



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Desarrollo de prototipos de sistemas embebidos multicapa para sistemas de Telecomunicaciones

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Pablo García Cerón

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Carlos Romo Fuentes



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019.

Jurado asignado

Presidente

Dr. Miguel Moctezuma Flores

Vocal

Dr. Carlos Romo Fuentes

Secretario

M.I. Juventino Cuellar González

Primer Suplente

Dr. José Alberto Ramírez Aguilar

Segundo Suplente

Dr. Jorge Alfredo Ferrer Pérez

*Los débiles no luchan.
Los más fuertes quizás luchan una hora.
Los que aún son más fuertes,
luchan unos años.
Pero los más fuertes de todos,
luchan toda su vida,
éstos son los indispensables.*

*Poema a Lenin
Bertolt Brecht*

Índice general

Índice general.....	I
Índice de figuras	IV
Índice de tablas.....	VI
Resumen	VII
Agradecimientos.....	VIII
Advertencia al lector.....	X
Lista de acrónimos	XI
Nomenclatura.....	XIV
Introducción	1
Objetivo de la propuesta	1
Objetivos particulares	1
Definición del problema	1
Antecedentes.....	1
Método	2
Situación actual	2
Vinculación industrial	2
Academia.....	3
Relevancia y justificación.....	3
1. Enfoques sobre la tecnología	5
1.1 Introducción	5
1.2 Orígenes y constitución de problemas en la tecnología	6
1.2.1 El concepto de ciencia y tecnología.....	6
1.3 Proceso tecnológico.....	7
1.4 La democratización del diseño tecnológico.....	10
1.4.1 Rentabilidad económica total.....	10
1.5 Sistemas embebidos.....	11
1.5.1 Componentes de los sistemas embebidos.....	12
1.6 Arquitecturas reconfigurables	14
1.6.1 Innovación y flexibilidad en los sistemas embebidos	16
1.7 Conclusión de capítulo 1	17

2. Consideraciones para la construcción de un sistema de instrumentación	18
2.1 Introducción	18
2.2 Fundamentos de instrumentación	18
2.3 Consideraciones básicas	19
2.3.1 Consideraciones adicionales	20
2.4 Sistema integral de instrumentación y control y telemetría.....	21
2.5 Función para pruebas de certificación espacial	23
2.5.1 Definición.....	24
2.6 Sensor	25
2.6.1 Sensores de temperatura	25
2.6.2 Evaluación de sensores.....	26
2.6.3 Ubicación de sensores	28
2.7 Selección de componentes electrónicos	29
2.7.1 Criterios de selección para componentes electrónicos	29
2.7.2 Tipos de encapsulado.....	30
2.8 Conclusión del capítulo 2.....	35
3. Elaboración de placas de circuito impreso en un sistema de instrumentación para una cámara de termovacío	37
3.1 Introducción	37
3.1.1 Origen	37
3.2 Elaboración de circuitos impresos.....	39
3.2.1 Técnica seleccionada	40
3.3 Software de diseño	41
3.4 Elección del circuito integrado.....	42
3.4.1 Borneras para placas de circuito impreso	48
3.5 Fuente de alimentación.....	49
3.6 Conclusión del capítulo 3.....	51
4. Procesamiento, interfaz y visualización del sistema de instrumentación	52
4.1 Introducción	52
4.2 Procesamiento	52
4.3 Sistema de adquisición de datos (DAQ).....	53
4.4 Tarjeta de desarrollo	54
4.5 Visualización local.....	57

4.6 Visualización remota	58
4.6 Conclusión del capítulo 4	61
Análisis de resultados	63
Conclusión final	69
Trabajo a futuro	70
Apéndice A	71
Apéndice B	74
Bibliografía	82

Índice de figuras

CAPÍTULO 1

Figura 1. 1 Definición de tecnología y ciencia.....	7
Figura 1. 2 Diagrama de un proceso tecnológico.....	9
Figura 1. 3 Descripción de un sistema embebido (nivel físico).....	12
Figura 1. 4 Componentes de un sistema embebido (nivel lógico).....	13
Figura 1. 5 Ley de Moore.....	15
Figura 1. 6 Sistema informático heterogéneo.....	16

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 Diagrama general de un sistema de instrumentación. Adaptada de [11].....	19
Figura 2. 2 Diagrama Integral del Sistema de Instrumentación para una cámara de termovació.....	21
Figura 2. 3 Proceso en un sistema de instrumentación.....	22
Figura 2. 4 Puntos críticos en la cámara de termovació.....	24
Figura 2. 5 Cámara de termovació.....	28
Figura 2. 6 Termopar tipo T.....	35
Figura 2. 7 Termopar tipo T, Error y Ruido RMS vs Temperatura. [33]	36

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1 Diseño de PCB en circuitos multicapa.	40
Figura 3. 2 Diseño de PCB en SMD realizado en Altium Desing.....	41
Figura 3. 3 Circuito Integrado LTC2983.	42
Figura 3. 4 Dimensiones del Circuito Integrado LTC2983.	44
Figura 3. 5 Diagrama a Bloques del Circuito Integrado TLC2983	46
Figura 3. 6 Borneras para circuito impreso disposición doble, 10 mm.....	48
Figura 3. 7 Vista superior de borneras en PCB.....	48
Figura 3. 8 Conexiones de alimentación del sistema de instrumentación para una cámara de termovació.....	49
Figura 3. 9 Sistema de Instrumentación para una cámara de termovació.....	50
Figura 3. 10 Detalle de PCB en elaborada en multicapa.....	51

CAPÍTULO 4

Figura 4. 1 Taxonomía de sensores físicos. Apartado de [28].....	53
Figura 4. 2 Adquisición de Datos PLX-DAQ®	53
Figura 4. 3 Arduino Mega ADK	54
Figura 4. 4 Liduino One Linear Technology	56
Figura 4. 5 Visualización local con hoja de Excel.....	57
Figura 4. 6 Esquema general de Conexión Power BI, Microsoft ®.....	59
Figura 4. 7 Prueba de sensores para temperaturas positivas en Power BI, Microsoft ® .	60
Figura 4. 8 Prueba de sensores para temperaturas negativas en Power BI, Microsoft ®	60
Figura 4. 9 Conexión de varios dispositivos por SPI	61

Figura 4. 10 Visualización local y remota	62
---	----

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Figura 5. 1 Configuración del termopar	63
Figura 5. 2 Software de configuración de conexiones	64
Figura 5. 3 Detalle de sensor conectado	64
Figura 5. 4 Detalle de sensor desconectado	65
Figura 5. 5 Prueba del sensor termopar para temperaturas positivas	65
Figura 5. 6 Prueba del sensor termopar para temperaturas negativas	66
Figura 5. 7 Prueba de sensores termopar con 10 canales	67
Figura 5. 8 Prueba para canales impares, temperaturas positivas	68
Figura 5. 9 Prueba para canales pares, temperaturas negativas	68

Índice de tablas

Tabla 2.1. Comparación entre sensores	26
Tabla 2.2. Composición de materiales termopar tipo K.....	27
Tabla 2.3. Composición de materiales termopar tipo T	27
Tabla 2.4. Composición de materiales termopar tipo J.....	28
Tabla 2.5. Comparativa de los tipos de encapsulado	30
Tabla 4.1 Características del Arduino Mega ADK	54

Resumen

En la presente tesis se aborda la importancia de los sistemas embebidos en relación a las Telecomunicaciones, mediante la realización de circuitos multicapa, con el fin de optimizar funciones básicas en el sistema de Instrumentación.

Se puntualizan aspectos primordiales de los sistemas embebidos en relación al desarrollo tecnológico así como la influencia en un aumento considerable de integración y complejidad en la elaboración de circuitos cada vez más reducidos.

Por otra parte, tomando elementos generales de los sistemas de instrumentación, se propone un sistema de forma integral que aborde las áreas de instrumentación, control y telemetría. Ésta última área destinada a examinar una alternativa que represente una ventaja al usuario para poder acceder a los datos obtenidos de manera remota desde cualquier dispositivo móvil con acceso a Internet, es uno de los retos principales trazados en el presente trabajo.

Dicha solución no sólo está destinada a almacenar, también presenta la opción de compartir con personas interesadas en el proyecto sin la necesidad de intercambiar contenido en un dispositivo de almacenaje, dar una solución flexible, precisa y que sobretodo sea tangible en cualquier momento y desde cualquier lugar.

Finalmente como resultado a lo citado, se precisa la realización de los prototipos en placas con tecnología de montaje superficial, en la cual de forma escalable se puedan interconectar para obtener un sistema funcional que desempeñe pruebas

Agradecimientos

A la vida.

A mis padres, Lilia Cerón García y Paulino García Zaragoza.

A mi hermana, Gabriela García Cerón.

A mi tía, Irma Cerón García.

A mi familia.

A todos aquellos que se adelantaron en este viaje llamado vida.

A Sandra Marisol Rodríguez Santillán.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ingeniería.

Al Proyecto PAPIIT TA100516 por la Beca de Terminación de Estudios durante este periodo.

Al Proyecto CONACYT 205012 Laboratorio de Compatibilidad Electromagnética de la FI UNAM en la Unidad de Alta Tecnología, Campus Juriquilla.

Al Proyecto CONACYT 232660 Laboratorio Nacional de Ingeniería Espacial y Automotriz de la Facultad de Ingeniería en la Unidad de Alta Tecnología, Campus Juriquilla.

A los siguientes profesores de la Facultad de Ingeniería:

Ing. Jorge Velázquez Ramírez, Ing. Francisco Armando Rangel Ordoñez, Ing. Federico Cruz Álvarez, Dr. Gerardo Silva González Pacheco, Ing. Gonzalo López de Haro, Juan Ángel Rodríguez Gómez, Ing. Guillermo Mancilla Guerrero, M.I. María Del Rocío Ávila Núñez, Ing. Rubén Hinojosa Rojas, Dra. Olga María del Carmen Mucharraz González, Dr. Miguel Moctezuma Flores, M.I. Luis Antonio Altamirano Yépez, Dr. Francisco Javier García Ugalde, M.I. Juventino Cuellar González, M.I. Mauricio Ortega Ruíz, Dr. Oleksandr Martynyuk, Dr. Édgar Senobio Mozo Ramos, Ing. José Sánchez Espinoza, Dra. Selene Pérez García, M.A.

Enrique Octavio Díaz Cerón, Ing. Eduardo Carranza Torres, M.I. Víctor Manuel Rivera Romay.

A mis amigos:

Abraham Salinas Villalba, Iván Santos Benavides, Lilia Angélica Montaña Gallardo, Grisel Moreno Zepeda, Jesús Alejandro Bárcenas Zambrano, Vladimir Mario Zaldívar Castañeda, Mauricio Godínez Carrichi, Emmanuel Gutiérrez Valdés, Jorge Humberto Medina Durán, Salvador Ulloa Solís, Édgar Alejandro Avilés Cortés, César Abraham Avilés Cortés, Roberto Ruíz Mendoza, Víctor Hugo Villalba Azamar, Deni Rebolledo Soto, Alejandra Saldaña Campos, Saraí Michelle Álvarez López, Fernando Salmerón, Sandra Paola García Jácome, Alejandro Vázquez García, Erandi González, Deni Xiadani Garcíamoreno Becerril, Elizabeth Cadena Sandoval, Alma Trinidad González Romero, Rogelio Beltrán García, AnaKaren Galván Benítez, Rafael Betancourt Sandoval, Luis Arturo Pacheco Ramírez, Luis Javier Martínez Botello, Brandón David Velázquez González, José Juan Torres Anguiano, Pedro Osornio, Gerardo Carballo González, Misael Joshimar Mendoza Ramírez, Roberto Ramírez Sánchez, José Alfredo Sandoval Vallejo, Víctor Emmanuel Zenón Arroyo, Salvador Centeno, Eduardo Pérez González.

A mis amigos y colaboradores en DGTIC:

Ing. Sarahi Salvador Salcedo, Arq. Francisco Javier Montes Alcocer, Ing. Francisco Fidel Aguilar Hernández, Ing. Guillermo Israel Rodríguez Valeriano, Ing. Jonathan Espinosa Negrete, Aldonay Hernández González, Ing. Jorge Alejandro Guerrero Gómez.

A mis sinodales de Tesis:

Dr. Miguel Moctezuma Flores, M.I. Juventino Cuellar González, Dr. Jorge Alfredo Ferrer Pérez, Dr. José Alberto Ramírez Aguilar.

A mis maestros de vida:

Prof. Luz María Llamas, Prof. Juan Vicente Guerrero Trejo, Psic. Joan Mael Carreón Vázquez, Psic. Maribel Ramírez Guzmán, M.I. Miguel Ángel Benítez Torreblanca, M.T.I.A. Juan Israel Ortega Aceves, Ing. Luis Alberto Guillermo Piña Gorraez.

Al Dr. Bohumil Psenicka Skuhersky, por confiar en mí, apoyarme durante la carrera y siempre darme su mano franca.

Al Dr. Carlos Romo Fuentes, por su paciencia y entusiasmo, además de todo el apoyo durante la realización de esta tesis.

Advertencia al lector

En este trabajo se mencionan diversas terminologías empleadas con regularidad en el área de electrónica y comunicación. El autor considera que el lector vinculado a estas áreas optaría terminología en su idioma original por motivos prácticos y de habitualidad que en su correspondiente en el idioma español, sin embargo, se presentan en medida de lo posible y cuando es requerido una traducción a ciertos conceptos o términos para un mejor entendimiento y coherencia del texto.

Se consideró de forma minuciosa la utilización de palabras y conceptos en inglés, colocando de forma mínima su aparición dentro del trabajo, además en determinados casos, una traducción equivalente es acompañada del término original. Y sólo en casos excepcionales se mantuvo el concepto o la idea original a falta de una traducción exacta en nuestro idioma.

Lista de acrónimos

3G	Tercera Generación
AC	Alternating Current
AC/DC	Alternating Current / Direct Current
ADC	Analog to Digital Converter
Al	Aluminio
ASTM	American Society for Testing and Materials
BGA	Ball Grid Array
CAN	Controller Area Network
CH	Channel
COM	Tierra Común
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CPU	Central Processing Unit
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DAQ	Data Acquisition System
DC	Direct Current
DC/DC	Direct Current / Direct Current
DIP	Dual in-line Package
DMA	Direct Memory Access
Dr.	Doctor
DSRC	Dedicated Short Range Communications
E/S	Entrada / Salida
EMC	Electromagnetic Compatibility
ESD	Electrostatic Discharge
Fe	Hierro
FI	Facultad de Ingeniería
GND	Ground or earth
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System To Mobile communications
I²C	Inter-Integrated Circuit

IC	Integrated Circuit
IP	Internet Protocol
LCD	Liquid Cristal Display
LDO	Linear Voltage Regulatore
LGA	Land Grid Array
LQFP	Low profile Quad Flat Package
LTE	Long Term Evolution
M.I.	Maestro en Ingeniería
MAI	Moscow Aviation Institute
MUX	Multiplexer
NFC	Near Field Communication
Ni	Níquel
NTC	Negative Temperature Coefficient
PAPIIT	Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
PGA	Pin Grid Array
PL	Push Lock
PLX-DAQ	Parallax Data Acquisition Tool
PTC	Positive Temperature Coefficient
QFJ	Quad Flat-J-Leg Chipcarrier
QFN	Quad Flat No-leads
QFP	Quad Flat Package
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequency Identification
ROM	Read Only Memory
RS-232	Recommended Standard 232
RS-485	Recommended Standard 485
RTD	Resistive Temperature Detector
RTF	Rich Text Format
SIP	System in Package
SMD	Surface Mounted Device
SOJ	Small Outline J-leaded

SOP	Small Outline Package
SPI	Serial Peripheral Interface
TSOP	Thin Small Outline Package
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
UAT	Unidad de Alta Tecnología
UDETEQ	Unidad de Alta Tecnología Querétaro
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USB	Universal Serial Bus
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwaves Access

Nomenclatura

μF	Microfaradios
®	Marca registrada
A	Amperes
Bit	Binary Digit
Byte	Conjunto de ocho bits
C	Capacitancia eléctrica
Hz	Hertz
KB	Kilobyte
mA	Miliamperes
MB	Megabyte
MHz	Megahertz
n	Número de bits
ppm	Partes por millón
ppm/°C	Partes por millón / Grados centígrados
PWM	Pulse Width Modulation
R	Resistencia eléctrica
T	Temperatura
V	Diferencia de Potencial
VDD	Tensión positiva de alimentación
$\Delta\Sigma$	Modulación Sigma-Delta

Introducción

Objetivo de la propuesta

Establecer una técnica para el desarrollo de prototipos de circuitos embebidos en sistemas multicapa para aplicación de telecomunicaciones.

Objetivos particulares

- Describir las características de los sistemas embebidos
- Estipular los requerimientos del sistema de Instrumentación en las aplicaciones directas
- Precisar aspectos generales en la elaboración de prototipos funcionales
- Presentar una solución flexible y tangible que el usuario remoto pueda acceder en cualquier momento y desde cualquier lugar
- Proponer la mejora continua del trabajo realizado

Definición del problema

Resulta oportuno mencionar que la Unidad de Alta Tecnología (UAT) en Juriquilla, Querétaro de la Universidad Nacional Autónoma de México ha sido en los recientes años la cuna de proyectos tecnológicos de carácter internacional, en dicha sede se realizaron los primeros prototipos, con el objetivo principal de enriquecer la tecnología de comunicación en diversas aplicaciones en el interior de las instalaciones y externamente en colaboración con otros centros de investigación.

En la Unidad de Alta Tecnología de la Facultad de Ingeniería en el campus Juriquilla, se tiene el laboratorio de sistemas embebidos en donde se establecerán las técnicas para desarrollar tarjetas con tecnología de montaje superficial para un sistema integral que permita operar siempre con presentaciones en tiempo real, que a su vez estarán orientadas a diversas áreas.

Antecedentes

Se cuenta con un sistema de telemetría realizado en 12 placas con tecnología básica de ensamblaje, sin embargo para fines prácticos, el circuito embebido será reducido e impreso en placas con tecnología de montaje superficial, tal y como se detalló en el párrafo anterior, respecto a la parte de telemetría se presentará una solución que satisfaga las necesidades requeridas para las pruebas de laboratorio.

Método

En el presente trabajo se introduce a lector en las bases fundamentales para el desarrollo de prototipos de circuitos embebidos con el fin de establecer un contexto sobre la relevancia del desarrollo tecnológico en aplicaciones de telecomunicaciones. Posteriormente, se analizarán las técnicas para la realización de prototipos, así como los elementos y componentes a considerar en su manufactura.

Una vez que se haya formalizado el entorno general presentando bases teóricas se procederá a hacer pruebas de laboratorio, con este conjunto preliminar de pruebas se plantearán métodos de validación para finalmente validar el sistema integral de instrumentación.

Situación actual

De manera general, haciendo una retrospectiva al año 2010, la Unidad de Alta Tecnología Querétaro (UDETEQ) se transformó en la Unidad de Alta Tecnología (UAT), como dependencia de la Facultad de Ingeniería (FI). Como campus externo, tiene dos restricciones:

- a) No competir con las universidades estatales, sino colaborar con ellas, complementando la oferta tecnológica de la región.
- b) Desarrollar líneas de trabajo que tengan un impacto benéfico para la región y el país, pues no hay que olvidar que es función de la UNAM resolver problemas nacionales.

Hoy, la UAT, como una Unidad de Posgrado y Vinculación Industrial, basa el éxito de su quehacer en que tanto ésta, como institución, y sus usuarios, hablen el mismo idioma y se pongan de acuerdo en términos básicos: qué es una ventaja tecnológica, qué es un riesgo, qué es una inversión, cuál es el valor agregado, en dónde se va a aplicar, y cuál es la relación de costo-beneficio para poder desarrollar un proyecto de innovación tecnológica.

Actualmente se están estableciendo canales de colaboración con instituciones extranjeras, a fin de suscribir convenios de posgrado conjuntos e intercambio académico. Entre ellas, las universidades de Michigan-Dearborn, Stanford, Loughborough, Notre Dame, Windsor, Oxford, Brookes, y el Instituto Aeronáutico de Moscú (MAI). Lo anterior, para trabajar con profesores visitantes y estudiantes de intercambio académico.

Los productos esperados, como parte de esta vinculación academia-industria, son los siguientes:

Vinculación industrial

- Convenios anuales con empresas para proyectos de innovación tecnológica (tres).
- Proyectos de vinculación académica (entre 8 y 10 al año).
- Ingresos anuales de entre 5 y 10 millones de pesos, de recursos extraordinarios.
- Relación de largo plazo con empresas de clase mundial (Grupo Carso, MABE, GE-CIAT, Ford, Bosch, entre otras).

- Ser un Centro de innovación Tecnológica de clase mundial. · Relación de largo plazo con instituciones regionales.

Academia

- Modelos de innovación tecnológica resultantes de la vinculación universidad-industria.
- Población académica de entre 120 y 150 alumnos de posgrado.
- Veinte graduados por año.
- Posgrados estratégicos para la industria nacional (como son los casos de Ingeniería Automotriz e Ingeniería Aeroespacial, registrados en el padrón del CONACYT).
- Programas de colaboración internacional para la formación de posgraduados y académicos de alto nivel.
- Cultura de innovación (patentes, reportes de proyecto, prototipos, etcétera).
- Índices de publicación (un artículo / profesor / año).

Relevancia y justificación

A lo largo de las décadas recientes las empresas mexicanas carecieron por lo general de estímulos para intentar efectuar desarrollos tecnológicos e incluso para aprovechar la tecnología más eficiente que pudieran obtener.

Los criterios empleados para la generación de conocimientos en los centros de investigación en México, así como las políticas que se han establecido en materia de tecnología, han surgido fundamentalmente de la comunidad científico-académica, con la consecuencia de que dichos centros han dado lugar, las mayoría de las veces, a productos poco aprovechables por la industria, cerrándose de esta manera un verdadero círculo vicioso.

Dado el círculo vicioso expuesto en los párrafos anteriores, fue natural que la industria nacional importara la tecnología que requería para sus procesos productivos. Esta transferencia que, como es bien sabido, se ha efectuado a cambio de otra transferencia – la de divisas al exterior por concepto de pago de regalías–, no se ha llevado a cabo con un proceso previo de selección, con el desarrollo paralelo de una infraestructura que sirviera de fundamento para el aprendizaje y la capacitación, ni con mayor preocupación por la difusión de los conocimientos incorporados. La tecnología importada, además, no ha estado sujeta a un proceso de adaptación interna y, por lo tanto, no se ha logrado un aprovechamiento verdaderamente eficiente de la misma, aprovechamiento que no ha sido hasta ahora un factor crucial para el éxito de las empresas debido a la falta de competencia

En adición a lo anterior, es necesario reconocer que la dependencia tecnológica frente al exterior y los modos concretos en los que se ha llevado a cabo el proceso de transferencia de tecnología han inhibido nuestro desarrollo por muchos otros motivos, entre los que cabe señalar los siguientes:

- con frecuencia se ha importado tecnología probada en otros países con circunstancias muy distintas a las nuestras y que, debido a la ausencia de procesos de adaptación interna, no ha respondido adecuadamente a los requerimientos de nuestra industria;
- debido a razones de competencia y de respeto a derechos de propiedad, la tecnología transferida a nuestro país no ha sido, por lo general, ni la más moderna ni la más eficiente, originándose así un importante atraso en la materia;
- la transferencia eficiente de tecnología ha sido dificultada, sobre todo en el caso de la pequeña y mediana industria, por un enorme conjunto de regulaciones burocráticas de carácter discrecional y discriminatorio hacia el pequeño capital.[1]

Posterior a este breve preámbulo, es oportuno mencionar que los acontecimientos en décadas pasadas deben servir como un parámetro de partida del cual pueda generarse tecnología que impulse a nuestro país.

Subsecuente a lo dicho nos enfocaremos en una vertiente esencial de la tecnología, los sistemas embebidos, estos sistemas están alrededor de nosotros en nuestra vida cotidiana y muchas veces no los notamos, sin embargo en la actualidad es más común encontrarlos.

Dichos sistemas están diseñados para realizar una tarea en específico, y sus componentes se encuentran incluidas en una placa base, con frecuencia los dispositivos resultantes no tienen para nada el aspecto de lo que se suele asociar con una computadora.

Dicho de forma concisa y objetiva, la tecnología embebida se ha convertido en una parte fundamental de nuestra vida cotidiana automatizando tareas específicas y optimizando recursos, que para el entorno del ser humano facilita su labor, por lo que el desarrollar más avances cada día significa una solución a problemas que le conciernen a nuestra sociedad actual. Justamente por eso es necesario motivar a las siguientes generaciones a conocer más aspectos de la tecnología, en donde se incremente las modalidades comunicativas y se favorezca el aprendizaje, rompiendo con escenarios rígidos que han tenido cautivo el progreso de nuestra nación.

Capítulo 1

Enfoques sobre la tecnología

1.1 Introducción

A pesar de que es un término empleado frecuentemente y actualmente mencionado con mayor vehemencia dentro y fuera del ámbito ingenieril, nos encontramos frente a un concepto esencial, que sin duda es un parte aguas en diversas épocas de la humanidad.

El hombre, en su vivir cotidiano no se halla asilado sino inmerso en una realidad diversificada que ejerce una influencia decisiva sobre él y sus actos, por lo que ante una realidad hostil o no deseable, debe emprender acciones que modifiquen esa realidad, hasta hacerla compatible e incluso favorable a sus propios propósitos. [2]

Es así como la historia de la humanidad se ha forjado por múltiples etapas de desarrollo en las que de manera paulatina han convertido recursos naturales en aliados para la concepción de nuevos fines.

Resulta oportuno mencionar un par de elementos fundamentales dentro de la sociedad, precisando las idea anterior haremos referencia a la cultura y el estilo de vida, por un lado el cúmulo de conocimientos que maneja esa cultura en el acuerdo y solución de sus problemas y, por el otro lado, el conjunto de métodos para realizar modificaciones respecto a su realidad y satisfacer objetivos planteados que de forma inherente poseen conocimientos que ayudarán en la ejecución de nuevos retos.

En referencia a la clasificación anterior, de estos dos conceptos surge la ciencia y todo lo que conlleva la sistematización del conocimiento y los procedimientos para lograr su adquisición, de forma paralela la tecnología como conjunto de conocimientos específicos y procesos concretos que desencadenaran en la producción de algo.

Definir la palabra "tecnología" se ha vuelto algo complejo y sujeto a un conjunto de relaciones y de puntos de vista diversos. No presenta el mismo significado en el presente que en el pasado, y no son las mismas respuestas que se dan sobre la tecnología en el uso corriente.

1.2 Orígenes y constitución de problemas en la tecnología

Como ya se mencionó anteriormente la historia de la humanidad se distingue por diversas etapas de desarrollo en las que de manera gradual ha ido modificando su entorno convirtiéndolo compatible e incluso conveniente para propósitos propios. He aquí donde surge un dilema, un dilema radicado en lo que se desea y lo que realmente se tiene, en éste punto se debe determinar entre todo lo tangible y lo que posiblemente obtenga respecto a sus deseos.

