757/es/>
- Creus, "Calibración de los Instrumentos" en *Instrumentación Industrial*. Alfaomega, 2013, pp. 601-621.
- National Instruments DIAdem, [online]. EEUU, 2014 Disponible en:
<http://www.ni.com/diadem/start-support/esa/>
- National Instruments, NI Single-Board RIO Embedded Control and Acquisition, [online]. EEUU, 2014 Disponible en:
<http://www.ni.com/white-paper/7441/en/>
- D. Walters, «Chemical sensing: An Emergent MEMS technology,» *Proceedings of sensors Expo*, pp. 173-186, 1996.
- A. Somov, A. Baranov, A. Savkin, D. Spirjakin, A. Spirjakin y R. Passerone, «Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring,» *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 171, n° 2, pp. 398-405, 2011.
- J. Lajara y J. Pelegrí, *Labview Entorno gráfico de programación*, México: Alfaomega, 2007, pp. 161-166.