Resulta un punto elemental el conflicto causado entre lo deseado respecto a la realidad provocando un problema.

La solución ante dicho problema reside de dos vertientes a analizar:

- a) Cambiar lo real mediante acciones que hagan converger lo real hacia lo deseable. Este proceso se llama resolver el problema. La ejecución de las acciones pertinentes para cambiar la realidad implican un saber hacer precisamente la tecnología.
- b) Cambiar lo deseado, de manera que los deseos se ajusten a las posibilidades reales. Este proceso se llama disolver el problema.[3]

En efecto, la mejor solución de un problema, factible en la mayoría de los casos, es enfocar la solución a ambas vertientes, fragmentar y abordar el problema antes de resolverlo.

Finalmente y de acuerdo a con los razonamientos que se han venido realizando, además de la consideración de los factores que intervienen de manera directa e indirecta debe formularse el panorama histórico que defina el origen de la cuestión a analizar.

1.2.1 El concepto de ciencia y tecnología

Sobre la base de las consideraciones anteriores se derivan un par de factores primordiales para resolver problemas que aquejan a nuestra sociedad, en un extremo encontramos el conjunto de conocimientos sobre la realidad que de forma estructurada la sociedad maneja en la solución de sus problemas, y en el otro extremo aparece el conjunto de maneras para modificar dicha realidad y resolver los problemas propuestos.

El surgimiento del concepto ciencia va ligado esencialmente de la sistematización del conocimiento objetivo y de los procedimientos para adquirirlo, mientras que el concepto de tecnología se adhiere al conjunto de conocimientos específicos y procesos para transformar la realidad y consigo satisfacer necesidades.

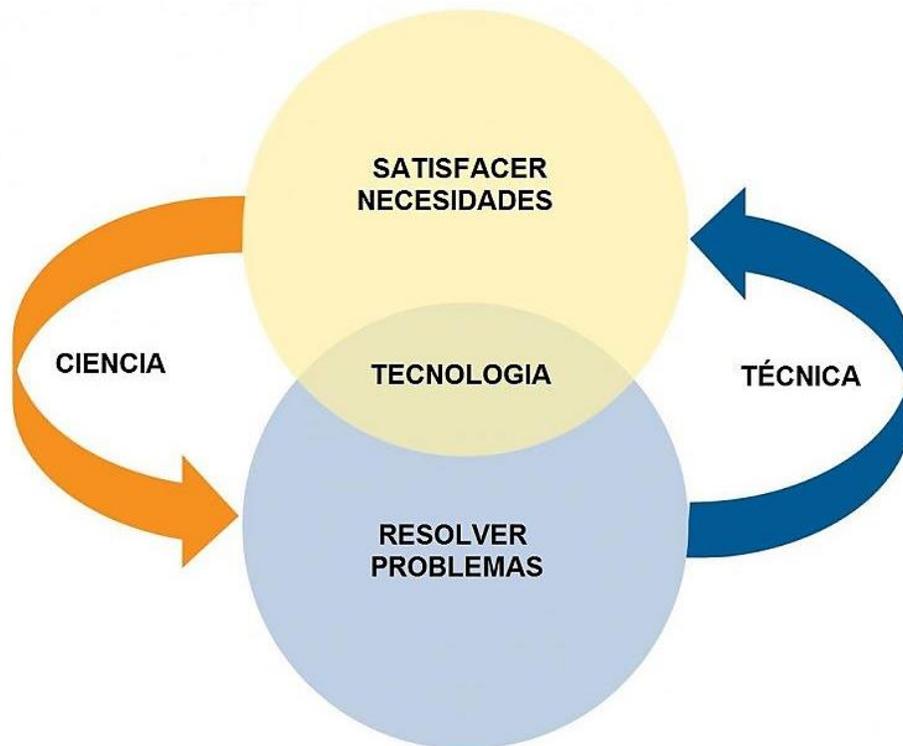


Figura 1.1 Definición de tecnología y ciencia.

En pocas palabras precisando lo anterior la tecnología es la aplicación coordinada de un conjunto de conocimientos (ciencia) y habilidades (técnica) con el fin de crear una solución (tecnológica) que permita al ser humano satisfacer sus necesidades o resolver sus problemas.

1.3 Proceso tecnológico

Como ya se ha mencionado la tecnología tiene una forma muy peculiar de solucionar los problemas y necesidades del hombre, a esto se le denomina proceso tecnológico.

Con respecto a lo anterior el proceso tecnológico es la vía a seguir desde que aparece un problema hasta la obtención de una solución. De manera puntual, el proceso que se emplea para realizar cualquier proyecto tecnológico, es en esencia el mismo que se ha desarrollado por la humanidad desde la antigüedad y que hasta nuestros días se emplea para la fabricación de cualquier objeto.

En el podemos diferenciar las fases siguientes [4]:

- El proceso de creación siempre comienza por la detección de un problema o una necesidad, algo que echamos de menos, que nos permitiría llevar una vida más

agradable.

- En la propuesta de trabajo describimos claramente el objetivo de nuestro proyecto y especificamos las condiciones iniciales que deberá de cumplir el objeto que resolverá nuestro problema.
- Algunos problemas pueden ser resueltos con nuestros conocimientos e imaginación. Otras veces se necesita recopilar información que nos ayude a encontrar la solución idónea, a través de preguntas a gente, observación de objetos o consulta libros y revistas.
- Es la fase más creativa del proceso tecnológico en ella se determinan las características del objeto a construir. Para ello primero se piensan posibles soluciones al problema, luego se selecciona la idea más adecuada y por último se definen todos los detalles necesarios para su construcción, todo esto con la ayuda de la expresión gráfica de ideas (bocetos, croquis, planos, etc.)
- En esta fase se concretan las tareas y los medios necesarios para la construcción del producto. Se definen de forma ordenada las operaciones a realizar y se seleccionan los materiales y herramientas necesarios.
- Se construye el objeto diseñado siguiendo el plan de actuación previsto y respetando las normas de uso y seguridad en el empleo de los materiales, herramientas y máquinas.
- Se prueba si el objeto construido responde a su finalidad y cumple las condiciones inicialmente establecidas. En caso contrario se buscan las causas y se vuelve a diseñar y construir el objeto.
- Objeto construido y evaluado, que soluciona el problema o necesidad planteada.
- Finalmente una vez satisfecha la necesidad como consecuencia prosigue una comercialización y con ella el impacto que pueda causar en la sociedad.

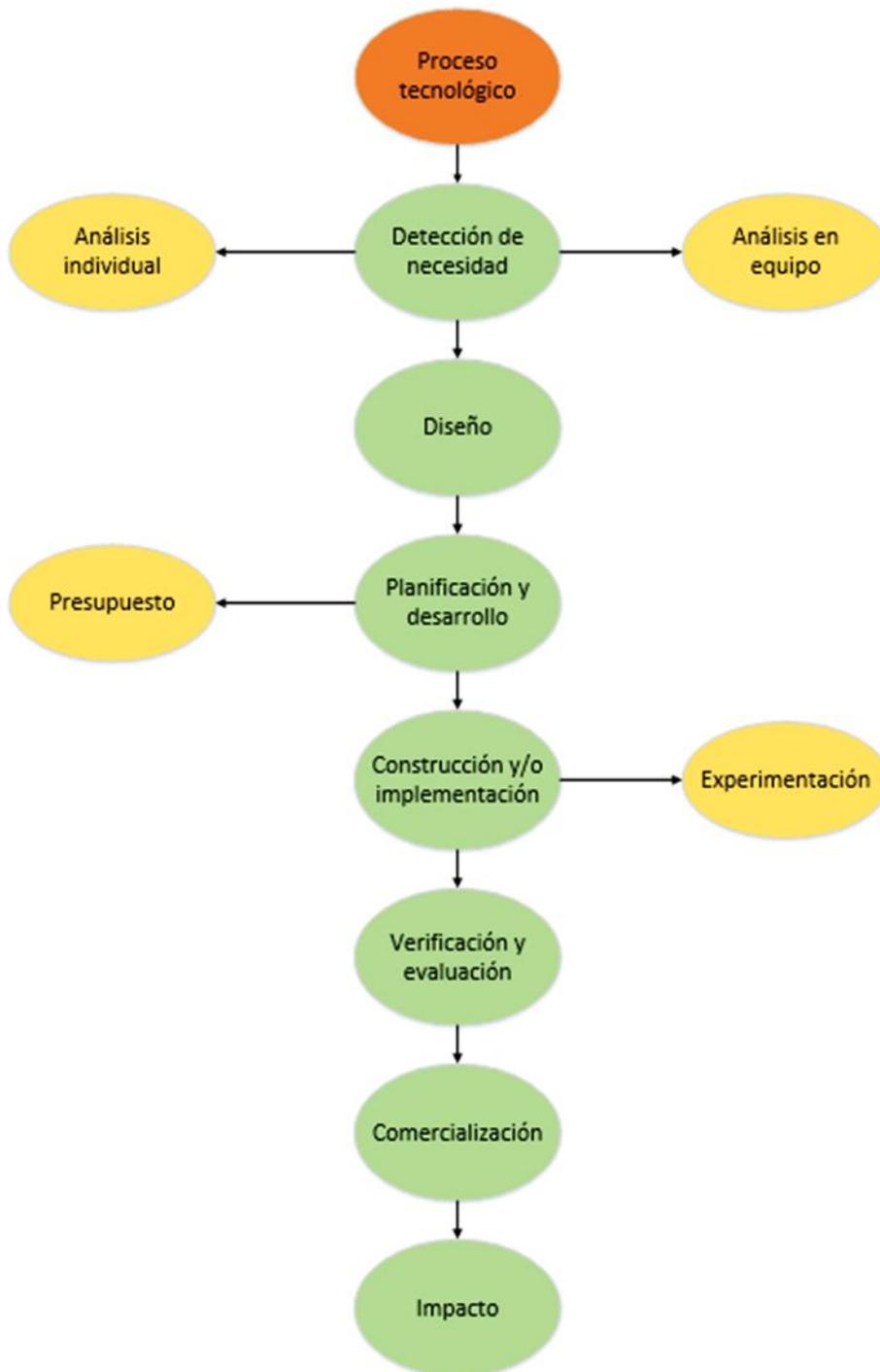


Figura 1.2 Diagrama de un proceso tecnológico.

1.4 La democratización del diseño tecnológico

Vivimos en un mundo de rápida democratización de la tecnología. En el espacio de unas pocas décadas las computadoras han hecho la transición desde los muy costosos dispositivos de investigación accesibles por un selecto grupo de asistentes personales ubicuos.

Esta misma democratización está ocurriendo en el diseño de sistemas enfocados a labores específicas. Para comprender este cambio es útil examinar la estructura típica de los equipos de diseño y la forma en que están cambiando su estructura sobre la base de las demandas del mercado y las mejoras de la tecnología de diseño de sistemas.

Tradicionalmente, los equipos de diseño de sistemas tecnológicos se han compuesto de ingenieros especializados en hardware, software y mecánica, guiados por uno o más expertos en el dominio de la aplicación. Estos expertos en el dominio dirigen al equipo de diseño en base al conocimiento profundo de un tema dentro de un área determinada. El éxito de cada proyecto depende en gran medida de que los expertos de dominio transfieran con éxito su conocimiento a los ingenieros del equipo, quienes poseen los conocimientos especializados necesarios para utilizar cadenas de herramientas tecnológicas estándar.

Debido a que los expertos en el dominio de la aplicación carecen a menudo de experiencia en el conjunto de herramientas requeridas para construir complejos sistemas, estas herramientas actúan como una barrera entre la experiencia en la aplicación y el producto final, lo que dificulta los rápidos tiempos de iteración que son críticos para la mejora de los diseños y la consecución de un corto período de tiempo para el lanzamiento del producto al mercado.

Muchos equipos de diseño más importantes hoy en día están reconociendo la importancia de mover a los expertos en dominios al frente de los procesos de diseño y abandonar los grandes grupos especializados en favor de equipos más pequeños y ágiles centrados en la conversión de la experiencia en el dominio de la creación de innovación.

1.4.1 Rentabilidad económica total

Cada vez más empresas, institutos y algunos otros centros de investigación están adoptando un enfoque integral que tenga en cuenta no sólo un análisis de la relación costo-beneficio, sino también factores como la flexibilidad y el riesgo.

Ahora bien, en lo referente a los costos y riesgo del post-desarrollo se encuentra un aspecto esencial, y que a veces las organizaciones se centran en la optimización del costo de las ventas sin hacer estimaciones viables sobre el crecimiento de los precios para administrar sus cadenas de suministro de dispositivos, llevar a cabo las pruebas de calidad, manejar las garantías y lidiar con final de su vida útil o con las consecuencias de mantenimiento.

El costo de la oportunidad es también importante, pero se pasa por alto a menudo. Los equipos asignan valiosos recursos para centrarse en estos temas en lugar de implementar las nuevas peticiones o innovaciones de los clientes para abrir nuevos mercados y

umentar los ingresos, esto desde un punto de vista empresarial, algo semejante ocurre visto desde un enfoque más académico en donde la innovación ayuda a sistematizar la resolución de un problema, obteniendo una mejor eficiencia en prototipos.

A continuación y prosiguiendo con lo ya antes mencionado, los diseños tecnológicos en la actualidad buscan una rentabilidad económica que permita una democratización. Una de las formas en que se puede lograr dichas condicionales, es precisar requisitos, tal vez parezca una idea muy vaga, pero en general así es como nacen los sistemas embebidos. En las próximas líneas se definirá dicho término y con la finalidad de conocerlos más a detalle se definirá su composición general.

1.5 Sistemas embebidos

Para comenzar el análisis de lo que significa esta sección del primer capítulo nos adentraremos en la definición de la Real Academia Española, en donde aparece la palabra “embeber” contener o encerrar dentro de sí otra a otra cosa, esto en aspecto referido a una cosa.[5]

Por lo tanto un sistema embebido o también llamado sistema empotrado por contener la mayoría de sus componentes en la placa base, es un sistema diseñado para realizar una o pocas funciones específicas, muy frecuentemente realiza acciones en tiempo real. Caso opuesto con lo que ocurre con las computadoras personales o PC's, las cuales tienen un propósito general, diseñadas para cumplir un amplio rango de necesidades. En pocas palabras se puede decir que los sistemas embebidos están diseñados para cubrir necesidades específicas.

Acorde con lo mencionado en las primeras líneas del párrafo anterior y complementando la definición, los sistemas embebidos son dispositivos integrados en diversos artefactos, que controlan una o varias funciones, con recursos limitados y en condiciones ambientales hostiles. Encontrar dichos dispositivos empleados en la vida cotidiana es más fácil de lo que aparenta, por ejemplo, podemos encontrarlos en sistemas de transporte como elevadores, trenes y automóviles, que habitualmente utilizamos en nuestra vida diaria, el contenido de los ejemplos ya mencionados es sorprendente, los sistemas embebidos que se encargan de funciones esenciales en la transportación del usuario, del control de movimiento, conectividad, autodiagnóstico, gestión energética, confort y seguridad de las personas, por mencionar algunas.

Estos sistemas de procesamiento que integran hardware, software, FPGA y comunicaciones son capaces de dotar a los objetos en los que están integrados de capacidades como confiabilidad (seguridad, disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad), inteligencia, conectividad, gestión energética, interacción con el entorno y productividad.

1.5.1 Componentes de un sistema embebido.

Tal y como lo indica el CERT de Seguridad e Industria, el número de sistemas embebidos, desplegados en el mundo alcanza los 10.000 millones, una cifra que sigue creciendo día a día. Ésta estadística nos lleva justo a comprender más a detalle las componentes de dichos sistemas que están siendo fundamentales para un desarrollo tecnológico en nuestra era.

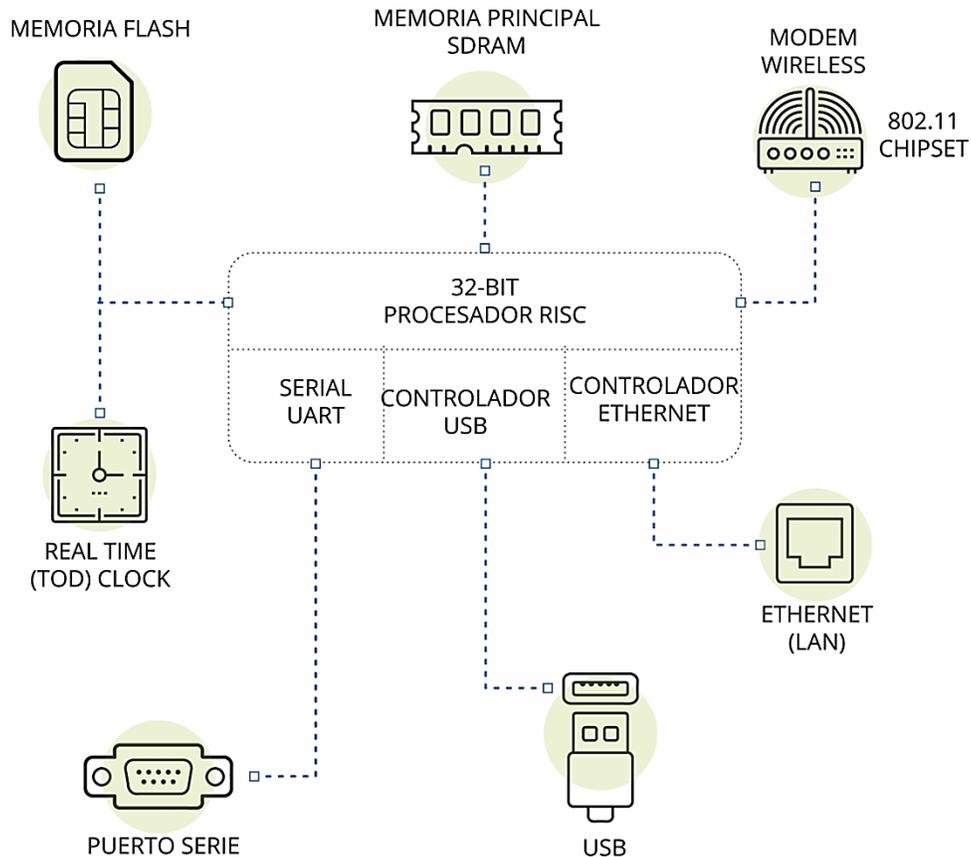


Figura 1.3 Descripción de un sistema embebido (nivel físico).

Se suele tener la creencia de que los sistemas embebidos son sistemas cerrados que carecen de interfaces con el usuario o con otros dispositivos, cuando realmente son equipos totalmente funcionales cuyo objetivo es ejecutar tareas de control. Otra creencia muy extendida es pensar que todos los sistemas embebidos son sistemas de tiempo real, cuando en realidad, no requieren esta característica por defecto. Básicamente, un sistema embebido se caracteriza por dos funcionalidades:

- **Fiabilidad:** Deben ser capaces de funcionar de manera ininterrumpida en modo desatendido.
- **Personalización:** Deben posibilitar la modificación del sistema de acuerdo a las necesidades del proceso.[6]

Llegados a este punto, analizaremos las componentes lógicas de un sistema embebido, las cuales incluyen aplicaciones informáticas que permiten realizar al usuario una tarea o diversas labores, que a su vez suelen ofrecer una gran potencia de uso y rapidez en la ejecución, ya que están exclusivamente diseñadas para resolver un problema específico.

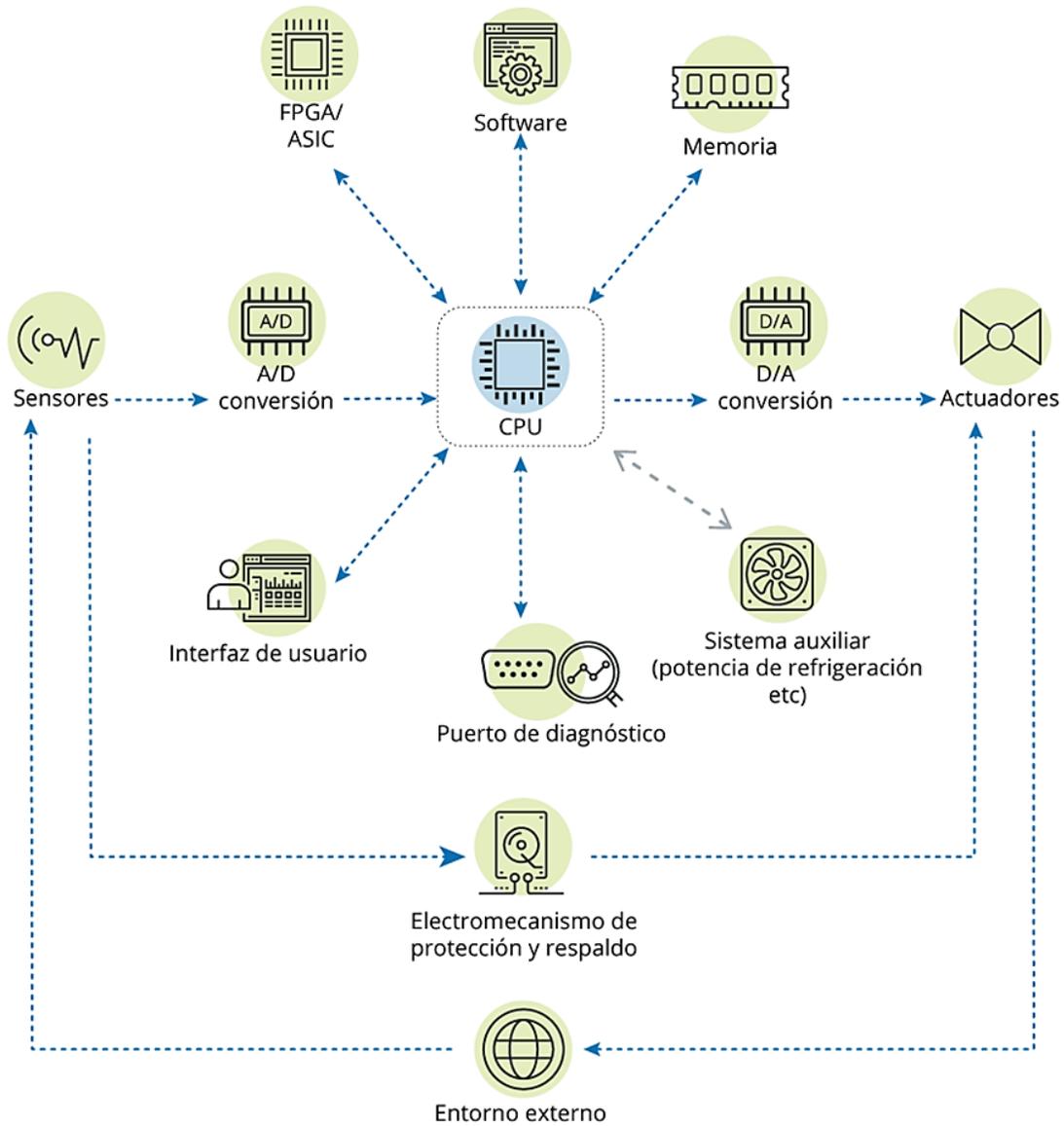


Figura 1.4 Componentes de un sistema embebido (nivel lógico).

La figura anterior en la parte superior muestra conceptos básicos que serán descritos en los siguientes párrafos. Mientras que en la parte inferior hace alusión a dos puntos clave en dicha tesis, la interfaz de usuario y el entorno externo, estos dos últimos son pieza clave y en el capítulo 4 se abordarán de forma más precisa.

Comenzando con los conceptos de la figura 1.4 a nivel lógico,

- **Unidad de Proceso Central (CPU)**

En la parte central de dichos sistemas se encuentra el microprocesador, microcontrolador, DSP, o cualquier otro tipo de dispositivo encargado del procesamiento.

- **Comunicación**

La comunicación adquiere gran importancia en los sistemas embebidos. Lo normal es que el sistema pueda comunicarse mediante interfaces estándar de cable o inalámbricas. Así un SI normalmente incorporará puertos de comunicaciones del tipo RS-232, RS-485, SPI, I²C, CAN, USB, IP, Wi-Fi, GSM, GPRS, DSRC, etc.

- **Visualización**

El subsistema de presentación tipo suele ser una pantalla gráfica, táctil, LCD, alfanumérico, etc.

- **Actuadores**

Son dispositivos que brindan la posibilidad de transformar diferentes tipos de energía para generar algún funcionamiento dentro de un sistema automatizado determinado. Usualmente, los actuadores generan una fuerza mecánica a partir de distintos tipos de energía, como puede ser eléctrica, neumática, o hidráulica.

- **Módulo E/S analógicas y digitales**

La sección de entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma comprensible para el CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores. La sección de salida también mediante interfaz trabaja de forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, y las amplifica y manda con ellas los dispositivos de salida o actuadores. Cabe mencionar que pueden ser tanto analógicas como digitales las entradas o salidas según sea el caso.

- **Módulo de energía**

Se encarga de generar las diferentes tensiones y corrientes necesarias para alimentar los diferentes circuitos del Sistema Embebido. Usualmente se trabaja con un rango de posibles tensiones de entrada que mediante convertidores AD/CD o DC/DC se obtienen las diferentes tensiones necesarias para alimentar los diversos componentes activos del circuito.

1.6 Arquitecturas reconfigurables

Los diseñadores de sistemas embebidos utilizan diversos elementos de procesamiento para tareas específicas de cada aplicación. El rendimiento de estos elementos se extiende desde los microcontroladores de propósito general a los procesadores multinúcleo que se encuentran a la vanguardia de la Ley de Moore.

“La ley de Moore fue ideada por el co-fundador de Intel, Gordon E. Moore, en la cual se manifiesta que en un tiempo aproximado de dos años se duplicará el número de transistores en un microprocesador. A pesar de que la ley originalmente fue formulada para establecer que la duplicación se realizaría cada año, el mismo Gordon E. Moore precisó la ampliación de su ley a un periodo de dos años. Cabe mencionar que la ley es empírica, formulada en el año de 1965 e increíblemente se ha podido constatar con regularidad hasta el día de hoy”

Además de proyectar cómo aumenta la complejidad de los chips (medida por transistores contenidos en un chip de computadora), la ley de Moore sugiere también una disminución de los costos. [7]

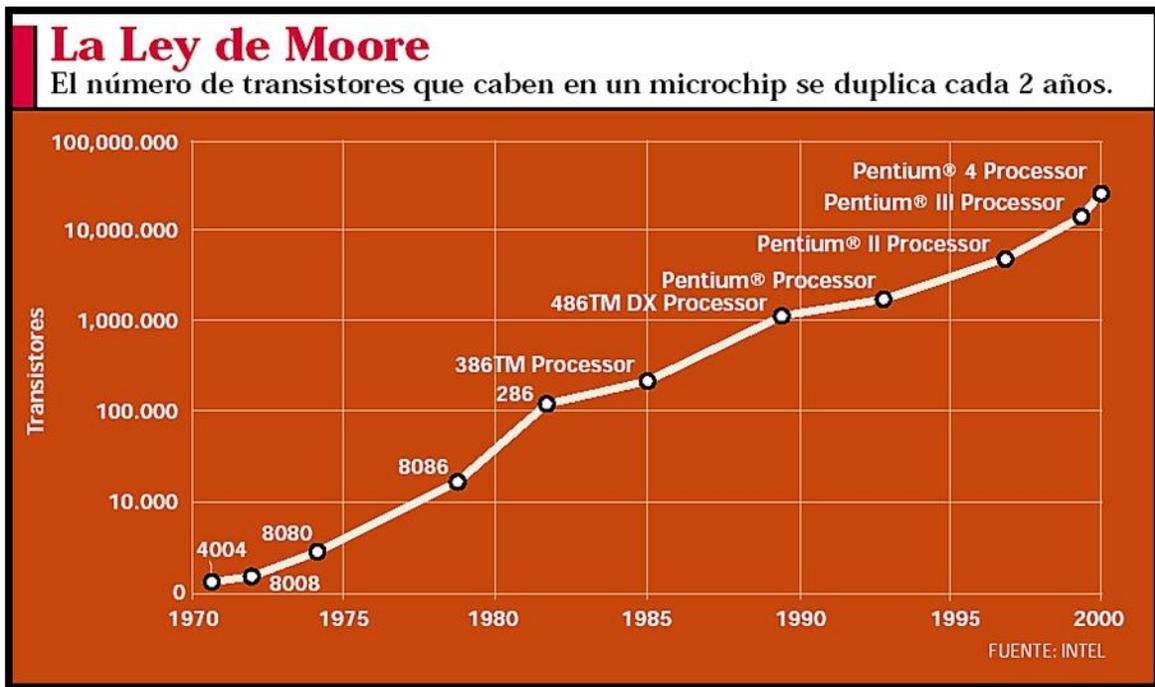


Figura 1.5 Ley de Moore.

Cada tecnología tiene sus fortalezas y debilidades que deben ser consideradas antes de decidir cuales se van a utilizar para el cerebro de un sistema embebido. Los dispositivos centrados en procesadores son más comunes en sistemas embebidos, pero pueden carecer de las características o prestaciones requeridas en los sistemas de control y monitorización de altas prestaciones.

En estos casos, los diseñadores suelen construir sistemas informáticos heterogéneos. Estos sistemas utilizan múltiples elementos especializados en el procesamiento, básicamente para satisfacer las necesidades de computación y tener acceso a todos los periféricos necesarios. El rendimiento de un sistema heterogéneo de computación aumenta no sólo con los núcleos adicionales, sino también con las capacidades especializadas de procesamiento para realizar tareas específicas.

1.6.1 Innovación y flexibilidad en los sistemas embebidos

Los procesadores de propósito general han sido el pilar de los sistemas embebidos. Un procesador ofrece diversas interfaces estándar con periféricos: Ethernet, RS-232, USB, CAN, SPI, memoria y otras más. Al basar un sistema en un microprocesador, los ingenieros crean típicamente E/S para la interfaz de una aplicación específica con una o más de estas interfaces de periféricos. Una vez que se selecciona el procesador, las posibles interfaces de E/S quedan fijadas y el sistema se vuelve rígido una vez desplegado.

Otro detalle que posee gran impacto sobre el diseño de los sistemas embebidos es la lógica programable, esta añade un alto grado de flexibilidad al sistema y por lo tanto puede ser reconfigurado en campo para satisfacer las necesidades cambiantes de un sistema ya desplegado sin los costes y los tiempos de entrega típicos de las modificaciones de las PCBs. A medida que los procesadores convencionales se centran en los dispositivos de consumo, las arquitecturas reconfigurables heterogéneas de computación suponen una combinación ideal de flexibilidad, rendimiento y costo para los sistemas de control embebido y monitorización.



Figura 1.6 Sistema informático heterogéneo.

Este es un ejemplo de un sistema informático heterogéneo, el cual se basa en una combinación de elementos de procesamiento: microprocesador y FPGA. [8]

1.7 Conclusión del capítulo 1

En la actualidad estamos viviendo una gran revolución referente a la información, nuevos cambios generan la necesidad de estar en una constante actualización relacionada con nuevas tecnologías que día a día son más sofisticadas. El poder desarrollar nuevas capacidades para poder competir en la vida laboral es algo fundamental en todas las áreas, y el utilizar equipos tecnológicos ya forma parte no sólo de nuestra ocupación, forma parte de nuestra vida cotidiana y la de nuestra sociedad que nos rodea.

Las nuevas tecnologías optimizan, facilitan y agilizan actividades que antes eran muy complejas, es decir, las invenciones tecnológicas han mejorado la calidad de vida, además de generar un cambio en la mentalidad de millones de personas, que de forma inherente a este proceso han adoptado un término elemental en dicha era, “innovación”, radicando en no acaparar ideas y conocimientos, sino compartir y realizar acciones en común.

Por otra parte, no se debe olvidar hablando en materia de tecnología un término que a pesar de no ser muy nombrado está en casi todas partes, nos referimos a los sistemas embebidos. Los cuales son sistemas electrónicos diseñados para realizar funciones puntuales en tiempo real, según sea el caso. En pocas palabras, estos sistemas tienen la cualidad de integrar equipos de cómputo y herramientas informáticas para formar un sistema inteligente que resuelva necesidades particulares.

Capítulo 2

Consideraciones para la construcción de un sistema de instrumentación.

2.1 Introducción

En este capítulo se discutirán consideraciones esenciales en la instrumentación, la prioridad absoluta que conlleva actualmente obtener la máxima precisión y la más alta fiabilidad, además de los constantes cambios y como se ha convertido en una herramienta indispensable para ingenieros, científicos y técnicos que requieren de sistemas electrónicos de medida.

Algo semejante ocurre en los procesos industriales, no hay casi nada más importante que medir, posicionar, registrar y regular. Por ello, la instrumentación de procesos es una eficaz herramienta que permite incrementar el rendimiento de las instalaciones de tecnología de procesos y mejorar la calidad de los productos.

2.2 Fundamentos de instrumentación

Con el fin de establecer las bases de los sistemas de Instrumentación, se hará una breve y general recapitulación de sus fundamentos prácticos. De manera general, la Instrumentación se define como el conjunto global de equipos y dispositivos que son capaces de proveer información sobre cantidades físicas, química o biológicas mesurables (llamadas *variables físicas*) o estados [9].

Es importante no confundir a la Instrumentación, ciencia de la Ingeniería, con la *metrología*, ciencia que trata sobre “*la medición como el proceso cognitivo de obtención de información del mundo físico*” [10].

En su representación más elemental, un sistema de instrumentación como el mostrado en la Figura 2.1, contiene los siguientes elementos [11]:

Sensor Dispositivo que provee información sobre el estado de un sistema a partir de la medición de cierta variable física y su transformación en una señal eléctrica. Es importante mencionar que un sensor es un tipo de transductor, pero que no todo transductor es un sensor.

Procesamiento También llamado *acondicionamiento*, provee de ciertas condiciones a la señal de salida del sensor; entre las más comunes se encuentra el filtrado, amplificación y atenuación.

Almacenamiento/Visualización Dado que el propósito específico de los sistemas de instrumentación es la obtención de información, ésta puede ser visualizada o almacenada, para su posterior análisis.

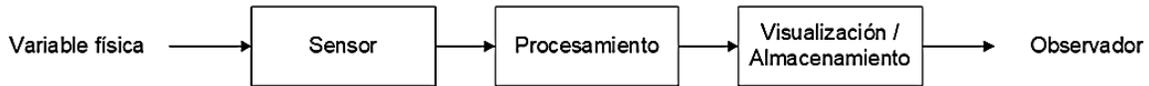


Figura 2.1 Diagrama general de un sistema de instrumentación. Adaptada de [11].

Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos clases principales, analógicas y digitales.

Dicho de una forma sencilla la mayoría de los equipos de instrumentación digitales están basados en una computadora u otro dispositivo. De esta forma la computadora o dispositivo resuelve todos los aspectos relativos al procesado de la señal, al registro, a la transferencia y a la presentación de la información. Muchas de las veces suelen conocerse estos equipos basados en esa tecnología, como instrumentación inteligente. La principal diferencia entre un equipo de instrumentación convencional o analógico, y un equipo de instrumentación digital, es que mientras que en el analógico los datos de medida son generados uno a uno y deben ser interpretado o interpretados por el operador, en la instrumentación digital o inteligente se puede registrar grandes cantidades de información de forma automática y luego presentarla de forma integrada y amigable al operador.

Utilizar un sistema de instrumentación digital proporciona una amplia gama de recursos para almacenar la información que se obtiene, además y respecto a la visualización de información se utilizan infinidad de técnicas numéricas y gráficas, tal como lo analizaremos en el último capítulo de este trabajo. [12]

De manera que la incorporación de una computadora o diversos dispositivos presentan grandes ventajas, por ejemplo, se tiene una mayor capacidad para procesar, almacenar y presentar la información que se obtiene al poder utilizar métodos numéricos, por otro lado representa un menor costo como resultado de la estandarización del hardware que se requiere para construir los equipos. Prosiguiendo con el análisis, una realidad que se vive en la actualidad es el significativo incremento de personal para diseñar y mantener los equipos que requieren expertos de programación y procesado numérico de señales, mientras que los expertos en electrónica analógica van a la baja.

2.3 Consideraciones básicas

Justo como se mencionó en la anterior sección, los procesos en los que se apoyan la ciencia y tecnología generan variables físicas, las cuales se pueden medir mediante instrumentos que tienen como misión determinar la magnitud de una variable, visualizarla, generarla o convertirla en otra diferente. El proceso de medición requiere el uso de instrumentos como medios físicos para determinar la magnitud de una variable. Los instrumentos constituyen una extensión de las facultades humanas y en muchos casos permiten a las personas determinar el valor de una cantidad desconocida, la cual no podría medirse utilizando solamente las facultades sensoriales, por lo tanto, un instrumento se puede definir como un dispositivo para determinar el valor o la magnitud de una cantidad o variable. El instrumento

electrónico, como lo indica su nombre, se basa en principios eléctricos o electrónicos para efectuar alguna medición, puede ser un aparato relativamente sencillo y de construcción simple o un sistema complejo [13].

En un proceso debemos distinguir a nivel de variables las siguientes:

Las variables de salida, que son aquellas que se desea mantener bajo control del medio, mientras que las variables de entrada, por medio de las cuales se pueden actuar para afectar el valor de las variables de salida.

Existen además, otras variables y parámetros que tienen incidencia sobre las variaciones de salida, muchas veces resulta complicado y hasta costoso influir sobre éstas o cuyo valor depende de otros procesos. Dichas variables, que son generalmente de carácter aleatorio, se denominan perturbaciones.

Por otra parte, en todo proceso, entendido éste como la función y operaciones utilizadas en tratamiento de material, la ingeniería de procesos persigue los siguientes objetivos:

Coadyuvar a una mejor calidad de vida

Mejorar la calidad del producto que se está produciendo.

Disminuir el costo de producción, lo que se consigue operando en regímenes óptimos, que hagan posible un mínimo consumo de materias primas o energía, la cual minimicen al mismo tiempo, los desgastes de equipos e instalaciones

Introducir seguridad a las operaciones, tanto en lo relativo a máquinas como personas.

Por ello, la necesidad indispensable de incorporar al proceso instrumentos que nos permitan controlar las diversas variables de este en forma tan exacta como se requiera, a objeto de satisfacer las especificaciones del producto.

2.3.1 Consideraciones adicionales

Habría que mencionar que una de las perspectivas citadas por el M.I. Miguel Ángel Benítez Torreblanca en la realización del Sistema de Instrumentación, fue considerar adicionalmente lo siguiente:

De acuerdo a consideraciones prácticas y de experiencia en campo, Alessandro Birolini propone una serie de alternativas concretas para el aumento de fiabilidad de un sistema [14]:

- Reducción de esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos
- Verificación de interfaces en componentes y materiales
- Simplificación de diseño y construcción
- Uso de materiales y componentes de calidad
- Protección contra Descargas Electrostáticas [*Electrostatic Discharge (ESD)*] y validación de Compatibilidad Electromagnética [*Electromagnetic Compatibility (EMC)*]

- Evaluación detallada de componentes y ensambles críticos
- Uso de redundancia

2.4 Sistema integral de instrumentación control y telemetría.

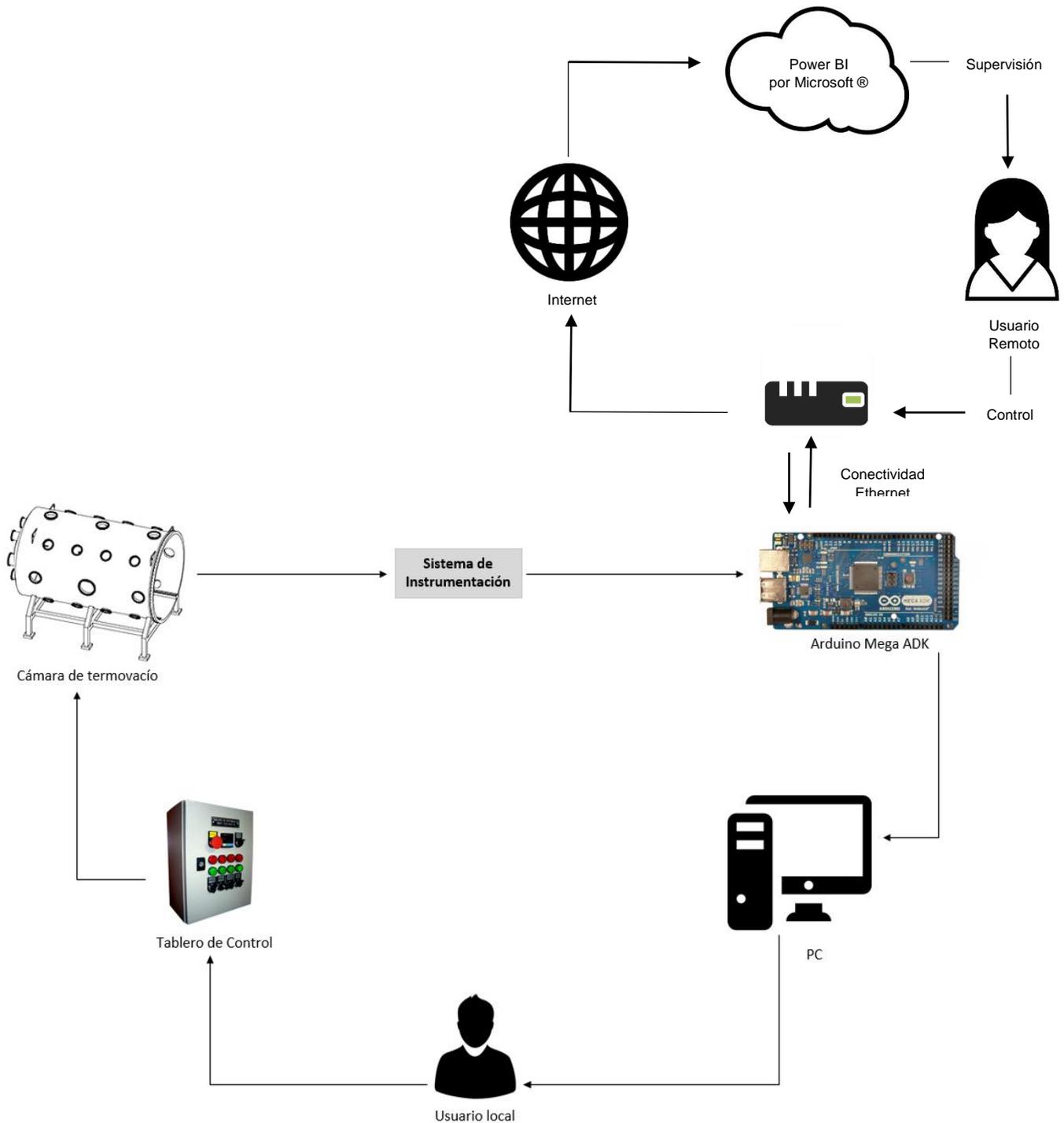


Figura 2.2 Diagrama integral del sistema de Instrumentación para una cámara de termovació.

Para comprender los Fundamentos de Instrumentación ya mencionados con anterioridad, se retoma el diagrama general a bloques, el cual servirá para ir desglosar cada sección e ir determinando la ejecución del sistema en general.

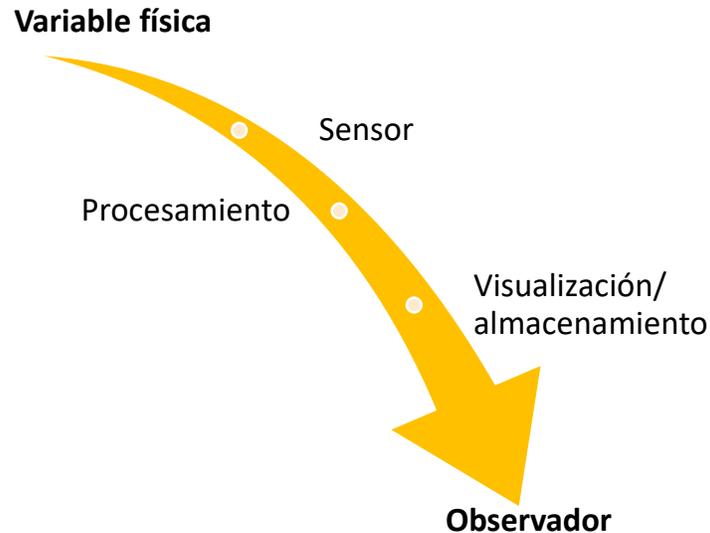


Figura 2.3 Proceso en un sistema de instrumentación.

En el año 2016, México ocupó el lugar número 63 en cuanto a la adaptación de tecnología según el Foro Económico Mundial. Esto representa un avance de 13 lugares con respecto al año 2012. México ha sido uno de los pocos países que presentaron un avance en este rubro.

Actualmente, más personas han tenido acceso a la tecnología, a nuevos dispositivos, a smartphones, computadoras y tabletas, sin embargo la penetración a Internet sigue siendo baja dentro de nuestro país, siendo el precio por el acceso a la red de redes el mayor problema. Esto ha traído consigo un avance mínimo en cuanto a la economía. [15]

Esta breve estadística nos dan una idea de hacia dónde se dirige nuestro país en cuestiones de tecnología, y nos marca una línea muy clara de las áreas de oportunidad donde debemos trabajar.

Tal y como lo señaló la Revista Forbes México en el año 2014, el futuro tiene un nombre, el llamado Internet de las cosas. Dicho brevemente se refiere a que todas las cosas estén conectadas a Internet.

Considerando el incremento sustancial de los dispositivos, entre muchos más, pero el internet de las cosas va mucho más allá.

Hoy, sólo el 1% de los objetos del mundo está conectado. Básicamente la hiperconexión consiste en que cada dispositivo que exista a nuestro alrededor vaya dotado de una dirección de internet, y por tanto, capacidad para comunicarse con otros objetos, y de tener

relación, es decir, internet saldrá del carril de la informática y colonizará cualquier cosa que se nos ocurra.

Esa comunicación se hará por muchos medios: WiFi, WiMax, RFID, 3G, LTE, Bluetooth, NFC, entre otros; no solo se habla de dispositivos que hoy ya tienen electrónica, como puede ser una lavadora o un refrigerador, sino de otros que no la tienen como un interruptor, un termostato, un foco, e incluso dispositivos mecánicos.

El desarrollo del internet de las cosas implica que cada vez más las conexiones a internet serán entre máquinas, y no entre personas que se mandan un correo electrónico o mensajería instantánea, y que hará posible que miles de millones de sensores y chips comuniquen los datos que registran, ayudando quizá a regular el tráfico de las ciudades, a medir el consumo de energía del alumbrado público. [16]

Actualmente por dispositivos entendemos PCs, tabletas y teléfonos móviles, pero en 2020 el número y tipo de dispositivos crecerá notablemente en torno a sensores o tecnologías basadas en etiquetas RFID (identificador de radiofrecuencia). De acuerdo a un estudio realizado por la OBS Business School en España se prevé que en el año 2020, más de 30 mil millones de dispositivos estarán conectados a Internet.

Es por eso que después de este preámbulo resulta oportuno decir que el usuario remoto tendrá poder sobre la supervisión y control en las dos opciones propuestas.

La primera mediante el acceso local a la tarjeta; la segunda mediante el acceso a la aplicación Power BI de Microsoft®, que pone cualquier dato, de cualquier forma y en cualquier lugar, de forma rápida y precisa para así siempre tener el conocimiento al alcance.

El anterior párrafo está asociado a la sección 4.6 del Capítulo 4, sin embargo, es oportuno mencionar dicha solución puesto que completa el sistema de forma integral y permite garantizar un funcionamiento óptimo en cualquier momento y lugar.

2.5 Función para pruebas de certificación espacial

En esta sección analizaremos de manera detallada lo referente a la función requerida, en donde se especifica la tarea del elemento o sistema; es el punto de partida para cualquier análisis.

En la definición de la función requerida suelen establecerse, entre otras cosas, las condiciones de operación (humedad, temperatura, medios corrosivos, vibraciones, ruido, etc.); éstas condiciones específicas son determinantes en la consideración del espacio final donde el sistema desempeñará su misión. En una primera estimación, es también posible indicar dichas condiciones con un margen de tolerancia o incertidumbre.

En términos generales, la definición incluye los límites del sistema, desempeño requerido y modos de operación.

2.5.1 Definición

Iniciando con la definición es preciso detallar algunas de las especificaciones de la cámara de termovacío que posee el Laboratorio de Termo-vacío, en la Unidad de Alta Tecnología en Juriquilla, Qro.

La cámara de termovacío posee:

- Dimensiones: 2m. de diámetro, 3.5m. de largo.
- Para cumplir con estándar militar ($\sim 10E-4$ Torr) en la primera fase, ($\sim 10E-8$ Torr) en la fase final.
- Puede trabajar a bajas y altas temperaturas de operación (± 100 °C).
- Permite montar experimentos dentro de la cámara y añadir cámaras adicionales.
- Permite probar un satélite de dimensiones 1 m x 1 m x 1 m con paneles extendidos.[17]

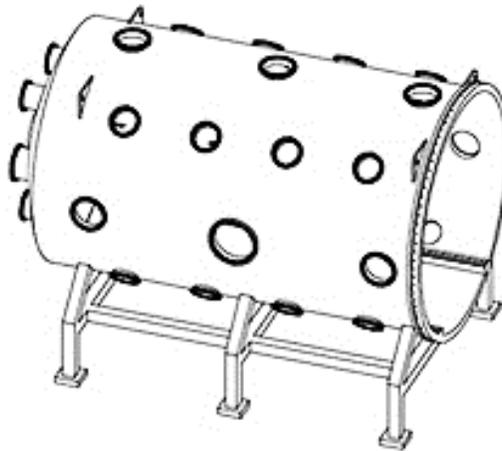


Figura 2.4 Puntos críticos en la cámara de termovacío.

Para el caso del sistema de instrumentación de una cámara de termovacío, se propone la siguiente función requerida:

Registro de temperatura en puntos críticos de la cámara (establecidos en la Figura 2.4), con el fin de ofrecer condiciones de registro y supervisión que permitan la evaluación de los siguientes puntos:

Evaluación de condiciones operacionales en la sección de las bridas respecto a los sensores.

Bajo las siguientes condiciones de operación y tiempo de misión:

- Operación continua de 5 a 10 días.
- Temperatura de operación en el intervalo de -140 °C a 250 °C
- Cumplir con el estándar $\sim 10E-4$ Torr en la primera fase, $\sim 10E-8$ Torr en la fase final.

2.6 Sensor

La calidad, costo y aplicación de un sensor, se relacionan con los siguientes parámetros [18]:

Especificaciones

Aseveraciones del fabricante sobre las capacidades generales del sensor o instrumento en relación a los errores límite declarados.

Sensibilidad

Razón de cambio de la variación de la variable independiente respecto a la variación de la variable dependiente.

Especificidad

Es la habilidad del instrumento de distinguir la variable de interés entre otras variables ajenas.

Exactitud

Se refiere a la relación de *cercanía* existente entre el valor verdadero y el valor medido.

Resolución

Es el incremento más pequeño que puede medirse con certeza.

Incertidumbre Es la desviación existente entre el valor verdadero y el valor medido.

Precisión Es una medida de la repetibilidad de la medición. Una alta precisión indica la habilidad de replicar una medición dentro de límites estrechos. También puede definirse como la menor diferencia mesurable entre dos valores contiguos.

Rango de operación Se refiere a los extremos superior e inferior que el instrumento es capaz de medir. No sólo es relevante en relación a la seguridad del instrumento, sino al rango en que el fabricante garantiza las condiciones de precisión e incertidumbre.

Condiciones operativas Son las condiciones ambientales que el sensor, en correcta operación, es capaz de soportar.

2.6.1 Sensores de temperatura

Para medir la temperatura a partir de variables eléctricas, existen tres alternativas principales: los Detectores resistivos de Temperatura [*Resistive Temperature Detector*

(RTD)], termistores y termopares. Los termistores, a su vez, existen en dos clases diferentes de acuerdo a su coeficiente de temperatura, positivo o negativo (*Negative Temperature Coefficient (NTC)* y *Positive Temperature Coefficient (PTC)*). Estos dispositivos se abordarán de forma comparativa en la Tabla 2.1.

RTD Consiste en una película delgada de platino o níquel. Su resistencia varía con la temperatura, y puede medir temperaturas de hasta 850 °C. Presentan una gran estabilidad a largo plazo y un comportamiento lineal en casi todo su rango de operación. Entre sus desventajas generales está el tiempo de respuesta lento, la baja sensibilidad, y que necesitan una corriente de excitación para su operación, lo que causa un incremento de temperatura indirecto en el dispositivo, mismo que puede afectar las lecturas obtenidas. Son los sensores más precisos, sin embargo, es el tipo de sensor más caro.

Termistor Un termistor es un resistor no lineal formado por óxidos metálicos que varían su resistencia con cambios de temperatura. Entre sus desventajas está la no linealidad, así como la temperatura máxima de operación general, que es de 200 °C. Su tiempo de respuesta es bueno y son más baratos que los RTD.

Termopar Su estabilidad decrece a largo plazo, y su precisión no es tan buena como la de los otros dos tipos de sensores (± 0.75 °C). Su uso en rangos de temperatura bajos menores a 100 °C no es recomendado debido a las pocas variaciones de tensión entre sus terminales, que es el principio de operación del mismo. Los mejores resultados en estabilidad y presión se obtienen en temperaturas mayores a los 250 °C. Aunque su precio es bajo, debido a estas características se propone que este tipo de sensores no sea utilizado para los fines que se persiguen.

Tabla 2.1: Comparación entre sensores de temperatura.

Característica	RTD	Termistor	Termopar
Temperatura de operación	Hasta 850 °C	Hasta 200 °C	Mayor a 200 °C
Tiempo de respuesta	1-50 s	0.05 a 2.5 s	0.1 a 10 s
Estabilidad	Buena	Buena	Decrece a largo plazo
Linealidad	Alta	No lineal	Generalmente no lineal
Resolución	1 °C	± 75 °C	1 °C
Precisión	0.1 a 1.0 °C	0.1 a 1.5 °C	0.5 a 5.0 °C
Precio	Alto	Medio	Bajo

2.6.2 Evaluación de sensores

Después de adentrarnos de manera general a lo que es un sensor y los parámetros que se relacionan, se prosiguió con la comparativa de los sensores de temperatura en los cuales encontramos tres tipos, los Detectores Resistivos de Temperatura [*Resistive Temperature Detector (RTD)*], los termistores y los termopares o también conocidos como termocuplas.

Respecto a la comparativa de la Tabla 2.1 donde analizan dichos sensores de temperatura, de primera instancia queda descartado el termistor, debido a que sus rangos de operación referente a la temperatura requerida no rebasan los 200 °C, además de que el tiempo de respuesta son más tardíos que las otras dos opciones.

Al mismo tiempo y volviendo la definición de lo que se requiere al implementar el sistema de instrumentación encontramos que los rangos de temperatura deben llegar a -140 °C, lo cual para los Detectores Resistivos de Temperatura [*Resistive Temperature Detector (RTD)*] si lo obtienen, sin embargo, están orientados a rangos de operación a temperaturas altas, su costo es elevado, argumento importante en la primera elaboración y aunque se recomiendan para actividades industriales con más actividad continua, queda descartado en la primera manufacturación de nuestro sistema de Instrumentación.

Finalmente se tiene un tipo de sensor de temperatura, el termopar, a continuación se describen características de su composición y posteriormente el análisis a fondo del por qué se seleccionó.

Un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

En Instrumentación industrial, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas [19].

El primer criterio para decidirse por un termopar es el diámetro lo más reducido posible de un termopar con revestimiento. Los diámetros de 0,25 mm, 0,5 mm o 1 mm tienen tiempos de respuesta asombrosamente reducidos.

En general, los termopares reaccionan más rápido que los Detectores Resistivos de Temperatura [*Resistive Temperature Detector (RTD)*].

A continuación se muestran la comparativa de tablas de los tres termopares más comunes y que se aproximan a las condiciones de rangos de operación.

Tipo K

Tabla 2.2: Composición de materiales termopar tipo K.

Punta +	Punta -
Ni Cr	Ni Al
Cromo, Níquel	Aluminio, Níquel (magnético)

Los termopares de NiCr-NiAl son ideales para utilización en atmósferas oxidantes o de gas inerte hasta 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C) con el máximo espesor de filamento. Proteger los termopares de atmósferas que contengan azufre. Dado que su susceptibilidad a la oxidación es menor que la de termopares de otro material, se utilizan mayormente para temperaturas superiores a 550 °C.

Tipo T

Figura 2.3: Tabla composición de materiales termopar tipo T.

Punta +	Punta -
Cu	Cu Ni
Cobre	Cobre, Níquel

Los termopares de Cu-CuNi son ideales para temperaturas bajo 0 °C con un límite máximo de temperatura de 350 °C (ASTM E230: 370 °C) y pueden utilizarse en atmósferas oxidantes, reductoras o de gas inerte. No se oxidan en atmósferas húmedas.

Tipo J

Tabla 2.4: Composición de materiales termopar tipo J.

Punta +	Punta -
Fe	Cu Ni
Hierro (magnético)	Cobre, Níquel

Los termopares de Fe-Cu Ni son ideales para el uso en vacío, en atmósferas oxidantes y reductoras o atmósferas de gas inerte. Se utilizan para mediciones de temperatura hasta 750 °C (ASTM E230: 760 °C) con el máximo espesor de filamento.

2.6.3 Ubicación de sensores

La ubicación de los sensores está dada por las bridas de seguridad donde ingresará el sensor con su respectiva cubierta de teflón para prevenir que se dañe en las pruebas de laboratorio.



Figura 2.5 Cámara de termovacío.

2.7 Selección de componentes electrónicos

En la anterior sección se analizaron los tipos y modelos de sensores a emplear, así como su localización dentro del sistema de instrumentación para la cámara de termovació. Por otra parte, uno de los elementos determinantes en el funcionamiento de todo el sistema es la selección de una fuente de alimentación a partir de las necesidades energéticas de consumo. Por lo tanto se presenta de forma breve el criterio y desglose de los elementos electrónicos.

2.7.1 Criterios de selección para componentes electrónicos

Con el propósito de generar un sistema de alto nivel, es prudente seleccionar elementos que, de manera independiente, posean alta fiabilidad. Algunos de los criterios para su selección son los siguientes [20]:

1. Evaluar la aplicación específica, condiciones de operación, objetivos de fiabilidad y seguridad.
2. Especificar las propiedades del componente considerado, así como sus límites, posible vida útil, comportamiento a largo plazo, y parámetros específicos relevantes.
3. Posibilidad de pruebas aceleradas.
4. Resultados en pruebas de calidad.
5. Experiencia en operaciones de campo.
6. Influencia del tiempo de operación en reducción de potencia.
7. Problemas de diseño potenciales, como la sensibilidad de parámetros de operación o Compatibilidad Electromagnética (EMC).
8. Problemas potenciales de producción (ensamble, prueba, manejo, almacenamiento).
9. Consideraciones de compra (Costos, tiempos de entrega, disponibilidad, proveedores, calidad).

La última consideración es sumamente importante puesto que muchas de las componentes fueron importadas, los cambios flotantes de la moneda determinado por los mercados internacionales también es un factor que se consideró al momento de su compra. Así mismo los tiempos de entrega resultan muy importantes si se requiere implementar de forma diligente.

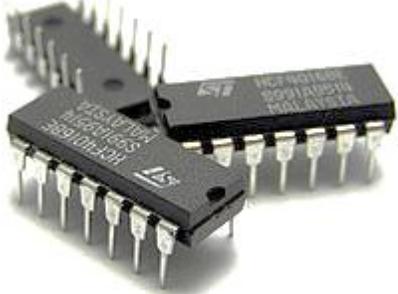
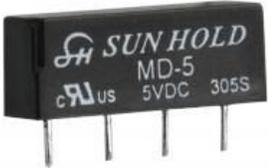
2.7.2 Tipos de encapsulado

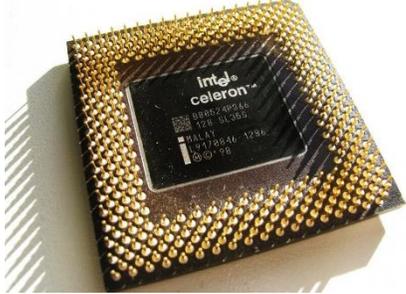
De manera general, los IC pueden clasificarse de acuerdo a su hermeticidad [21]. Los encapsulados *herméticos* son aquellos encapsulados cuyo material exterior es cerámico o metálico; los *no herméticos* presentan encapsulado plástico.

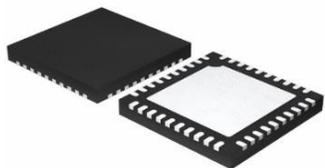
El encapsulado *no hermético* es, generalmente, menos costoso, menos sensitivos a choques térmicos o colisiones mecánicas pero son permeables a la humedad. Para que este tipo de encapsulado pueda ser aplicado, deben cumplirse ciertas condiciones para garantizar que el uso de este tipo de encapsulado será fiable.

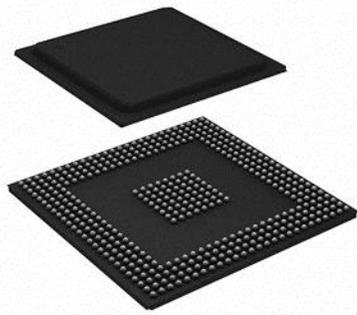
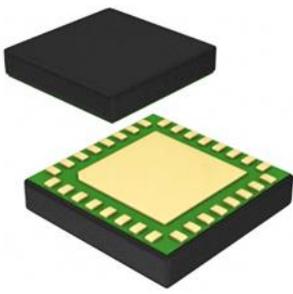
A continuación se muestra una tabla con algunos de los diferentes tipos de encapsulados más comunes encontrados en el mercado.

Tabla 2.5: Comparativa de los tipos de encapsulados.

TIPO	IMAGEN
<p>DIP:</p> <p>Los pines se extienden a lo largo del encapsulado (en ambos lados) y tiene como todos los demás una muesca que indica el pin número 1. Este encapsulado básico fue el más utilizado hace unos años y sigue siendo el preferido a la hora de armar plaquetas por partes de los amantes de la electrónica casera debido a su tamaño lo que facilita la soldadura. Hoy en día, el uso de este encapsulado industrialmente se limita a UVEPROM y sensores.</p>	
<p>SIP:</p> <p>Los pines se extienden a lo largo de un solo lado del encapsulado y se lo monta verticalmente en la plaqueta. La consiguiente reducción en la zona de montaje permite una densidad de montaje mayor a la que se obtiene con el DIP.</p>	

<p style="text-align: center;">PGA:</p> <p>Los múltiples pines de conexión se sitúan en la parte inferior del encapsulado. Este tipo se utiliza para CPUs de PC y era la principal opción a la hora de considerar la eficiencia pin-capsula-espacio antes de la introducción de BGA. Los PGAs se fabricaron de plástico y cerámica, sin embargo actualmente el plástico es el más utilizado, mientras que los PGAs de cerámica se utilizan para un pequeño número de aplicaciones.</p>	 <p>A square integrated circuit with a dense array of gold-plated pins on its bottom surface. The top surface is black with the Intel logo and 'celeron' branding, along with technical specifications like 'BR02 400MHz' and '128 6L055'.</p>
<p style="text-align: center;">SOP:</p> <p>Los pines se disponen en los 2 tramos más largos y se extienden en una forma denominada en inglés como "gull wing formation" formación de ala de gaviota, este es el principal tipo de montaje superficial y es ampliamente utilizado en los ámbitos de la microinformática, memorias y circuitos integrados analógicos que utilizan un número relativamente pequeño de pines.</p>	 <p>A small, black, rectangular component with two long, white, gull-wing shaped leads extending from the bottom edge. The top surface is marked with 'HY711' and '70118217'.</p>
<p style="text-align: center;">TSOP:</p> <p>Es la versión que mantiene pines a los laterales mejorando la versión del encapsulado SOP en la cual el circuito es elaborado de forma más delgada.</p>	 <p>A small, black, rectangular component with two long, thin leads extending from the left and right sides. The top surface has a gold-colored logo.</p>
<p style="text-align: center;">QFP:</p> <p>Es la versión mejorada del encapsulado SOP, donde los pines de conexión se extienden a lo largo de los cuatro bordes. Este es en la actualidad el encapsulado de montaje superficial más popular, debido que permite un mayor número de pines.</p>	 <p>A square integrated circuit with leads extending from all four sides. The top surface is black with the 'ATMEL' logo in gold.</p>

<p style="text-align: center;">LQFP:</p> <p>El encapsulado cuadrado plano de perfil bajo o también conocido en inglés como Low-profile Quad Flat Package, es un encapsulado de circuito integrado para montaje superficial con los conectores de componentes extendiéndose por los cuatro lados. Los pines se numeran en sentido contrario a las agujas del reloj a partir del punto guía.</p>	
<p style="text-align: center;">SOJ:</p> <p>Las puntas de los pines se extienden desde los dos bordes más largos dejando en la mitad una separación como si se tratase de 2 encapsulados en uno. Recibe éste nombre porque los pines se parecen a la letra “J” cuando se lo mira desde el costado. Fueron utilizados en los módulos de memoria SIMM.</p>	
<p style="text-align: center;">QFJ:</p> <p>Al igual que el encapsulado QFP, los pines se extienden desde los 4 bordes, sin embargo conservan el estilo de pines en forma de letra “J”, ésta es una mejora de SOJ.</p>	
<p style="text-align: center;">QFN:</p> <p>Es similar al QFP, pero con los pines situados en los cuatro bordes de la parte inferior del encapsulado. Este encapsulado puede hacerse en modelos de poca o alta densidad.</p>	

<p>TCP:</p> <p>El chip de silicio se encapsula en forma de cintas de películas, se puede producir de distintos tamaños, el encapsulado puede ser doblado. Se utilizan principalmente para los drivers de los LCD.</p>	
<p>BGA:</p> <p>Los terminales externos, en realidad esferas de soldadura, se sitúan en formato de tabla en la parte inferior del encapsulado. Este encapsulado puede obtener una alta densidad de pines, comparado con otros encapsulados como el QFP, el BGA presenta la menor probabilidad de defectos en el montaje respecto a las plaquetas.</p>	
<p>LGA:</p> <p>Es un encapsulado con electrodos alineados en forma de arreglo en su parte inferior. Es adecuado para las operaciones donde se necesita alta velocidad debido a su baja inductancia. Además, en contraste con el BGA, no tiene esferas de soldadura por lo cual la altura de montaje puede ser reducida.</p>	

La finalidad de la tabla 2.5, es comprender más a detalle la evolución de la tecnología respecto al tipo de encapsulado, de forma notable el proceso de transformación implica diversas características. La primera, sin duda es el tamaño que dichas componentes tenían en los albores de su producción, actualmente es increíble poseer elementos de proporciones diminutas, otro factor muy importante es la hermeticidad como mencionó al inicio de la tabla, puesto que hay componente que son manufacturadas para condiciones de temperaturas extremas o inclusive piezas que pueden estar expuestas a colisiones.

De forma subsecuente pero no menos importante, se tiene el enfoque para el cual están elaboradas, recordando que anteriormente la tecnología de montaje superficial no existía o estaba en una etapa inicial, por lo cual las componentes eran elaboradas de forma muy robusta listas para soldarse de forma manual, en la actualidad se poseen mecanismos que se encargan de soldarlos y tener una precisión increíbles.

Finalmente, tal y como es señalado en la Ley de Moore, la capacidad que dichas componentes pueden tener respecto al tiempo está marcado también por las diversas funciones que pueda desempeñar, teniendo presente una notable disminución de los costos siendo asequible para el público en general.

2.8 Conclusión del capítulo 2

El comprender más a detalle las consideraciones para construir un sistema de instrumentación, genera un panorama de cada parte que debe analizarse desde tener una variable física hasta lograr almacenar o visualizar los datos obtenidos.

Uno de los elemento clave en éste capítulo sin duda es el sensor. De forma breve se analizaron las diferentes alternativas de sensores en el capítulo 2, seleccionando por los rangos de operación referente a la cámara de termovació (-140 °C a 250 °C) el sensor termopar tipo T, el cual de acuerdo a su hoja de especificación maneja un rango de temperaturas de (-200 °C a 300 °C).



Figura 2.6 Termopar tipo T.

En relación a la figura 2.6, la parte positiva del sensor corresponde al color azul el material es Cu (Cobre), mientras que la parte negativa está dada por el color rojo y el material de fabricación en ese extremo es Cu55Ni45 (Constatan).

El sensor presenta una gran ventaja, el costo, a diferencia de otros sensores analizados, los termopares son fácil de adquirir gracias a su precio bajo, sin embargo, el termopar tipo T no se encuentra entre los más comercializados, siendo difícil su cotización y compra, incluso con empresas de nivel internacional.

Otra ventaja presentada, es la capacidad de ser puesto en contacto directo con el material que se está midiendo. Recordando que los termopares utilizan lecturas de voltaje para medir la temperatura, el único detalle que debe tenerse al momento en que se ubique en contacto directo con el material que se está midiendo es asegurar que el termopar esté conectado a tierra de forma segura.

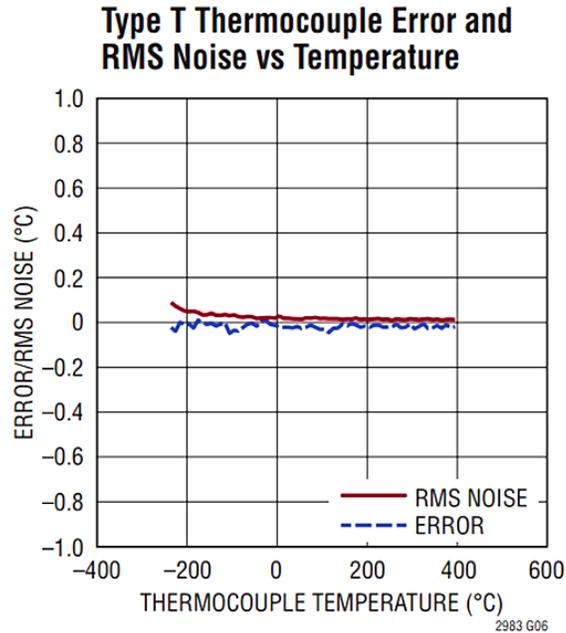


Figura 2.7 Termopar tipo T, Error y Ruido RMS vs Temperatura. [33]

De acuerdo a la figura 2.7, el termopar tipo T no presenta variaciones drásticas cercanas a 0 °C, es más común que se presenten a bajas temperaturas, sin embargo analizando las gráficas de otros tipos de termopares, el tipo T es de los mejores en ese ámbito.

La estabilidad del sensor es buena pero suele decrecer a largo plazo, en contra posición podemos decir que el tiempo de respuesta es alto y posee una precisión buena.

Por otra parte la elección de las componentes es una parte crucial, puesto que al proponerse un diseño de montaje superficial se debe aprovechar el espacio en la mayoría de lo posible. Recurrir a herramientas profesionales para no dañar las piezas será crucial en el proceso de construcción de todo el sistema de instrumentación para la cámara de termovació.

Capítulo 3

Elaboración de placas de circuito impreso en un sistema de instrumentación para una cámara de termovacío.

3.1 Introducción

En éste capítulo se considerará inicialmente posturas teóricas de ciencia, tecnología y sociedad, en donde claramente se retomaran algunos conceptos iniciales encaminados en pro de la humanidad y con ello una mejor en la calidad de vida referente a la sección 1.1. Además de la relación del desarrollo tecnológico que se da a partir de los conflictos armados, específicamente la Segunda Guerra Mundial y los años de postguerra, en donde la tecnología floreció de una forma impresionante y que hasta nuestros días sigue influyendo de manera directa en el presente. Sin embargo, la parte medular de este capítulo tiene que ver en cuestión de las alternativas de elaboración para que nuestro sistema de instrumentación sea innovador, práctico y sobretodo ideal para pruebas de laboratorio durante un tiempo constante.

3.1.1 Origen

Es necesario recalcar que la historia es manifiesta en relación a los años de postguerra en donde las fricciones entre dos bloques, por un lado Estados Unidos de América y por el otro la URSS, desencadenó una encañizada batalla de supremacía militar. Dicha rivalidad libró batallas esencialmente en terreno tecnológico

Sí bien, se produjo una proliferación de armas nucleares de creciente potencia y, por otro, fueron apareciendo los medios para transportarlas hasta puntos cada vez más remotos.

Ahora bien, es conveniente subrayar que los primeros años de la posguerra estuvo primordialmente enfocada a la reconstrucción y no tanto a la innovación. Muchas de las actividades cotidianas anteriores a la guerra prácticamente se habían suspendido y sus responsables se limitaron a retomarlas en el punto en que las habían dejado.

Un aspecto muy interesante que no debe quedarse fuera del análisis, es precisamente los cambios más significativos que se produjeron en los sectores en que los adelantos realizados con fines exclusivamente militares pasaron a estar disponibles para usos civiles. La expansión fue rápida por dos motivos: en primer lugar, la fase de investigación y desarrollo ya se había superado y, en segundo lugar, los fabricantes habían perdido los contratos con el gobierno y necesitaban urgentemente un mercado civil para no precipitarse en la bancarrota.

Una vez que se mencionó lo anterior, y adentrándonos en materia de electrónica, el desarrollo del transistor para que las radios funcionen con corriente alterna, que es la suministrada por la red, es preciso rectificar esa corriente, es decir, convertirla en unidireccional.

La versatilidad y el grado de miniaturización posibilitados por el transistor fueron sensacionales y generaron una industria de miles de millones de dólares para la fabricación de chips de silicio. El transistor puede considerarse uno de los inventos más importantes de todos los tiempos. Sin embargo, el programa de investigación que lo originó exigió un equipo sencillo: al parecer, el aparato más costoso era un osciloscopio.

La industria electrónica ha sido posible gracias al descubrimiento del electrón a principios del siglo XX. El primer impacto de este progreso científico sobre la tecnología de la vida cotidiana tuvo lugar a través de la radio. También la televisión era un producto de la nueva electrónica en la década de los 20, al igual que lo fue el radar en la década de los 30.

Los países más implicados en el desarrollo de la electrónica en las décadas de los años treinta y cuarenta fueron Estados Unidos, Gran Bretaña y Alemania. En estos tres países la Segunda Guerra Mundial proporcionó un estímulo para la investigación técnica, con científicos que trabajaban con radares y ordenadores. La investigación alemana sobre los ordenadores se retrasó cuando varios científicos de ordenadores fueron llamados para la incorporación a filas. La gran corporación estadounidense de ordenadores IBM dependía mucho de los contratos de trabajo gubernamentales en los años después de la guerra, y a finales de la década de los 50, la delantera estadounidense en la industria era evidente.

Hacia 1954 se fabricaba un millón de transistores por año. En esta fase, todos los transistores eran unidos con alambres individualmente, pero en 1957 se desarrolló el circuito integrado, que permitió fabricar los transistores con otros componentes sobre chips semiconductores hechos con silicio.

La revolución del transistor cambió la calidad de vida a muchos niveles; también conllevó una nueva industria capaz de un espectacular crecimiento. Ello benefició a países como Alemania y Estados Unidos con tradiciones establecidas de ciencia, y a aquellos países que buscaban un rápido progreso económico a través de la inversión en la nueva tecnología y los nuevos productos de marketing, como Japón.

Los transistores son pequeños dispositivos de material semiconductor que amplifican o controlan la corriente eléctrica. Son simples de fabricar, aunque requieren un cuidadoso trabajo manual durante el montaje; suplantaron a los tubos de vacío casi por completo en la década de los años setenta. La necesidad de colocarlos en su sitio por medio de alambres se superó gracias al desarrollo del circuito integrado. [22]

3.2 Elaboración de circuitos impresos

Una placa de circuito impreso o por sus siglas en inglés PCB, es una superficie constituida por pistas o caminos de material conductor fabricada sobre una base de material no conductor. Los circuitos impresos se utilizan para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, mientras que las componentes electrónicas se encuentran fijadas a la placa o base que a su vez se encuentran soldadas a las pistas de material conductor.

Décadas atrás la fabricación más común de circuitos impresos era con técnicas caseras, esto debido a la existencia casi nula de equipo especializado en éste ámbito. Sin embargo, y aunque de forma considerable se ha disminuido la producción de circuitos impresos con técnicas manuales, es bien socorrido por estudiantes para la creación de sistemas básicos.

En los últimos años el tamaño de las componentes electrónicas se ha reducido en forma considerable, lo que implica menor separación entre pines para circuitos integrados de alta densidad. Teniendo también en consideración las actuales frecuencias de operación de los dispositivos, es necesaria una muy buena precisión en el proceso de impresión de la placa con la finalidad de garantizar tolerancias mínimas [23].

Existen diversos tipos de circuitos impresos, los más sencillos corresponden a los que contienen sólo una capa de pistas conductoras, esto únicamente por una de las superficies de la placa.

Hecha esta salvedad, hoy en día lo más usual es que los circuitos se manufacturen en 2 capas, en donde frecuentemente se utilizan la superficie superior e inferior de la placa. Sin embargo, dependiendo de la complejidad del diseño físico del circuito impreso, y en la actualidad gracias a los avances tecnológicos se puede lograr la integración 10 o más capas en una misma placa.

Para montar los componentes electrónicos en los circuitos impresos se requiere de un proceso de ensamblado, dicho proceso puede ser manual con un caudín o mediante maquinaria especializada.

Los procesos de ensamblado requieren la utilización de soldadura que en su mayoría de las veces es una aleación de estaño y plomo para poder fijar los componentes a la placa. Para evitar que la soldadura pueda cortocircuitar accidentalmente dos pistas pertenecientes a nodos distintos se utiliza una máscara de soldado. Esta máscara de soldado es un barniz que se aplica a los circuitos impresos en la etapa de fabricación y puede ser de variados colores. El color que se utiliza más frecuente es el verde seguidos del rojo y azul. [24]

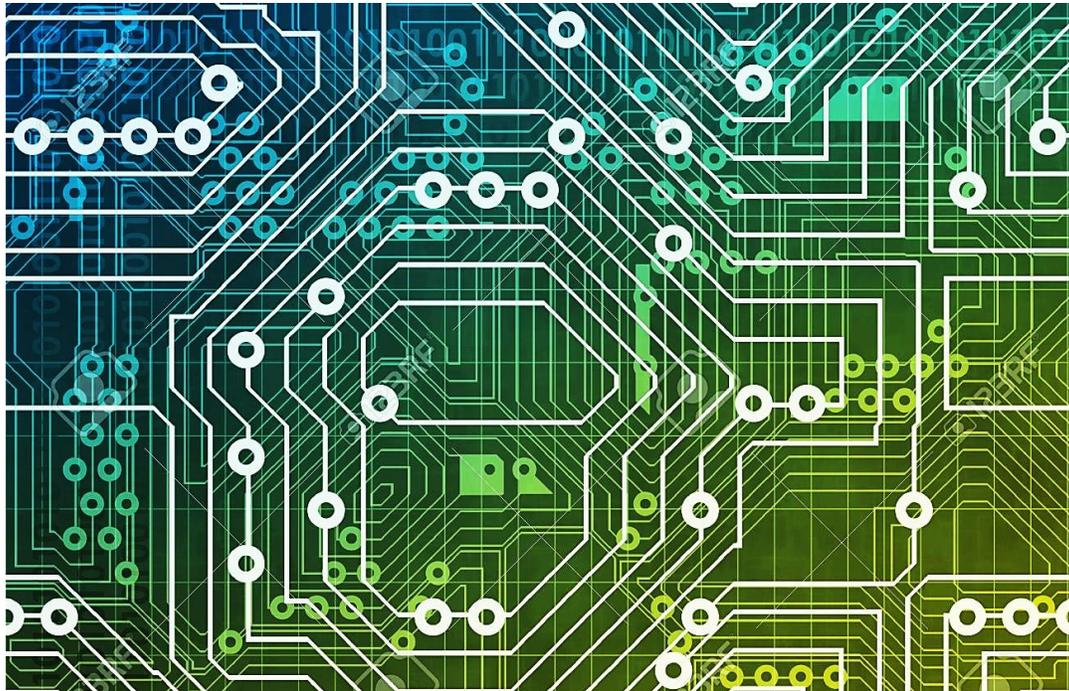


Figura 3.1 Diseño de PCB en circuitos multicapa.

3.2.1 Técnica seleccionada

Tal y como lo dice la tesis, la técnica seleccionada fue circuitos multicapa con elementos de montaje superficial, se llegó a esta conclusión por varias razones, la primera de ellas es que se puede disponer de dos o más capas de planos de cobre en un espacio muy reducido, otra razón es que dichas capas sirven de blindaje a todo el circuito, no solo contra ruidos parásitos por agentes externos sino también ayudarán a que nuestro diseño no genere radiación electromagnética, además de que se minimizarán el tamaño de las conexiones, el área de bucles y las impedancias compartidas.

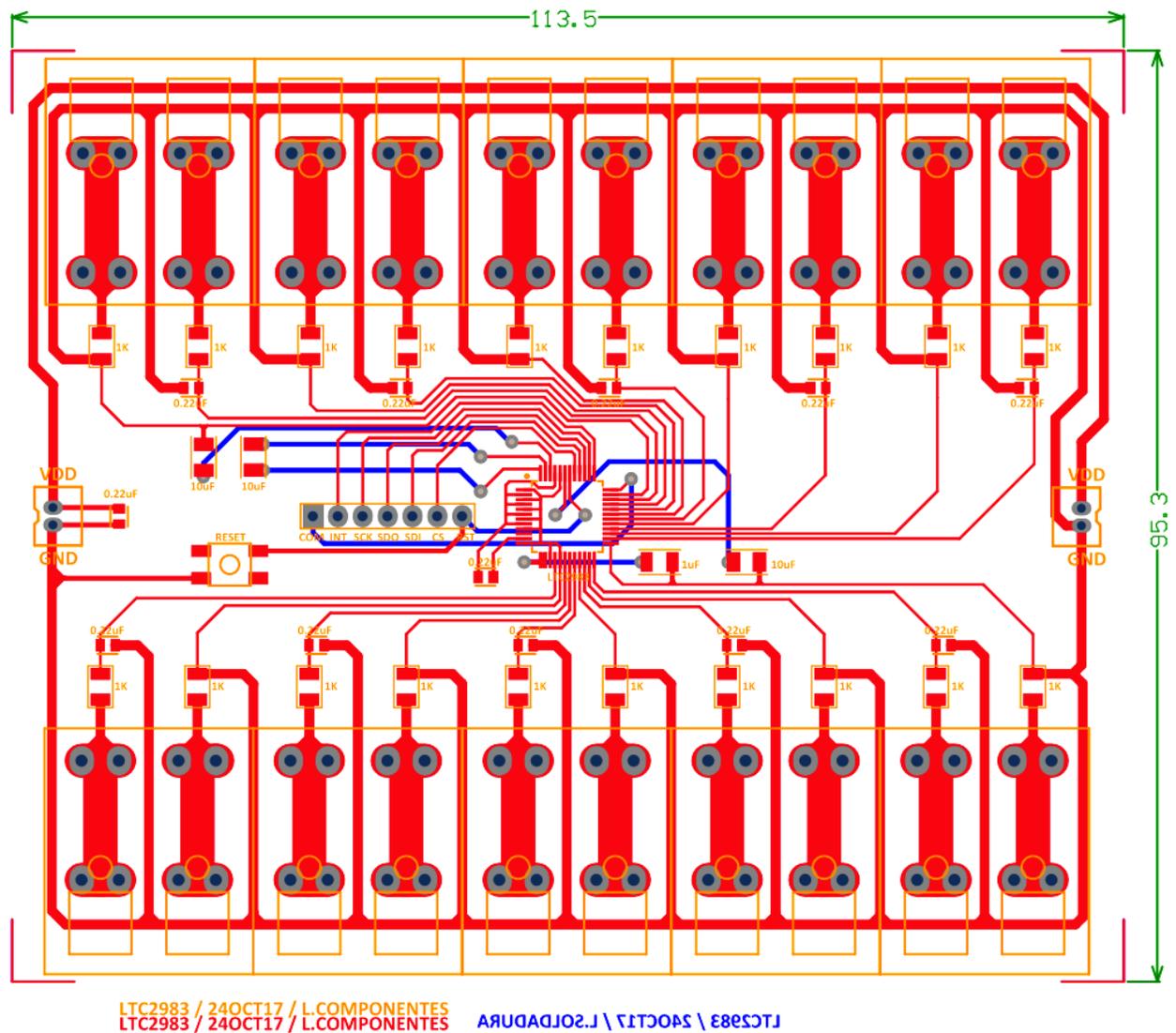


Figura 3.1 Diseño de PCB en SMD realizado en Altium Desing.

3.3 Software de diseño

Para el diseño del circuito se probaron diferentes softwares, siendo Altium Designer el software seleccionado por diversas cualidades, una de ellas es que proporciona la tecnología de diseño de PCB más avanzada en un entorno de diseño unificado. Además permite sacar el máximo potencial y ahorrar tiempo gracias a sus potentes herramientas de automatización de procesos y de mejora de la productividad, todo esto sin olvidar, las intuitivas funcionalidades que Altium Designer incluye para el trabajo colaborativo permite a todos los componentes del equipo compartir ideas y diseños, asegurándose así trabajar en la última versión del PCB en desarrollo. [25]

3.4 Elección del circuito integrado

Como se mencionó anteriormente, para la parte del procesamiento es indispensable, contar con un circuito integrado que contribuya y facilite la obtención de medidas de temperatura en rangos fidedignos, por lo cual y después de una serie de investigaciones se decidió utilizar el circuito integrado LTC2983 producido por Linear Technology, una de las cualidades de dicha componente radica en la digitalización directa con alta precisión y a fable con múltiples sensores.

El LTC2938 de Linear Technology mide una amplia variedad de sensores de temperatura y ofrece resultados digitalmente en °C o °F con una precisión de 0.1 °C y una resolución de 0.001 °C. El LTC2983 puede medir la temperatura de prácticamente todo estándar (tipo B, E, J, K, N, S, R, T) o termopares personalizados, compensar las temperaturas de soldadura en frío y alinear los resultados automáticamente. El dispositivo también puede medir la temperatura con RTD estándares de 2, 3 y 4 hilos, termistores y diodos. Tiene 20 entradas analógicas reconfigurables que permiten muchas opciones de configuración y las conexiones del sensor. El LTC2983 incluye fuentes de corriente de excitación y un circuito de detección de fallas apropiado para cada tipo de sensor de temperatura.

El LTC2983 permite la interconexión directa a tierra de sensores referenciados sin necesidad de cambiadores de nivel, tensiones de alimentación negativa o amplificadores externos. Todas las señales se almacenan en el búfer y se digitalizan simultáneamente con tres ADC $\Delta\Sigma$ de 24 bits con precisión alta, conducidos por referencia interna de 10 ppm/°C (máxima). [26]

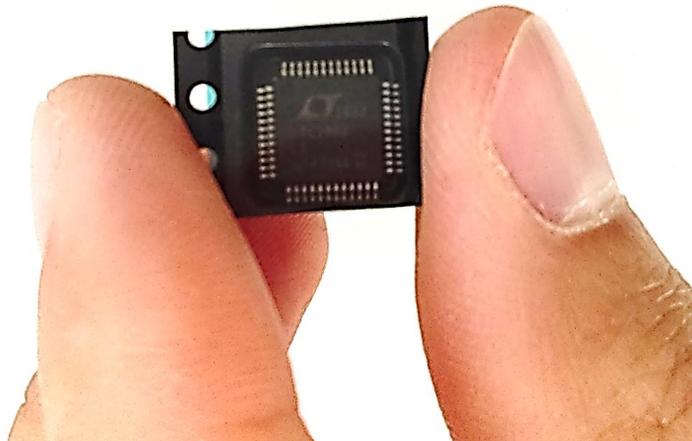


Figura 3.2 Circuito integrado LTC2983.

Características

- Digitalizar directamente RTD, termopares, termistores y diodos
- Alimentación simple de 2.85 V a 5.25 V
- 20 entradas flexibles permiten varios tipos de sensores.
- Compensación de soldadura en frío de termopar automática
- Coeficientes estándares y programables por el usuario de linealización de termopares, termorresistencias y termistores
- Configuraciones programables del RTF de 2, 3 y 4 hilos
- Mide los voltajes negativos del termopar sin una fuente negativa
- Detección automática de fallas, cortocircuito y quemado
- Las entradas almacenadas en el búfer permiten una protección externa y una interconexión directa con los sensores resistivos.
- Rechazo simultáneo de 50 Hz/60 Hz
- Incluye una referencia de 10 ppm/°C (máximo)

Aplicaciones

- Mediciones directas de termopar
- Mediciones directas de RDT
- Mediciones directas del termistor
- Aplicaciones del sensor personalizadas

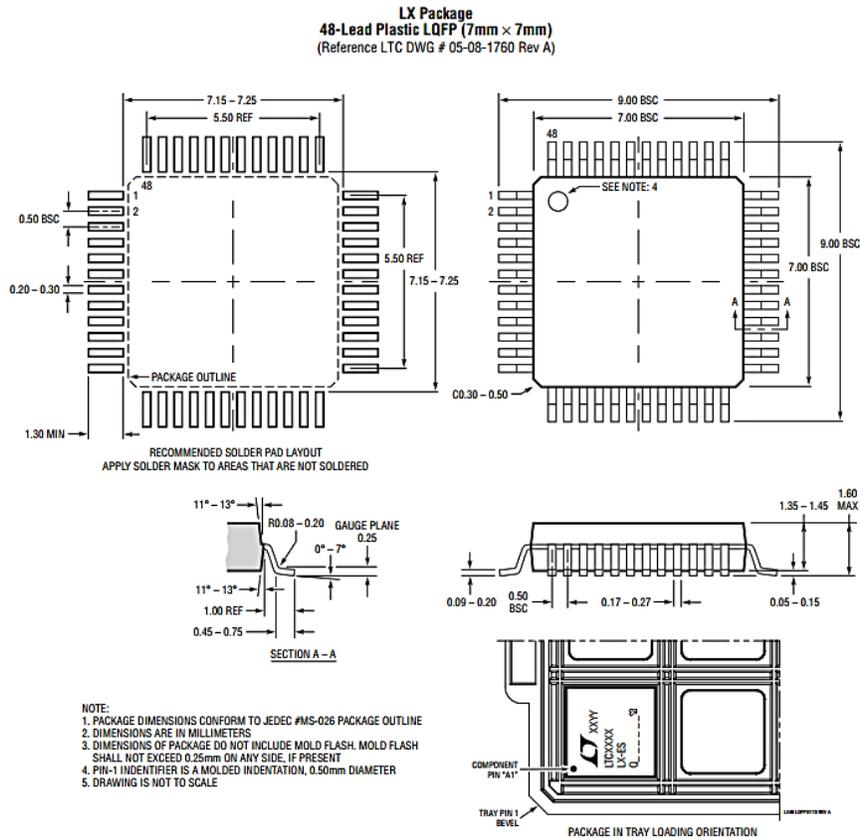


Figura 3.3 Dimensiones del Circuito Integrado LTC2983.

De acuerdo a lo anterior el circuito integrado a utilizar posee un encapsulado de tipo LQFP y para comprender más a detalle lo que significa a continuación se presenta un análisis de las diversas partes que lo conforman y posteriormente una tabla comparativa de la variedad de encapsulados.

En el proceso de encapsulado se trabaja con tres componentes fundamentales:

1. La cápsula sobre la cual se pega la sección de silicio y que es mejor conocida como base.
2. Los hilos conductores, que unirán cada una de las pistas o almohadillas que contiene el circuito al pin correspondiente de la cápsula.
3. Por último encontramos la pastilla de silicio.

Una vez que se tiene todo lo anterior, el técnico responsable del encapsulado pega la primera sección de silicio a la base y une con hilos conductores cada una de las pistas del circuito al pin correspondiente de la cápsula.

De manera análoga en el ámbito de materiales de composición encontramos la clasificación de dos grupos:

1. Los materiales cerámicos
2. Los materiales plásticos

Los primeros son materiales más adecuados desde el punto de vista de la disipación de calor (alta conductividad térmica) y del aislamiento eléctrico. El problema que presentan los materiales cerámicos es en relación a su costo, además de que resultan más difícil de elaborar.

En relación con los plásticos vemos que disipan de una forma un tanto deficiente el calor (coeficiente de conductividad por debajo de los cerámicos), pero resultan más fáciles de elaborar y su costo es módico.

Una de las condiciones más importantes es que los hilos conductores deben asegurar un conexionado estable en el tiempo y eléctricamente bueno. Por lo tanto se requiere que:

1. Posean resistencia baja
2. Coeficiente de autoinducción bajo
3. Coeficiente de expansión térmica similar al del Silicio
4. Fácil de soldar sobre las pistas o almohadillado del circuito
5. Durabilidad, resistentes a la corrosión.

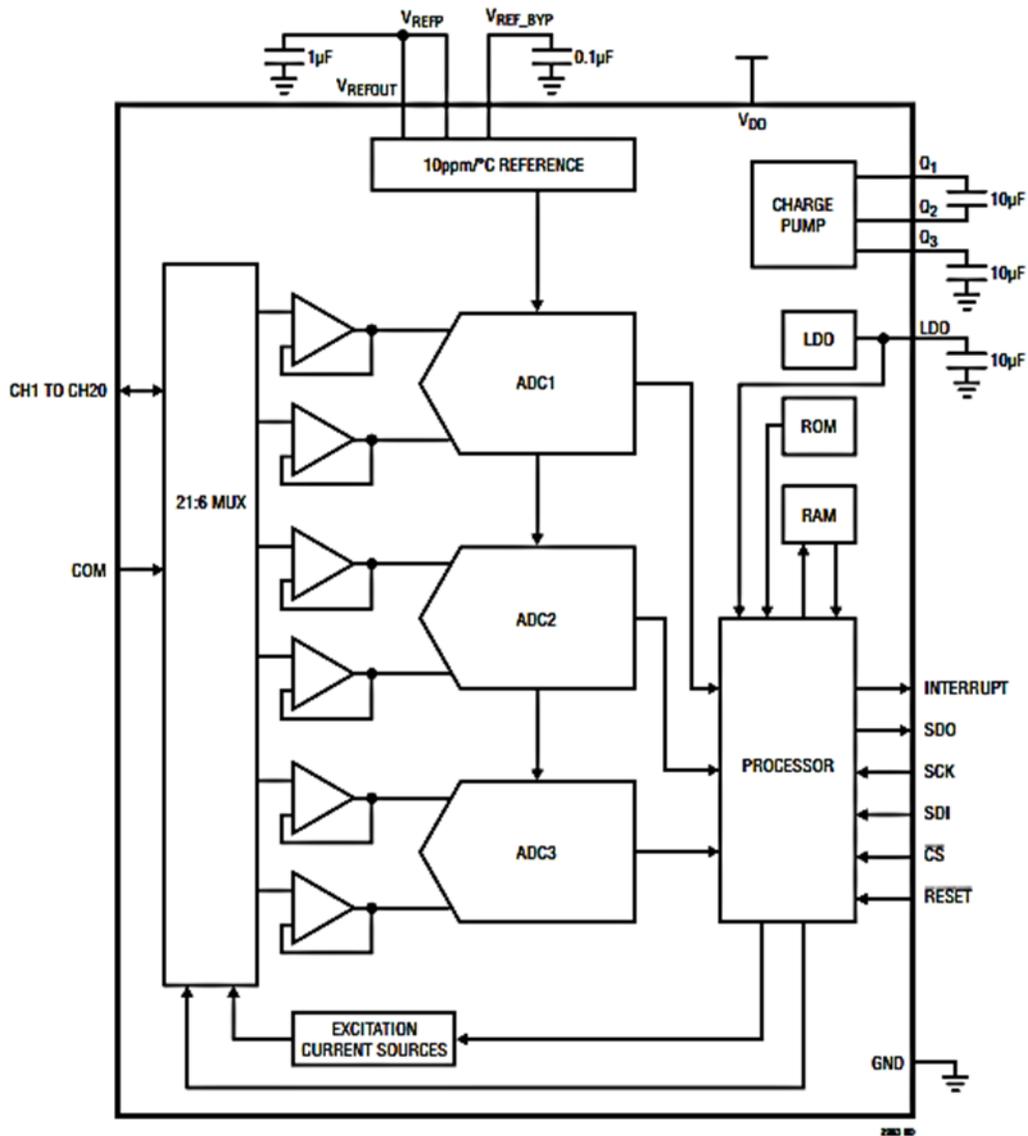


Figura 3.4 Diagrama a Bloques del Circuito Integrado TLC2983.

Dado que los chips de silicio son muy delicados, incluso una pequeña partícula de polvo o de gota de agua puede afectar su funcionamiento. La luz también puede causar mal funcionamiento. Para combatir estos problemas, los chips se encuentran protegidos por una carcasa o encapsulado.

El encapsulado cumple las siguientes funciones:

- Excluir las influencias ambientales: La humedad y el polvo en el aire son causas directas de defectos en los dispositivos semiconductores, además de las vibraciones y los golpes. La iluminación y los imanes también pueden causar mal

funcionamiento. El encapsulado evita estas influencias externas, y protege el chip de silicio.

- Permitir la conectividad eléctrica: Si los chips de silicio fueran simplemente encerrados dentro de un encapsulado no podrían intercambiar señales con el exterior. Los encapsulados permiten la fijación de conductores metálicos denominados pines o esferas de soldadura (BGA) permitiendo que las señales sean enviadas a y desde el dispositivo semiconductor.
- Disipar el calor: Los chips de silicio se calientan durante el funcionamiento. Si la temperatura del chip se eleva hasta valores demasiados altos, el chip funcionara mal, se desgastara o se destruirá dependiendo del valor de temperatura alcanzado. Los encapsulados pueden efectivamente liberar el calor generado.
- Mejorar el manejo y montaje: Debido a que los circuitos incorporados en chips de silicio y los chips de silicio en sí son tan pequeños y delicados, no pueden ser fácilmente manipulados, y realizar un montaje en esa pequeña escala sería difícil. Colocar el chip en una cápsula hace que sea más fácil manejar y de montar en placas de circuitos impresos.

3.4.1 Borneras para placas de circuito impreso

Este tipo de componentes electrónicos se utilizan para la electrónica de potencia, sin embargo el bornes para placas de circuito impreso con conexión por resorte push-lock, serie PL es ideal para asegurar una conexión segura al sensor seleccionado, considerando que los termopares Tipo T trabajan a temperaturas extremas, se convierten en el elemento de entrada imprescindible en nuestro sistema de instrumentación. [27]

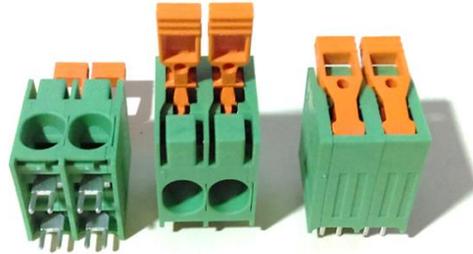


Figura 3.5 Borneras para circuito impreso disposición doble, 10 mm.

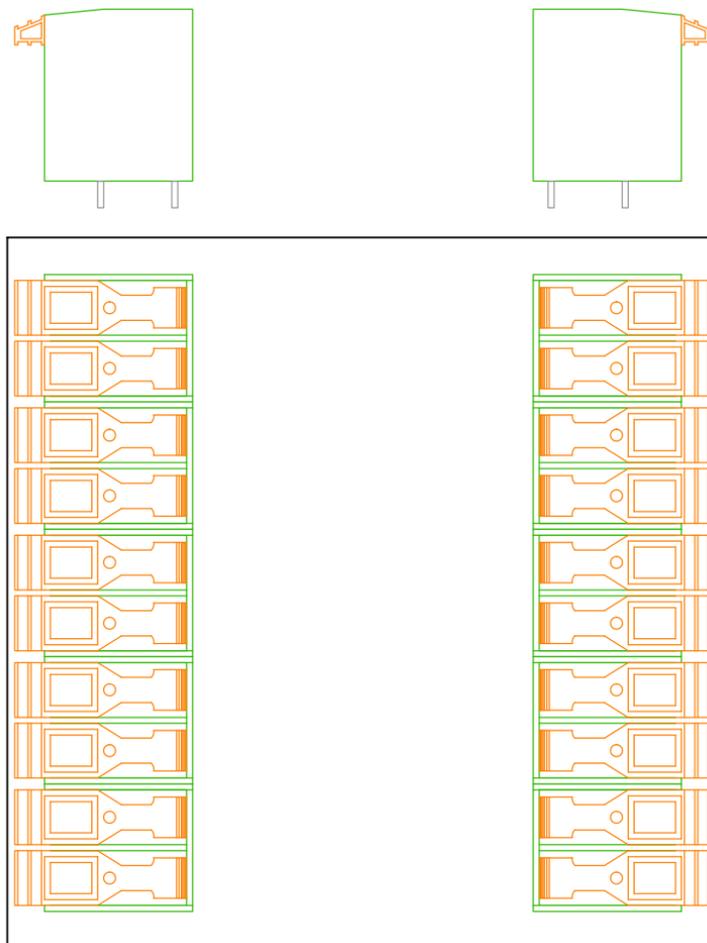


Figura 3.6 Vista superior de borneras en PCB.

3.5 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación o fuente de poder como también se le conoce, se define dentro del ámbito de la electrónica, como el instrumento que transforma la corriente alterna, en una o varias corrientes continuas o directas, las cuales son utilizadas para alimentar los diferentes aparatos electrónicos. [28]

Es muy importante que la fuente de alimentación cuente con una potencia ideal que le permita trabajar de una manera más holgada, ya que para el caso de que el sistema de instrumentación tenga conectados numerosos sensores, estos le demandarán energía para funcionar; por lo tanto si la potencia es insuficiente, es probable que se origine un error en algunos de estos sensores, impidiéndole funcionar al no llegarle la potencia requerida, originando que el sistema de instrumentación no funcione adecuadamente.

Para el caso de nuestro sistema de instrumentación, las fuentes de voltaje se conectan en paralelo para incrementar la corriente total aplicada a una carga eléctrica. Una definición de carga es la de un dispositivo que consume energía eléctrica para realizar un trabajo, asociándolo a nuestro sistema los sensores representan esa carga. El voltaje se mantiene igual a la magnitud de una de las fuentes.

Se planteó de esa manera puesto que cada placa se alimentaría con el mismo voltaje, tal y como lo señala la Figura 3.8.

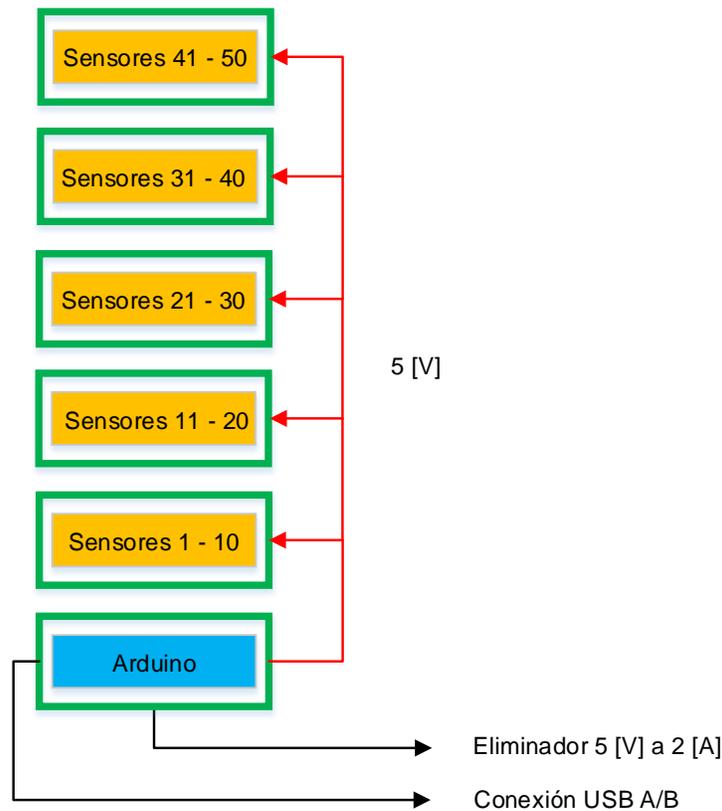


Figura 3.7 Conexiones de alimentación del sistema de instrumentación para una cámara de termovació.

Se consideró un eliminador de 5 V a 2 A, puesto que el voltaje es el mismo y la corriente se distribuye entre los cinco niveles donde se conectarán los sensores. Para este caso cada nivel posee 10 sensores, cada sensor consume 25 mA, por lo cual cada nivel necesita 250 mA, si esa corriente la multiplicamos por los cinco niveles de nuestro sistema de instrumentación, el resultado es 1.250 A. Dejando una pequeña redundancia de corriente para que nuestro sistema de instrumentación no presente errores si llegase a necesitar más corriente.



Figura 3.8 Sistema de instrumentación para una cámara de termovació.

3.6 Conclusión del capítulo 3

La elaboración de todo el sistema de instrumentación para una cámara de termovaciación no fue sencilla, sin embargo, se puede decir con certeza que cada componente de dicho sistema fue seleccionada metódicamente, teniendo siempre múltiples opciones y al final seleccionando las más destacadas.

Quizá la parte de la elaboración más difícil radicó al momento de manufacturar las PCB's, el utilizar tecnología de circuitos multicapa tal y como se describe en la subsección 3.2.1, disponer de dos o más capas de planos de cobre aunado a la capacidad de tenerlo en un espacio muy reducido es simplemente increíble, además si agregamos la ventaja que representa tener varias capas las cuales sirven de blindaje contra ruidos parásitos externos y que nuestros circuitos no generen radiación electromagnética.

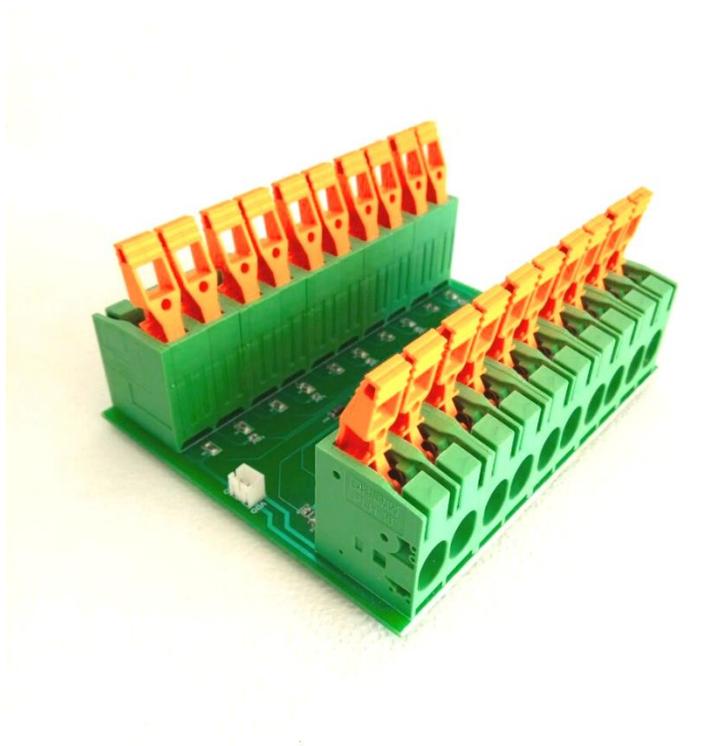


Figura 3.10 Detalle de PCB en elaborada en multicapa.

La desventaja de éste tipo de circuitos es que representa un costo más elevado, el tiempo de manufactura depende de la complejidad del diseño al igual que la cantidad de capas que posea la PCB, pero al final toda la inversión se ve reflejada en un trabajo con mucha calidad y estéticamente perfecto.

La complejidad de realizar un trabajo así se centra básicamente en un problema que arrastra nuestro país décadas atrás, me refiero al rezago tecnológico. Y es sumamente preocupante este punto, puesto que al no generar tecnología esta debe importarse, esto representa la mayoría de las veces cargos de importación, el tiempo de espera según la región de donde se traiga puede ser de semanas e incluso meses.

Capítulo 4

Procesamiento, interfaz y visualización del sistema de instrumentación.

4.1 Introducción

En los anteriores dos capítulos se abordaron temas relevantes a las consideraciones para la elección de elementos básicos en un sistema de instrumentación, además de las técnicas para la fabricación de placas de circuito impreso, donde una vez seleccionadas las componentes se integrarán formando la parte tangible del sistema.

Para realizar las tareas específicas es necesario la parte lógica del sistema de instrumentación, se analizará de forma breve conceptos básicos en el procesamiento, nos adentraremos en un sistema de adquisición de datos compatible con el microcontrolador y aplicaciones de hojas de cálculo, lo anterior dicho sólo para la visualización de forma local.

Finalmente para concluir éste capítulo detallaremos la alternativa de visualizar de forma remota y en tiempo real desde una aplicación que posee un conjunto de herramientas de análisis, que pone el conocimiento al alcance de toda la organización, justo para tener una conexión a cientos de orígenes de datos, preparar datos simplificados y generar un análisis práctico.

4.2 Procesamiento

De manera general, su función es la adaptación de la señal de salida del sensor, a las necesidades o requerimientos del elemento al cual está conectada, es decir, el último bloque del sistema define las características de las acciones que deberá realizar el elemento de procesamiento [29]

Es común que el bloque de visualización/registro requiera una tensión de entrada a bajas frecuencias y baja impedancia de entrada. En la adquisición de datos es común que este último elemento sea un Convertidor Analógico Digital [*Analog to Digital Converter (ADC)*].

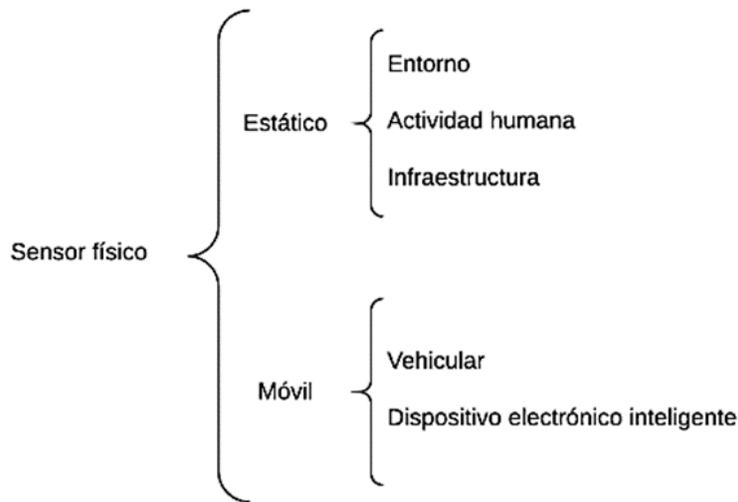


Figura 4.1 Taxonomía de sensores físicos. Apartado de [30]

4.3 Sistema de adquisición de datos (DAQ)

Para la última etapa del sistema de instrumentación se realizó un DAQ basado en la modificación del programa comercial PLX-DAQ®. Este programa tiene la función de exportar los valores registrados por el sistema a una hoja de cálculo de *Microsoft Excel*® mediante transmisión y recepción universal asíncrona [*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)*].

Su operación permite filtrar las lecturas a partir de la variable física de interés o registrar presión y temperatura de manera simultánea.

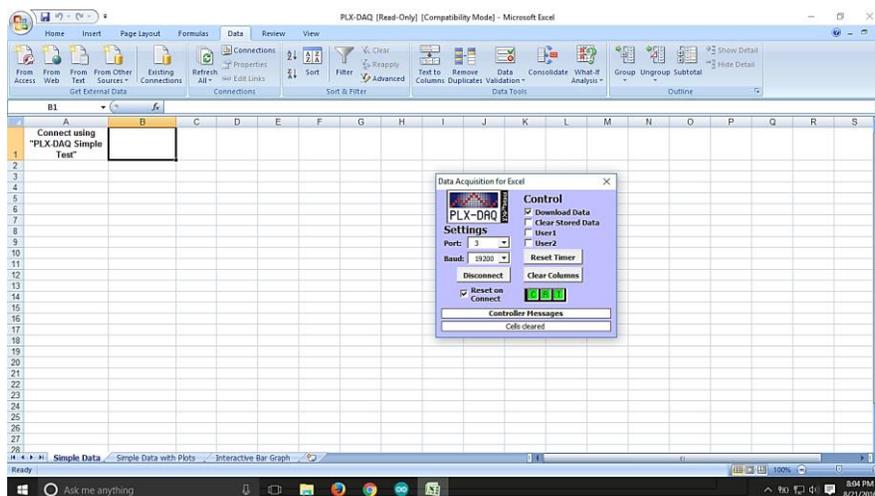


Figura 4.2 Adquisición de Datos PLX-DAQ®

4.4 Tarjeta de desarrollo

Como tarjeta de desarrollo se propone, el Arduino Mega ADK es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Tiene una interfaz de host USB para conectar con dispositivos basados en Android, basado en el MAX3421E IC.

Cuenta con 54 pines digitales de entrada/ salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un 16 MHz oscilador de cristal, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio.

Una de las ventajas por la cual se eligió este microcontrolador es que tiene un conversor Serie/USB integrado basado en un chip Atmega8U2.



Figura 4.3 Arduino Mega ADK.

Características [31]:

Tabla 4.1: Características del Arduino Mega ADK.

Microcontrolador	ATmega 2560
Alimentación	5 V
Entrada	7 – 12 V
Límites (máx)	5.5 – 16 V
Pines digitales	54 (14 con PWM)
Pines analógicos	16
Corriente por pin	40 mA
Corriente sobre pin 3,3V	50 mA
Memoria Flash (programa)	256 KB (8 KB usados para el bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Reloj	16 MHz

Se siguió el diagrama de flujo propuesto por el datasheet del LTC2983 (Multi-Sensor High Accuracy Digital Temperature Measurement System), todos los pasos fueron completados satisfactoriamente hasta llegar al bucle que ejecuta una sentencia de lectura, mientras la condición "STATUS CHECK COMPLETE" no se evalúe como verdadera.

Con los parámetros y las direcciones de los registros reportadas por el datasheet y haciendo uso de una librería proporcionada por el fabricante del LTC2983 no se llega a un resultado concluyente ya que nunca se reporta como verdadera la condición de conversión.

Esto puede ser por:

- Errores en las declaraciones/uso de registros.
- Problemas en el registro de lectura, es decir no está siendo reflejado por el registro, pero si podría ser medible en el pin de INTERRUPT al cual dado el diseño de PCB para LTC2983 previamente presentado no es posible.
- Problemas con la conexión de ISP, se mandan datos mediante la conexión, pero el LTC2983 no es capaz de registrarlo.
- Daños en el LTC2983, esto en el proceso de soldado de montaje superficial.

Por lo tanto, se optó la utilización de un módulo que sustituyera el microcontrolador Arduino Mega ADK por uno específicamente elaborado por la marca Linear Technology. La gran ventaja que presenta una tarjeta de desarrollo hecha por la marca es que son completamente compatibles y presentan un proceso de programación gráfica desarrollado.

Algunos datos más específicos de la solución son:

Su nombre es Liduino® One, mientras que el Linduino® One es compatible con Arduino, no es producido por el equipo oficial Arduino, y lo hacen no recibir ningún apoyo monetario de esta junta.

El Linduino One agrega varias características,

- Un conector QuikEval™ de 14 pines proporciona una conexión directa a una lista creciente de cientos de paneles de demostración incluidos ADC, DAC, administración del sistema de energía, sintetizadores de RF, monitor de sistema de Control, y muchos otros.
- Niveles lógicos y analógicos seleccionables de 5V, 3,3V, 2,5V, 1,8V suministro en el conector QuikEval.
- Un LTM®2884 proporciona aislamiento galvánico de datos USB y potencia para rechazo de seguridad y ruido.

- Entrada de alimentación auxiliar de 7V a 20V en el lado aislado, con conversión a 5V proporcionada por un LT@3973 permitiendo alta operación de energía hasta 750mA.

El Linduino One viene precargado con un emulador DC590 programa (llamado "boceto") que permite la demostración adjunta placas para ejecutar con el software QuikEval GUI estándar. Esto permite verificar la funcionalidad del módulo antes de comenzar el desarrollo del firmware. Después de la evaluación con QuikEval, el Linduino One se puede reprogramar. Hay una demostración de alto nivel, donde incluye ejemplos de la biblioteca de cada parte que proporciona una terminal, demostrando las funciones de la biblioteca.

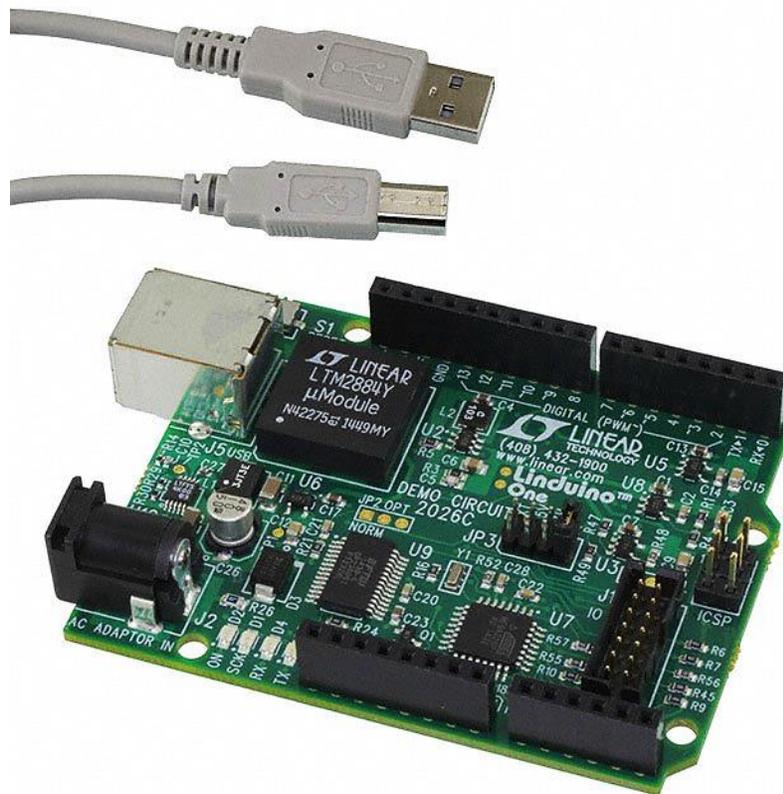


Figura 4.4 Liduino One Linear Technology.

4.5 Visualización local

El usuario debe tener la opción de interpretar los resultados censados o en su defecto atender problemas que se puedan presentar en el envío y recepción de información.

Como ya se mencionó en la sección 4.3, el sistema de adquisición de datos juega un papel muy importante, mediante la operación que realiza al filtrar las lecturas obtenidas de manera simultánea por nuestros sensores termopares tipo T, se exportan a una hoja de cálculo *Microsoft Excel®* y ahí el usuario de forma local podrá revisar el censo de temperatura, y de forma inmediata graficar el comportamiento de cada sensor.

LTC2983 OUTPUTS										
Tiempo	Canal 1 (°C)	Canal 2 (°C)	Canal 3 (°C)	Canal 4 (°C)	Canal 5 (°C)	Canal 6 (°C)	Canal 7 (°C)	Canal 8 (°C)	Canal 9 (°C)	Canal 10 (°C)
01:04:02 p.m.	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
01:04:05 p.m.	23.98	21.04	24.24	21.16	24.38	21.08	23.98	20.88	23.89	20.64
01:04:08 p.m.	25.62	19.52	25.85	18.99	25.86	19.86	25.85	18.52	26.31	17.38
01:04:10 p.m.	33.05	18.01	35.29	17.84	34.21	17.95	35.29	16.85	35.23	16.89
01:04:13 p.m.	41.95	16.75	42.03	16.42	41.02	17.33	42.03	14.22	42.86	15.31
01:04:16 p.m.	54.21	14.96	54.21	15.03	50.49	16.02	48.69	11.85	49.36	14.64
01:04:19 p.m.	55.06	12.47	56.06	13.21	55.38	14.75	54.28	10.88	54.69	13.28
01:04:21 p.m.	56.81	10.69	58.81	11.05	58.37	12.37	60.18	9.47	59.98	11.99
01:04:24 p.m.	59.59	9.08	59.59	8.97	61.08	10.49	63.87	7.69	67.41	9.75
01:04:27 p.m.	63.33	7.63	62.98	7.05	67.26	8.36	68.95	6.48	70.23	8.34
01:04:30 p.m.	66.59	5.12	67.25	5.29	68.21	7.54	71.28	4.96	76.21	7.63
01:04:33 p.m.	71.96	3.14	70.85	3.05	75.09	6.31	74.85	3.08	79.31	6.24
01:04:35 p.m.	78.06	1.98	77.37	2.34	81.02	4.98	80.19	1.87	84.69	5.67
01:04:38 p.m.	81.35	0.81	81.35	0.76	82.98	3.47	85.36	0.36	89.97	4.01
01:04:41 p.m.	91.73	-0.75	91.73	-0.27	95.36	1.99	97.45	-0.25	97.36	2.78
01:04:44 p.m.	94.78	-1.95	94.74	-1.26	99.25	0.79	105.32	-1.26	104.98	1.36
01:04:47 p.m.	96.69	-2.14	96.81	-2.04	101.87	-0.28	106.89	-1.98	112.45	0.49
01:04:50 p.m.	102.06	-2.85	103.54	-2.97	108.35	-1.29	110.75	-2.11	120.63	-0.28
01:04:53 p.m.	109.78	-2.96	110.02	-3.41	113.58	-1.89	115.69	-2.45	127.68	-0.92
01:04:56 p.m.	118.29	-3.17	117.28	-3.75	120.68	-2.75	124.32	-2.63	132.91	-1.49
01:04:59 p.m.	122.57	-3.85	122.98	-3.89	127.36	-3.33	132.98	-2.99	141.96	-1.93
01:05:01 p.m.	124.59	-3.97	124.03	-3.98	132.04	-3.78	141.58	-3.48	146.37	-2.48
01:05:04 p.m.	127.47	-4.32	126.75	-4.08	138.67	-4.29	148.69	-4.37	149.36	-3.09
01:05:07 p.m.	127.89	-4.86	130.87	-4.15	139.63	-4.78	157.69	-4.75	156.37	-3.65
01:05:10 p.m.	128.95	-4.98	131.52	-4.76	140.21	-4.83	159.87	-4.93	159.33	-3.99
01:05:13 p.m.	129.34	-5.14	135.71	-5.06	142.89	-5.19	164.69	-5.28	164.37	-4.37
01:05:16 p.m.	138.78	-5.69	140.69	-5.49	149.38	-5.63	168.61	-6.03	171.11	-4.68
01:05:19 p.m.	143.16	-5.81	149.32	-5.73	154.98	-5.87	172.35	-6.43	172.45	-5.09
01:05:22 p.m.	156.32	-5.97	152.68	-5.99	162.29	-6.08	174.21	-6.72	177.39	-5.49
01:05:25 p.m.	159.75	-6.38	159.21	-6.18	169.36	-6.37	178.39	-6.94	180.32	-5.94
01:05:28 p.m.	162.45	-6.52	168.37	-6.47	176.34	-6.98	180.25	-7.16	182.64	-6.29

Figura 4.5 Visualización local en hoja de Excel.

4.6 Visualización remota

Los datos son un punto crítico para la comprensión y guía de los procesos de toma de decisiones, de manera puntual la visualización de datos es un término que describe cualquier esfuerzo para ayudar a las personas a comprender la importancia de los datos al colocarlos en un contexto visual. Al valorar la importancia de la visualización de datos se podrá mejorar el rendimiento de pruebas de censado, ya que se tiene a la mano una vista de los patrones, las tendencias y las correlaciones de dichos datos.

Una correcta visualización de datos ayudará a identificar oportunidades de optimización y a interpretar grandes conjuntos de datos en un tiempo breve, sin tener que estar de forma presencial en el funcionamiento del sistema.

En resumen, conocer la importancia de la visualización de datos es clave para simplificar procesos de interpretación de información y aumentará la eficiencia del desarrollo pruebas en campo.

Por tal razón, se buscó una solución práctica y sencilla que estuviera al alcance y sobretodo que satisficiera las necesidades del proyecto. De tal forma se definió utilizar Power BI la cual es un conjunto de aplicaciones de análisis de negocios que permite analizar datos y compartir información. Los paneles de Power BI ofrecen a los usuarios una vista de 360 grados con sus métricas más importantes en un mismo lugar. La información se actualiza en tiempo real y está disponible en todos sus dispositivos. Con un solo clic, los usuarios pueden explorar los datos subyacentes del panel mediante herramientas intuitivas que permiten obtener respuestas fácilmente. La creación de un panel es una sencilla operación gracias a los miles de conexiones a conocidas aplicaciones empresariales, que se completan con paneles pregenerados para ayudarle a ponerse en marcha rápidamente. Asimismo, puede acceder a sus datos e informes desde cualquier lugar con las aplicaciones móviles de Power BI Mobile, que se actualizan automáticamente con los cambios que se realizan en los datos.

Además se cuenta con la opción Power BI Desktop, la cual es una herramienta de composición de datos y creación de informes que incluye numerosas características. Permite combinar bases de datos, archivos y servicios web diversos con herramientas visuales que ayudan a comprender y corregir problemas de formato y calidad de los datos automáticamente. Con más de 20 objetos visuales integrados y una dinámica comunidad de visualizaciones personalizadas, podrá crear informes espectaculares que comuniquen su mensaje con la máxima eficacia. Con el servicio Power BI, publique informes con seguridad en su organización y configure la actualización de datos automática para que todo el mundo disponga de la información más reciente.

Sin duda, Power BI representa una gran opción que puede unificar todos los datos de una institución o empresa, con la ventaja de poder realizarse desde la nube o de forma local. [32]

A continuación en la figura 4.6, se presenta el esquema general de conexión Power BI de Microsoft®.

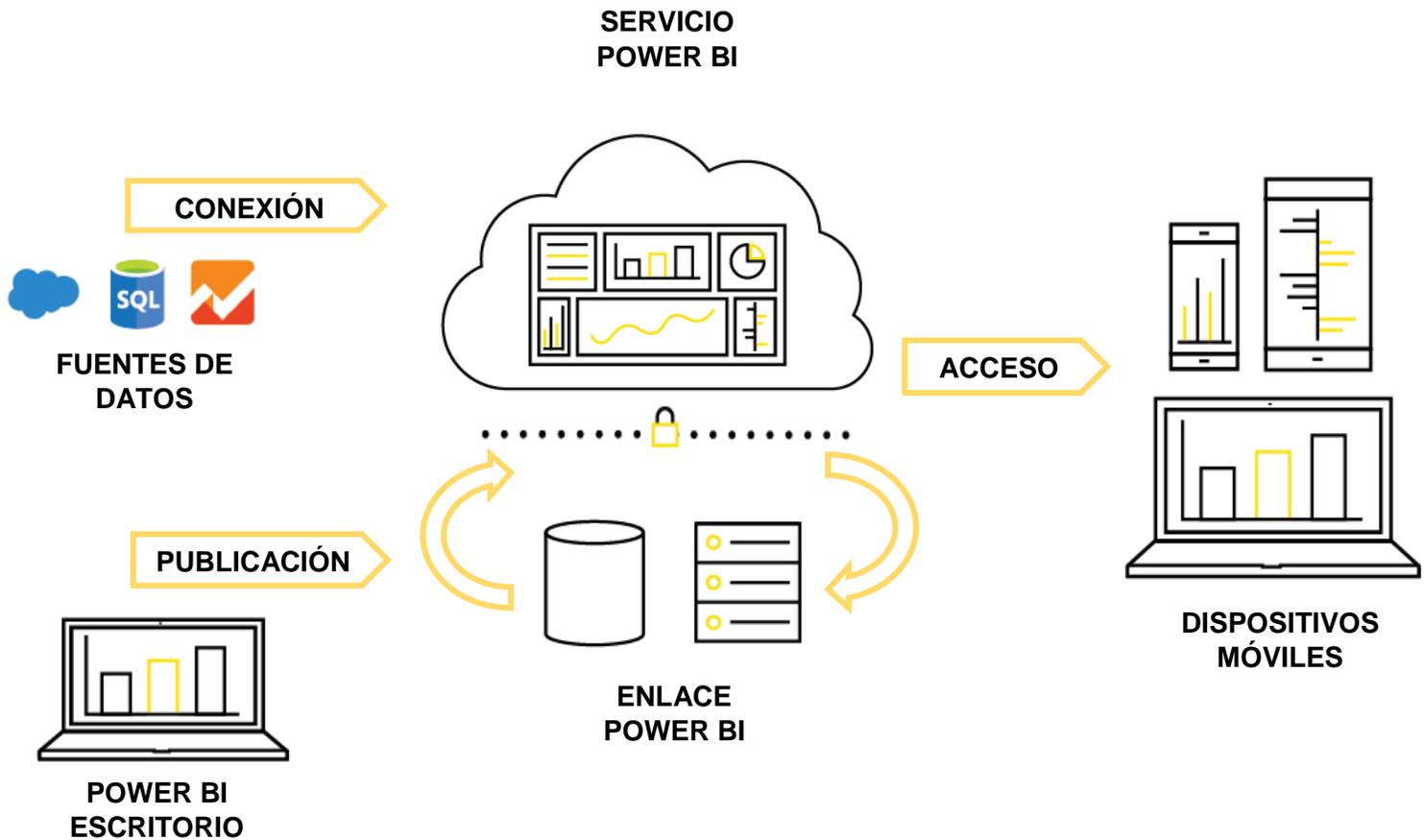


Figura 4.6 Esquema general de conexión Power BI, Microsoft ®

Una vez que se descargó la herramienta de composición de datos, se prosiguió a la creación de un informe de la prueba realizada con 10 sensores de temperatura.

Se utilizaron canales impares para las mediciones de temperatura positiva, como se muestra en la figura 4.7, los sensores no muestran una variación significativa de temperatura al comienzo de la prueba, al rebasar los 100 °C la variación es mínima y está asociada a la fuente de calor utilizada durante la prueba. El diseño de gráfica fue realizado con Power BI.

Por lo que concierne a los canales pares, se utilizaron para las mediciones de temperatura negativa, como se muestra en la figura 4.8, los sensores desde el comienzo hasta el fin de la prueba se mantuvieron sin cambio significativos. El diseño de la gráfica fue realizado con Power BI.

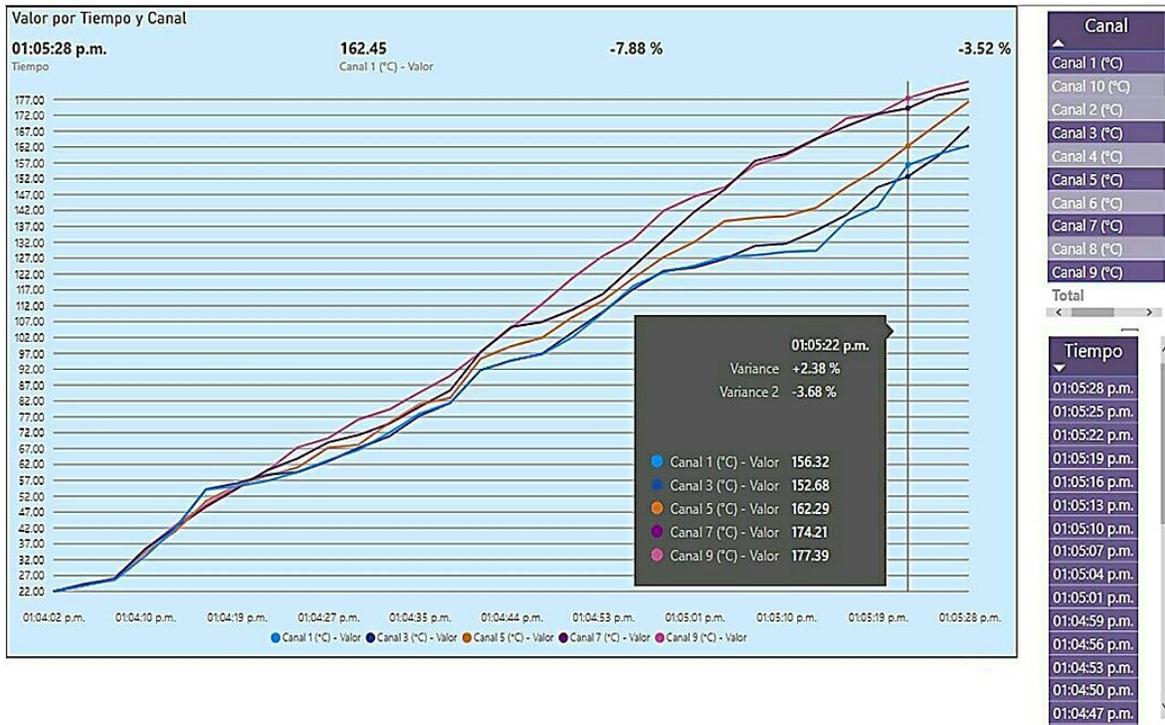


Figura 4.7 Prueba de sensores para temperaturas positivas en Power BI, Microsoft®

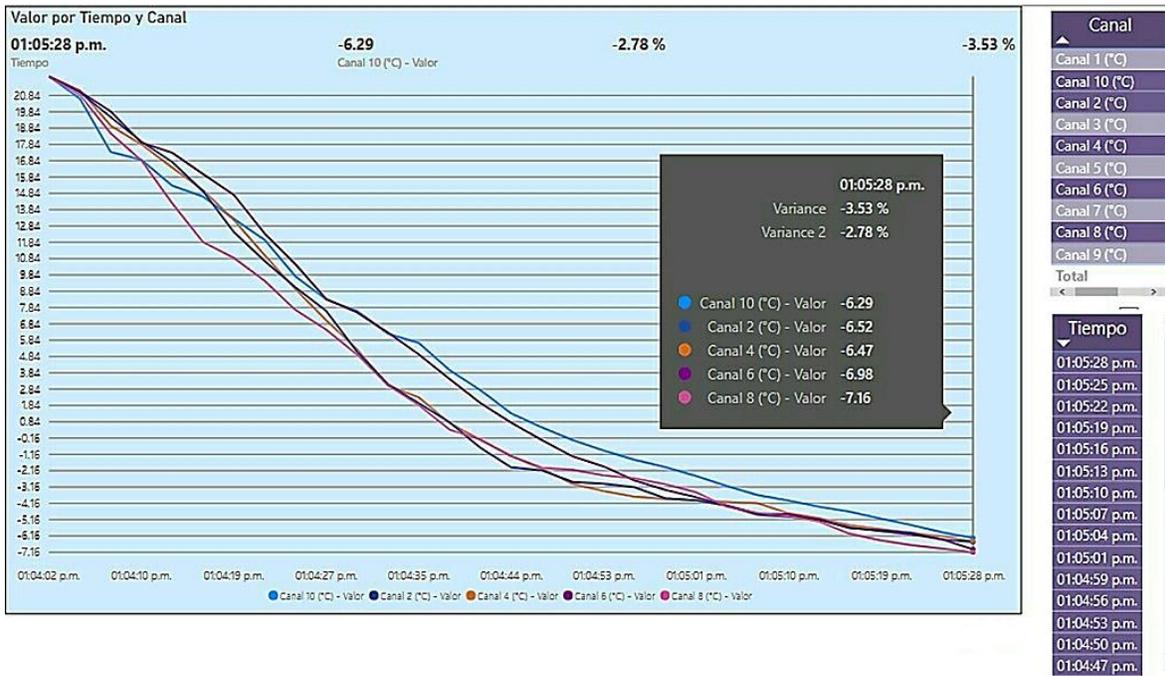


Figura 4.8 Prueba de sensores para temperaturas negativas en Power BI, Microsoft®

4.7 Conclusión del capítulo 4

En este último capítulo se determinó que el procesamiento contribuye fundamentalmente en los sistemas de instrumentación, y por supuesto dicho procesamiento va muy acorde al sensor, que es el que provee de ciertas condiciones a la señal de salida del sensor.

El enfoque principal fue claro, seleccionar un circuito integrado de notables características que ayudase a integral técnicas de elaboración de PCB's en tecnología multicapa, que a su vez fuese compatible con lenguajes de programación para así tener la oportunidad de seleccionar un microcontrolador que satisficiera nuestras necesidades.

Y así fue, después de una exhaustiva búsqueda se logró detectar dicho circuito integrado, el LTC2983 de Linear Technology fue el indicado, posee una tecnología LQFP lo cual fue ideal para el diseño en montaje superficial, además presenta ventajas en cuanto el uso de módulos sin olvidar la posibilidad de conectar diversos sensores según sea el caso.

Expresado de forma sencilla, nuestro circuito integrado LTC2983 permitió la interconexión directa a tierra de sensores referenciados sin necesidad de cambiadores de nivel, tensiones de alimentación negativa o amplificadores externos. Todas las señales se almacenan en el búfer y se digitalizan simultáneamente con tres ADC $\Delta\Sigma$ de 24 bits con alta precisión, lo cual es fantástico en la siguiente sección de visualización.

Para dicha sección es oportuno decir que la tarjeta de desarrollo juega un papel elemental en dicho proceso. El intercambio de información digital entre un microcontrolador y los puertos periféricos puede ser de dos formas: de manera paralela o serial, para nuestro caso se optó por la forma serial. La comunicación serial síncrona o por sus siglas en ingles SPI y básicamente se refiere a la existencia de una señal de reloj común para los sistemas digitales que se interconectan, esta es una forma muy utilizada para conectar periféricos como convertidores Analógicos/digitales (ADC).

Cabe mencionar que un sistema SPI puede enviar y recibir información de manera simultánea, lo cual, eleva la tasa de transferencia de datos.

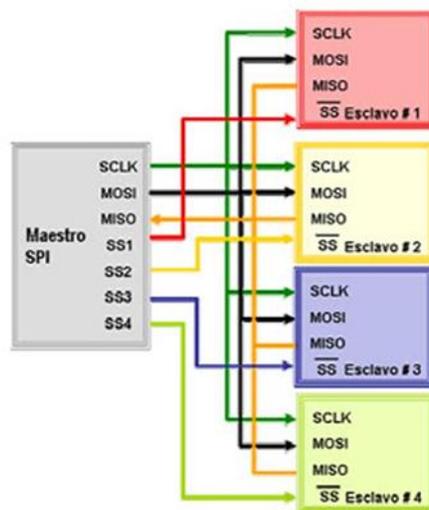


Figura 4.9 Conexión de varios dispositivos por SPI.

La anterior figura muestra la conexión seguida en nuestro sistema de instrumentación, la cual dependerá del número de esclavos presentes en el bus, por lo cual se requerirán más o menos líneas de selección para estos, finalmente conforme lo expresa el diagrama de conexión anterior, el medio de selección permite conectar varios esclavos de manera muy simple, y es la razón principal que se utilizó en nuestro sistema de instrumentación para una cámara de termovació.

Visualización y almacenamiento

Es primordial tener de forma concreta el resultado arrojado por los sensores, significa conocer si el envío y recepción de información se está logrando satisfactoriamente, además identificar si existe algún problema al momento de hacer la prueba.

La información recabada durante el censado se logró visualizar de forma:

- Local
- Remota

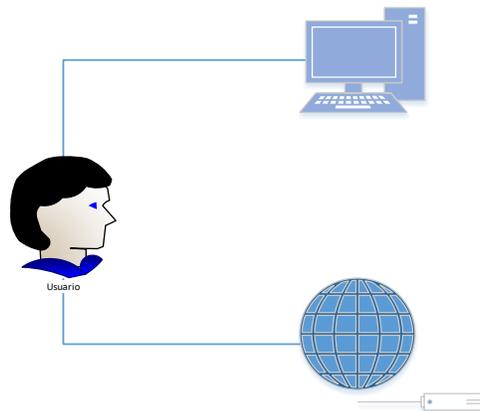


Figura 4.10 Visualización local y remota.

Tal y como lo muestra la figura 4.5, la forma de visualizarlo de forma local fue gracias a una computadora o PC, los resultados del censo se exportaron a una hoja de cálculo en Excel donde también se almacenó y ordenó en columnas de acuerdo al canal.

Mientras que para la visualización de forma remota se utilizó una herramienta de composición de datos de Microsoft llamada Power BI, la cual permitió visualizar nuestros resultados de forma más estética e interesante al emplear diversas opciones de carácter visual.

Análisis de resultados

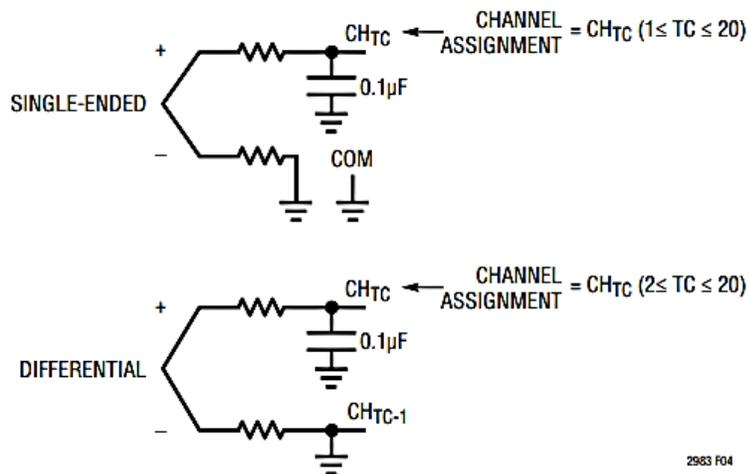


Figura 5.1 Configuración del termopar.

Para comenzar con el análisis de resultados es necesario mencionar que conexión del termopar se hizo de la forma diferencial, la razón radica en dos cuestiones básicas al momento de su diseño.

- 1) Una de las cualidades de los termopares es que tiene la capacidad de ponerse en contacto directo con el material que se está midiendo, recordando que utilizan dos metales disímiles que tienen dos lecturas diferentes voltaje producidas a partir de un cambio en las temperaturas en los extremos alternativos de los metales, y el único requisito de dichos sensores al estar en contacto directo con el material que se está midiendo es asegurarse el termopar esté bien aterrizado.

Teóricamente se pudo haber aprovechado la configuración de un solo extremo asignando, asignando un canal (+) y el otro conectado al COM (-), con lo cual se habrían podido conectar 20 sensores en un nivel del sistema de instrumentación. Pero en la práctica fue totalmente distinto, puesto que al momento de diseñar la placa resultaba muy compleja la conexión de los dos extremos del termopar.

- 2) Dentro del diseño de las PCB's, se seleccionó un elemento que de forma indirecta resultaría fundamental en la distribución de conexión. Se importaron directamente de Alemania borneras de seguridad que sujetarían los extremos del sensor con tecnología push-lock, evitando que el termopar se desconecte y ocasione alteraciones en los resultados. Además, se consideró su gran resistencia a altas temperaturas, con lo cual fue una gran elección de ésta componente, la cual permitió conectar únicamente 10 sensores pero garantizando una óptima conexión.

Una vez hecha esta salvada, regresamos al análisis de resultado. Todas las secciones del sistema de instrumentación son esenciales para que funcione y obtengamos un resultado final, sin embargo la componente que se lleva una mención honorífica es el circuito integrado. El circuito LTC2983 de la empresa Linear Technology, no sólo es importante por sus características y porque fue el centro del diseño esquemático de cada nivel del sistema, también permite utilizar diferentes módulos, diferentes sensores y de forma afable permite utilizar un software de la misma empresa. En éste software podemos configurar la conexión del sensor, permite si fuese el caso conectar diferentes sensores en una misma simulación.

- De forma directa permite visualizar los parámetros de salida dados en μV y $^{\circ}\text{C}$.
- Otra cualidad que permite dicho software es graficar de forma simultánea los valores que se van obteniendo en tiempo real.

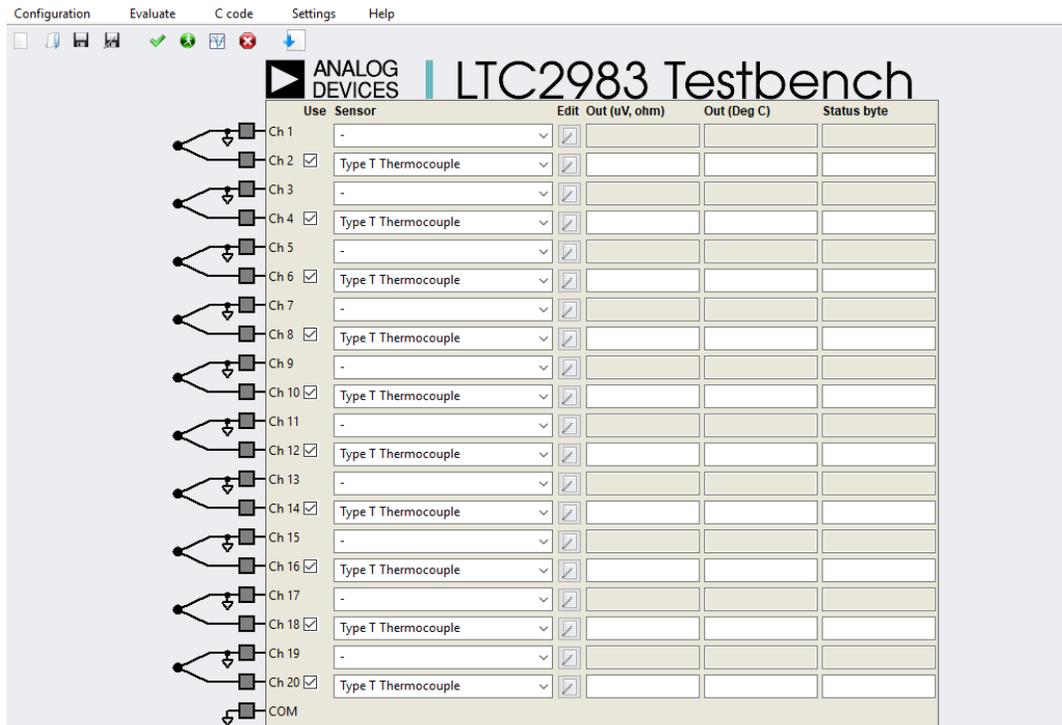


Figura 5.2 Software de configuración de conexiones.

Para el caso de la verificación de conexión es muy sencilla, primero se verifica que no haya ningún error, después de verificada se corre la prueba y si el sensor está conectado nos arrojará un valor en color negro, se debe tener muy presente que nuestro sensor mide temperaturas extremas, por lo cual puede tener resultados negativo grandes en la casilla de grados Centígrados.

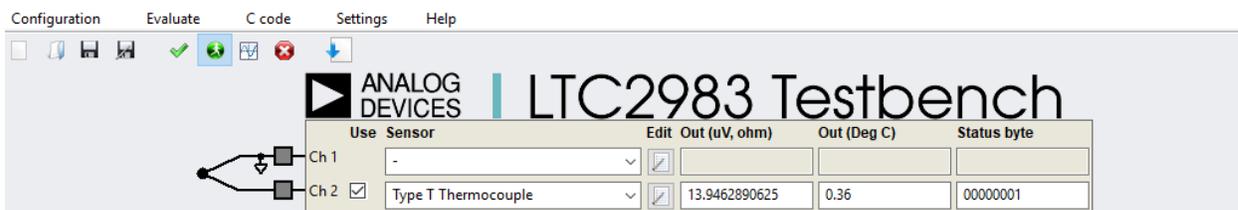


Figura 5.3 Detalle de sensor conectado.

En contra posición con lo dicho en el párrafo anterior, se realiza la verificación para cerciorarnos que no haya ningún problema en la conexión, en éste momento parecería que no hay error alguno, sin embargo, la forma de darnos cuenta que el sensor físicamente no está conectado o que presenta algún problema es porque en la casilla de grados Centígrados nos muestra un valor en color rojo y la cantidad sea positiva o negativa supera el rango de operación de nuestro sensor.

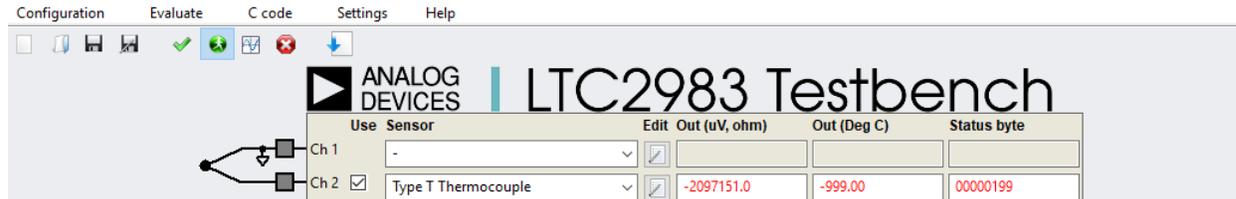


Figura 5.4 Detalle de sensor desconectado.

Posteriormente se analizó el sensor mediante una fuente de calor artificial, cabe destacar antes de cualquier prueba, el sensor se estabilizó con la temperatura ambiente de la Ciudad de México, la cual se dejó en 22 °C.

Una vez que se tenía este parámetro se comenzó la primer prueba básica con el sensor número 1, que en su forma de conexión diferencial (abarca dos canales) como se explicó anteriormente. La prueba fue breve, básicamente se quería comprobar que el sensor y lo relacionado a éste estuvieran en perfecto estado, se logró alcanzar una temperatura de aproximadamente 160 °C, en la siguiente figura se puede apreciar que la temperatura mantuvo una silueta prácticamente constante gracias a que la fuente de calor artificial en ningún momento dejó de funcionar.

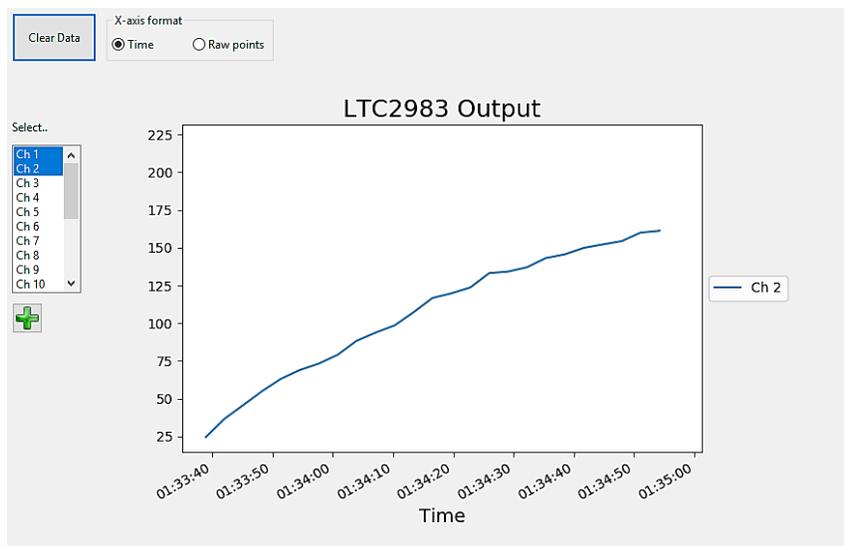


Figura 5.5 Prueba del sensor termopar para temperaturas positivas.

Para la siguiente prueba requirió de un canal diferente al utilizado para temperaturas positivas, esta vez fue el canal número 8, que de la misma forma se conectó de forma diferencial utilizando dos canales.

A diferencia de la anterior prueba no se contaba con una fuente que produjera un cambio de temperatura negativa constante, por lo cual se utilizó un cuerpo sólido cristalino que ayudara con la medición del sensor. La prueba fue un éxito puesto que se logró determinar que el sensor reacciona de gran forma también para temperaturas negativas.

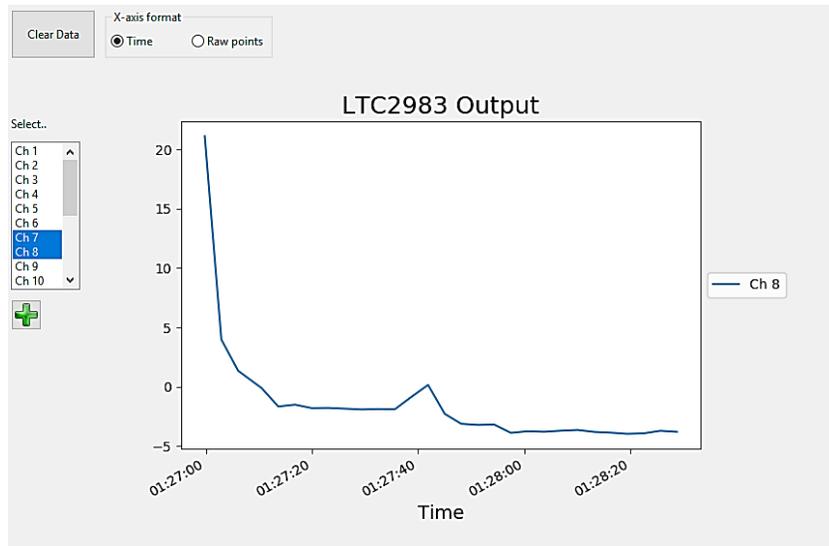


Figura 5.6 Prueba del sensor termopar para temperaturas negativas.

Posteriormente una vez que ya se tenían las primeras pruebas del sensor tanto para temperaturas positivas como negativas se procedió a iniciar con una prueba en la que se utilizaron 10 canales del sistema de instrumentación.

Cabe señalar que dicha prueba fue hecha con una fuente de calor artificial, donde se calentó de forma directa al sensor termopar, esto únicamente para los canales impares.

De igual manera se realizó una prueba para los canales pares, donde se decidió enfriar los sensores para ver su comportamiento.

Una vez más se reitera que los sensores se ajustaron a la temperatura ambiente promedio de la Ciudad de México que es aproximadamente de 22 °C.

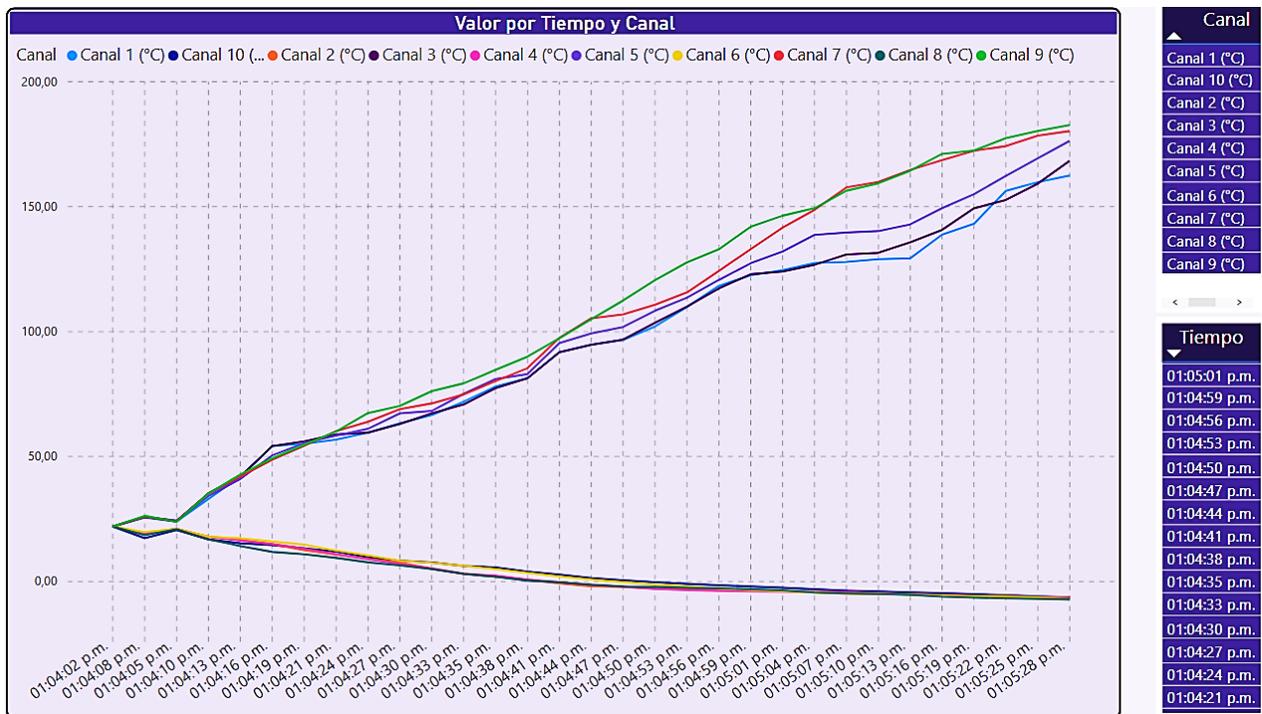


Figura 5.7 Prueba de sensores termopar con 10 canales.

La prueba fue breve, esto debido a la fuente de calor artificial que se utilizó para obtener temperaturas positivas, y para el caso del censado de en temperaturas negativas se logró enfriar el sensor de forma satisfactoria, pero de igual forma se trató de ser conciso para lograr plasmar los dato que mostraran el comportamiento,

Como detalle de cada sección de sensores se graficó los canales impares correspondiente a temperaturas positivas, donde básicamente se logró alcanzar ya en la práctica la temperatura de 182.64 °C, siendo este el resultado al utilizar una fuente de calor artificial básica, sin embargo se garantiza que el rango de temperatura puede ser más elevado (siempre y cuando cumpla con el límite establecido en la sección 2.5.1) sin sufrir algún problema en el registro de datos.

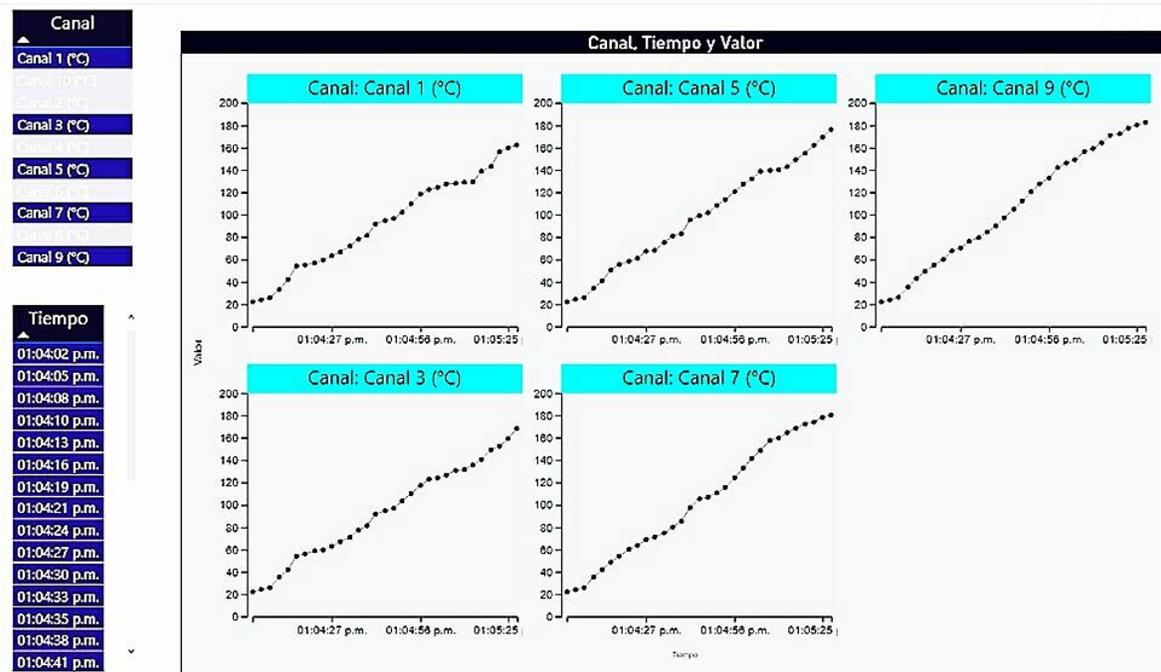


Figura 5.8 Prueba para canales impares, temperaturas positivas.

Como detalle de cada sección de sensores se graficó los canales pares correspondiente a temperaturas negativas, donde básicamente se logró alcanzar ya en la práctica la temperatura de $-7.16\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo este el resultado al enfriarlo con utensilios caseros, sin embargo se garantiza que el rango de temperatura puede cubrir el rango estipulado en la sección 2.5.1, sin sufrir algún problema en el registro de datos.

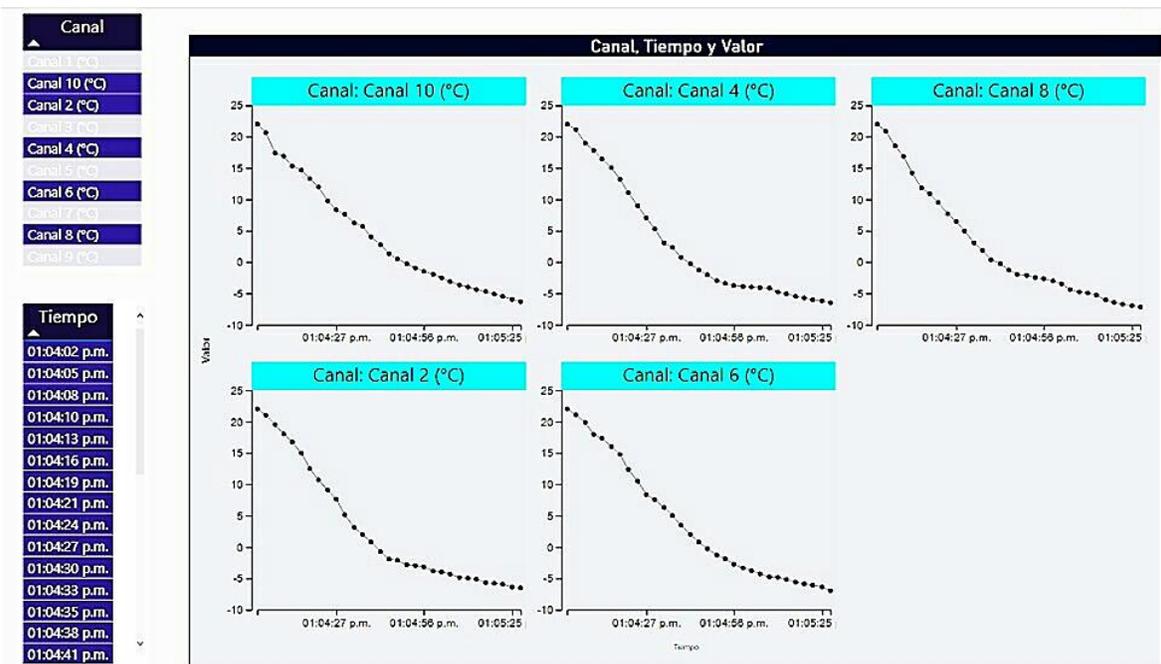


Figura 5.9 Prueba para canales pares, temperaturas negativas.

Conclusión final

En la realización de la tesis se logró proponer un sistema de instrumentación para una cámara de termovaciación ubicada en la Unidad de Alta Tecnología perteneciente a la UNAM en el campus Juriquilla, Qro. El sistema se centra específicamente a temperatura, cuyos valores oscilan en un rango de (-140 °C a 250 °C).

El diseño estuvo enfocado en la simplificación estructural de un cubesat, los cuales se manufacturan a bajo costo, unificar cargas útiles e integran diversos elementos electrónicos.

La elaboración fue sin duda el momento crucial del proyecto, requirió de una investigación ardua de cada una de las componentes, seleccionando las más idóneas respecto a las necesidades del sistema en cuestión.

El circuito integrado LTC2983 producido por Linear Technology, presenta cualidades extraordinarias, se seleccionó porque digitaliza de forma directa con alta precisión y sobretodo, accesible con múltiples sensores, sin embargo, presenta una desventaja, aunque se asegura que es compatible con microcontroladores por protocolo SPI, siempre presenta un error de registro de lectura. Se procedió a sustituir este elemento por un microcontrolador de la misma marca y el proceso se completó.

Considerando la elaboración de nuestro sistema integral es pertinente mencionar que los sistemas embebidos actualmente se encuentran en cualquier lugar de nuestro entorno y se han convertido en parte fundamental de nuestra vida cotidiana, automatizando tareas específicas de una manera eficiente para optimizar los recursos, tiempo y dinero, lo cual hoy en día es fundamental para cualquier empresa o institución que quiera tener un desarrollo sostenible. Por lo que su innovación y desarrollo es de suma importancia para que se brinden soluciones eficaces a problemas actuales y futuros.

Así mismo la idea de un mundo conectado ya es una completa realidad, el Internet de las cosas trae consigo múltiples beneficios en relación a la operatividad, instituciones y empresas lo usan para automatizar los negocios y los procesos de fabricación, además de monitorear y controlar de manera remota las operaciones.

Es por eso, que se decidió utilizar una aplicación (Power BI de la empresa Microsoft®) que analizara datos y compartiera información, información que se actualice en tiempo real y esté disponible en todos sus dispositivos, para así lograr un sistema de instrumentación integral que permita una telemetría de los datos obtenidos en campo para tenerlos al alcance de la mano en cualquier lugar y en cualquier momento de una forma accesible e interactiva.

Finalmente, se puede decir que la tecnología está ayudando a la sociedad a mejorar la toma de decisiones, automatizar las tareas rutinarias, a acelerar las comunicaciones.

Es preciso aludir que si nuestra nación quiere crecer en materia de ciencia y tecnología debe enfocarse por generarla aquí, fabricar componentes o materiales que ayuden a desarrollar proyectos más elaborados es indispensable. Esto representará un ahorro considerable al dejar de comprar tecnología a precios altos y que muchas veces es obsoleta.

Trabajo a futuro

- Desarrollo de un sistema de instrumentación más robusto.
- Pruebas de adquisición de datos con diferentes sensores.
- Aumento de nivel de sensores para pruebas paralelas.
- Integración de sensores de presión absoluta en la entra y salida de la cámara de termovació.
- Aplicación en campo de un sistema operativo en tiempo real.
- Reducción de tamaño en la elaboración de cada nivel de PCB's.

Apéndice A.

Diagrama de flujo y código.

El siguiente diagrama de flujo está basado en la hoja de especificaciones del circuito integrado LTC2983 de la marca Linear Technology.

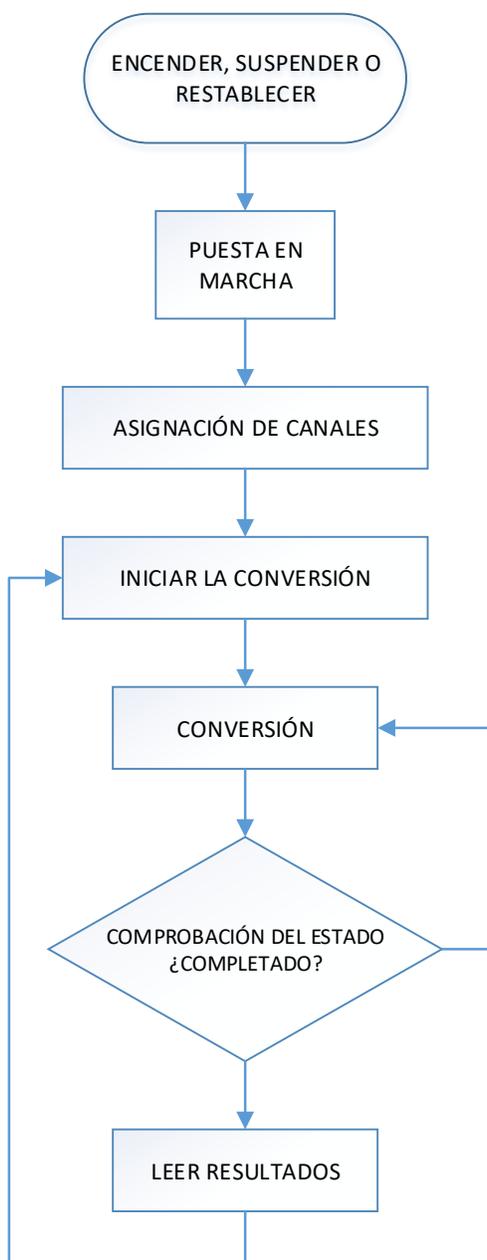


Diagrama de flujo del código correspondiente al CI LTC2983 de Linear Technology.

Código

```
//Libreria con las declaraciones para usar LTC2983
#include <LTC298X.h>
//Generar instancia de LTC298, Argumento chip select de spi en Arduino
#define termopar LTC298X(53)

void setup() {
  //Iniciar instancia del LTC298 - STARTUP
  termopar.begin();

  //Iniciar conexión serial
  Serial.begin(250000);

  //Configurar termopar: asigna canal, tipo de termopar y si es diferencial - CHANNEL
  ASSIGNMENT
  termopar.setupThermocouple(LTC298X_ADDR_CONFIG_CH4, LTC298X_TYPE_TC_T,
  1);

  //Configurar conversion a Celsius
  termopar.reportCelsius();
}

void loop() {
  //Iniciar conversión para canal 4 - CONVERSION
  termopar.beginConversion(LTC298X_CH4);

  Serial.println("begin conversion");
```

```
//Espera para recibir estado de la conversión - STATUS CHECK COMPLETE?  
while (!(termopar.isDone()))  
{  
    delay(100);  
    Serial.println("not done");  
}  
  
//Terminada la conversión  
Serial.println("Done");  
  
//Leer la temperatura para el canal 4 - READ RESULTS  
Serial.print("Temperatura: ");  
Serial.print(termopar.readTemperature(LTC298X_ADDR_RESULT_CH4));  
  
Serial.println("_____");  
}
```

Apéndice B.

Hoja de especificación LTC2983 para termopares.

LTC2983

APPLICATIONS INFORMATION

The LTC2983 combines high accuracy with ease of use. The basic operation is simple and is composed of five states (see Figure 3).

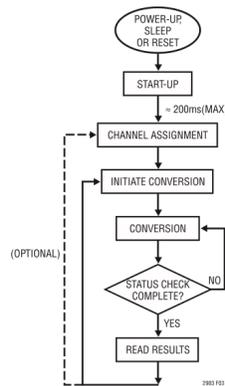


Figure 3. Basic Operation

Conversion States Overview

- 1. Start-Up.** After power is applied to the LTC2983 ($V_{DD} > 2.6V$), there is a 200ms wake up period. During this time, the LDO, charge pump, ADCs, and reference are powered up and the internal RAM is initialized. Once start-up is complete, the INTERRUPT pin goes HIGH and the command status register will return a value of 0x40 (Start bit = 0, Done bit = 1) when read.
- 2. Channel Assignment.** The device automatically enters the channel assignment state after start-up is complete. While in this state, the user writes sensor specific data for each input channel into RAM. The assignment data contains information about the sensor type, pointers to cold junction sensors or sense resistors, and sensor specific parameters.
- 3. Initiate Conversion.** A conversion is initiated by writing a measurement command into RAM memory location 0x000. This command is a pointer to the channel in which the conversion will be performed.
- 4. Conversion.** A new conversion begins automatically following an Initiate Conversion command. In this state, the ADC is running a conversion on the specified channel and associated cold junction or R_{SENSE} channel (if

applicable). The user is locked out of RAM access while in the state (except for reading status location 0x000). The end of conversion is indicated by both the INTERRUPT pin going HIGH and a status register START bit going LOW and DONE bit going HIGH.

- 5. Read Results.** In this state, the user has access to RAM and can read the completed conversion results and fault status bits. It is also possible for the user to modify/append the channel assignment data during the read results state.

Conversion State Details

State 1: Start-Up

The start-up state automatically occurs when power is applied to the LTC2983. If the power drops below a threshold of $\approx 2.6V$ and then returns to the normal operating voltage (2.85V to 5.25V), the LTC2983 resets and enters the power-up state. Note that the LTC2983 also enters the start-up state at the conclusion of the sleep state. The start-up state can also be entered at any time during normal operation by pulsing the RESET pin low.

In the first phase of the start-up state all critical analog circuits are powered up. This includes the LDO, reference, charge pump and ADCs. During this first phase, the command status register will be inaccessible to the user. This phase takes a maximum of 100mS to complete. Once this phase completes, the command status register will be accessible and return a value of 0x80 until the LTC2983 is completely initialized. Once the LTC2983 is initialized and ready to use, the interrupt pin will go high and the command status register will return a read value of 0x40 (Start bit = 0, Done bit = 1). At this point the LTC2983 is fully initialized and is ready to perform a conversion.

State 2: Channel Assignment

The LTC2983 RAM can be programmed with up to 20 sets of 32-bit (4-byte) channel assignment data. These reside sequentially in RAM with a one-to-one correspondence to each of the 20 analog input channels (see Table 3). Channels that are not used should have their channel assignment data set to all zeros (default at START-UP).

The channel assignment data contains all the necessary information associated with the specific sensor tied to that channel (see Table 4). The first five bits determine the sensor type (see Table 5). Associated with each sensor are sensor

2983f03

APPLICATIONS INFORMATION

Table 3. Channel Assignment Memory Map

CHANNEL ASSIGNMENT NUMBER	CONFIGURATION DATA START ADDRESS	CONFIGURATION DATA ADDRESS + 1	CONFIGURATION DATA ADDRESS + 2	CONFIGURATION DATA END ADDRESS + 3	SIZE (BYTES)
CH1	0x200	0x201	0x202	0x203	4
CH2	0x204	0x205	0x206	0x207	4
CH3	0x208	0x209	0x20A	0x20B	4
CH4	0x20C	0x20D	0x20E	0x20F	4
CH5	0x210	0x211	0x212	0x213	4
CH6	0x214	0x215	0x216	0x217	4
CH7	0x218	0x219	0x21A	0x21B	4
CH8	0x21C	0x21D	0x21E	0x21F	4
CH9	0x220	0x221	0x222	0x223	4
CH10	0x224	0x225	0x226	0x227	4
CH11	0x228	0x229	0x22A	0x22B	4
CH12	0x22C	0x22D	0x22E	0x22F	4
CH13	0x230	0x231	0x232	0x233	4
CH14	0x234	0x235	0x236	0x237	4
CH15	0x238	0x239	0x23A	0x23B	4
CH16	0x23C	0x23D	0x23E	0x23F	4
CH17	0x240	0x241	0x242	0x243	4
CH18	0x244	0x245	0x246	0x247	4
CH19	0x248	0x249	0x24A	0x24B	4
CH20	0x24C	0x24D	0x24E	0x24F	4

Table 4. Channel Assignment Data

Channel Assignment Memory Location	SENSOR TYPE	SENSOR SPECIFIC CONFIGURATION																														
	Configuration Data Start Address	Configuration Data Start Address + 1						Configuration Data Start Address + 2				Configuration Data Start Address + 3																				
	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Unassigned (Default)	Type = 0	Channel Disabled																														
Thermocouple	Type = 1 to 9	Cold Junction Channel Assignment [4:0]				SGL=1 DIFF=0	OC Check	OC Current [1:0]			0	0	0	0	0	0	Custom Address [5:0]					Custom Length - 1 [5:0]										
RTD	Type = 10 to 18	R _{SENSE} Channel Assignment [4:0]				2, 3, 4 Wire		Excitation Mode		Excitation Current [3:0]			Curve [1:0]		Custom Address [5:0]					Custom Length - 1 [5:0]												
Thermistor	Type = 19 to 27	R _{SENSE} Channel Assignment [4:0]				SGL=1 DIFF=0	Excitation Mode		Excitation Current [3:0]			0	0	0	Custom Address [5:0]					Custom Length - 1 [5:0]												
Diode	Type = 28	SGL=1 DIFF=0	2 to 3 Reading		Avg on	Current [1:0]		Ideality Factor (2, 20) Value from 0 to 4 with 1/1048576 Resolution All Zeros Use Factory Set Default in ROM																								
Sense Resistor	Type = 29	Sense Resistor Value (17, 10) Up to 131,072Ω with 1/1024Ω Resolution																														
Direct ADC	Type = 30	SGL=1 DIFF=0	Not Used																													
Reserved	Type = 31	Not Used																														

2983fc

APPLICATIONS INFORMATION

Table 5. Sensor Type Selection

31	30	29	28	27	SENSOR TYPE
0	0	0	0	0	Unassigned
0	0	0	0	1	Type J Thermocouple
0	0	0	1	0	Type K Thermocouple
0	0	0	1	1	Type E Thermocouple
0	0	1	0	0	Type N Thermocouple
0	0	1	0	1	Type R Thermocouple
0	0	1	1	0	Type S Thermocouple
0	0	1	1	1	Type T Thermocouple
0	1	0	0	0	Type B Thermocouple
0	1	0	0	1	Custom Thermocouple
0	1	0	1	0	RTD PT-10
0	1	0	1	1	RTD PT-50
0	1	1	0	0	RTD PT-100
0	1	1	0	1	RTD PT-200
0	1	1	1	0	RTD PT-500
0	1	1	1	1	RTD PT-1000
1	0	0	0	0	RTD 1000 (0.00375)
1	0	0	0	1	RTD NI-120
1	0	0	1	0	RTD Custom
1	0	0	1	1	Thermistor 44004/44033 2.252k Ω at 25°C
1	0	1	0	0	Thermistor 44005/44030 3k Ω at 25°C
1	0	1	0	1	Thermistor 44007/44034 5k Ω at 25°C
1	0	1	1	0	Thermistor 44006/44031 10k Ω at 25°C
1	0	1	1	1	Thermistor 44008/44032 30k Ω at 25°C
1	1	0	0	0	Thermistor YSI 400 2.252k Ω at 25°C
1	1	0	0	1	Thermistor Spectrum 1003k 1k Ω
1	1	0	1	0	Thermistor Custom Steinhart-Hart
1	1	0	1	1	Thermistor Custom Table
1	1	1	0	0	Diode
1	1	1	0	1	Sense Resistor
1	1	1	1	0	Direct ADC
1	1	1	1	1	Reserved

specific configurations. These include pointers to cold junction or sense resistor channels, pointers to memory locations of custom linearization data, sense resistor values and diode ideality factors. Also included in this data are, if applicable, the excitation current level, single-ended/differential input mode, as well as sensor specific controls. Separate detailed operation sections for thermocouples, RTDs, diodes, thermistors, and sense resistors describe the assignment data associated with each sensor type in more detail. The LTC2983 demonstration

software includes a utility for checking configuration data and generating annotated C-code for programming the channel assignment data.

State 3: Initiate Conversion

Once the channel assignment is complete, the device is ready to begin a conversion. A conversion is initiated by writing Start (B7 = 1) and Done (B6 = 0) followed by the desired input channel (B4 – B0) into RAM memory location 0x000 (see Tables 6 and 7). It is possible to initiate a measurement cycle on multiple channels by setting the channel selection bits (B4 to B0) to 00000; see the Running Conversions Consecutively on Multiple Channels section of the data sheet.

Table 6. Command Status Register

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
Start=1	Done=0	0	Channel Selection 1 to 20				Start Conversion	
1	0	0	1	0	1	1	1	Initiate Sleep

Table 7. Input Channel Mapping

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	CHANNEL SELECTED
1	0	0	0	0	0	0	0	Multiple Channels
1	0	0	0	0	0	0	1	CH1
1	0	0	0	0	0	1	0	CH2
1	0	0	0	0	0	1	1	CH3
1	0	0	0	0	1	0	0	CH4
1	0	0	0	0	1	0	1	CH5
1	0	0	0	0	1	1	0	CH6
1	0	0	0	0	1	1	1	CH7
1	0	0	0	1	0	0	0	CH8
1	0	0	0	1	0	0	1	CH9
1	0	0	0	1	0	1	0	CH10
1	0	0	0	1	0	1	1	CH11
1	0	0	0	1	1	0	0	CH12
1	0	0	0	1	1	0	1	CH13
1	0	0	0	1	1	1	0	CH14
1	0	0	0	1	1	1	1	CH15
1	0	0	1	0	0	0	0	CH16
1	0	0	1	0	0	0	1	CH17
1	0	0	1	0	0	1	0	CH18
1	0	0	1	0	0	1	1	CH19
1	0	0	1	0	1	0	0	CH20
1	0	0	1	0	1	1	1	Sleep
All Other Combinations								Reserved

2983fc

APPLICATIONS INFORMATION

Bits B4 to B0 determine which input channel the conversion is performed upon and are simply the binary equivalent of the channel number (see Table 7).

Bit B5 should be set to 0.

Bits B7 and B6 serve as start/done bits. In order to start a conversion, these bits must be set to “10” (B7=1 and B6=0). When the conversion begins, the INTERRUPT pin goes LOW. Once the conversion is complete, bits B7 and B6 will toggle to “01” (B7=0 and B6=1) (Address = 0x000) and the INTERRUPT pin will go HIGH, indicating the conversion is complete and the result is available.

State 4: Conversion

The measurement cycle starts after the initiate conversion command is written into RAM location 0x000 (Table 6). The LTC2983 simultaneously measures the selected input sensor, sense resistors (RTDs and thermistors), and cold junction temperatures if applicable (thermocouples).

Once the conversion is started, the user is locked out of the RAM, with the exception of reading status data stored in RAM memory location 0x000.

Once the conversion is started the INTERRUPT pin goes low. Depending on the sensor configuration, two or three 82ms cycles are required per temperature result. These correspond to conversion rates of 167ms and 251ms, respectively. Details describing these modes are described in the 2- and 3-cycle Conversion Modes section of the data sheet.

The end of conversion can be monitored either through the interrupt pin (LOW to HIGH transition), or by reading the command status register in RAM memory location 0x000 (start bit, B7, toggles from 1 to 0 and DONE bit, B6, toggles from 0 to 1).

State 5: Read Results

Once the conversion is complete, the conversion results can be read from RAM memory locations corresponding to the input channel (see Table 8).

The conversion result is 32 bits long and contains both the sensor temperature (D23 to D0) and sensor fault data (D31 to D24) (see Tables 9A and 9B).

Table 8. Conversion Result Memory Map

CONVERSION CHANNEL	START ADDRESS	END ADDRESS	SIZE (BYTES)
CH1	0x010	0x013	4
CH2	0x014	0x017	4
CH3	0x018	0x01B	4
CH4	0x01C	0x01F	4
CH5	0x020	0x023	4
CH6	0x024	0x027	4
CH7	0x028	0x02B	4
CH8	0x02C	0x02F	4
CH9	0x030	0x033	4
CH10	0x034	0x037	4
CH11	0x038	0x03B	4
CH12	0x03C	0x03F	4
CH13	0x040	0x043	4
CH14	0x044	0x047	4
CH15	0x048	0x04B	4
CH16	0x04C	0x04F	4
CH17	0x050	0x053	4
CH18	0x054	0x057	4
CH19	0x058	0x05B	4
CH20	0x05C	0x05F	4

The result is reported in °C for all temperature sensors with a range of -273.16°C to 8192°C and 1/1024°C resolution or in °F with a range of -459.67°F to 8192°F with 1/1024°F resolution. Included with the conversion result are seven sensor fault bits and a valid bit. These bits are set to a 1 if there was a problem associated with the corresponding conversion result (see Table 10). Two types of errors are reported: hard errors and soft errors. Hard errors indicate the reading is invalid and the resulting temperature reported is -999°C or °F. Soft errors indicate operation beyond the normal temperature range of the sensor or the input range of the ADC. In this case, the calculated temperature is reported but the accuracy may be compromised. Details relating to each fault type are sensor specific and are described in detail in the sensor specific sections of this data sheet. Bit D24 is the valid bit and will be set to a 1 for valid data.

Once the data read is complete, the device is ready for a new initiate conversion command. In cases where new channel configuration data is required, the user has access to the RAM in order to modify existing channel assignment data.

APPLICATIONS INFORMATION

Table 9A. Example Data Output Words (°C)

	START ADDRESS								START ADDRESS + 1								START ADDRESS + 2								START ADDRESS + 3 (END ADDRESS)								
	D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24	D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
	Fault Data								SIGN MSB								LSB																
Temperature	Sensor Hard Fault	ADC Hard Fault	CJ Hard Fault	CJ Soft Fault	Sensor Over Range Fault	Sensor Under Range Fault	ADC Out of Range Fault	Valid If 1	4096°C								1°C								1/1024°C								
8191.999°C								1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1024°C								1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1°C								1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
1/1024°C								1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0°C								1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-1/1024°C								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
-1°C								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-273.15°C								1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	

Table 9B. Example Data Output Words (°F)

	START ADDRESS								START ADDRESS + 1								START ADDRESS + 2								START ADDRESS + 3 (END ADDRESS)							
	D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24	D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
	Fault Data								SIGN MSB								LSB															
Temperature	Sensor Hard Fault	ADC Hard Fault	CJ Hard Fault	CJ Soft Fault	Sensor Over Range Fault	Sensor Under Range Fault	ADC Out of Range Fault	Valid If 1	4096°F								1°F								1/1024°F							
8191.999°F								1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1024°F								1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1°F								1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
1/1024°F								1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0°F								1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-1/1024°F								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
-1°F								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
-459.67°F								1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	

Table 10. Sensor Fault Reporting

BIT	FAULT	ERROR TYPE	DESCRIPTION	OUTPUT RESULT
D31	Sensor Hard Fault	Hard	Bad Sensor Reading	-999°C or °F
D30	Hard ADC-Out-of-Range	Hard	Bad ADC Reading (Could Be Large External Noise Event)	-999°C or °F
D29	CJ Hard Fault	Hard	Cold Junction Sensor Has a Hard Fault Error	-999°C or °F
D28	CJ Soft Fault	Soft	Cold Junction Sensor Result Is Beyond Normal Range	Suspect Reading
D27	Sensor Over Range	Soft	Sensor Reading Is Above Normal Range	Suspect Reading
D26	Sensor Under Range	Soft	Sensor Reading Is Below Normal Range	Suspect Reading
D25	ADC Out-of-Range	Soft	ADC Absolute Input Voltage Is Beyond $\pm 1.125 \cdot V_{REF}/2$	Suspect Reading
D24	Valid	NA	Result Valid (Should Be 1) Discard Results if 0	Suspect Reading

2983fc

APPLICATIONS INFORMATION

THERMOCOUPLE MEASUREMENTS

Table 11. Thermocouple Channel Assignment Word

	(1) THERMOCOUPLE TYPE					(2) COLD JUNCTION CHANNEL POINTER					(3) SENSOR CONFIGURATION					(4) CUSTOM THERMOCOUPLE DATA POINTER																
	TABLES 4, 12					TABLE 13					TABLE 14					TABLES 67 TO 69																
Measurement Type	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Thermocouple	Types 1 to 9					Cold Junction Channel Assignment [4:0]					SGL=1 DIFF=0 OC Check OC Current [1:0]					0	0	0	0	0	0	Custom Address [5:0]					Custom Length -1 [5:0]					

Channel Assignment – Thermocouples

For each thermocouple tied to the LTC2983, a 32-bit channel assignment word is programmed into a memory location corresponding to the channel the sensor is tied to (see Table 11). This word includes (1) thermocouple type, (2) cold junction channel pointer, (3) sensor configuration, and (4) custom thermocouple data pointer.

(1) Thermocouple Type

The thermocouple type is determined by the first five input bits B31 to B27 as shown in Table 12. Standard NIST coefficients for types J,K,E,N,R,S,T and B thermocouples are stored in the device ROM. If custom thermocouples are used, the custom thermocouple sensor type can be selected. In this case, user-specific data can be stored in the on-chip RAM starting at the address defined in the custom thermocouple data pointer.

(2) Cold Junction Channel Pointer

The cold junction compensation can be a diode, RTD, or thermistor. The cold junction channel pointer tells the LTC2983 which channel (1 to 20) the cold junction

Table 12. Thermocouple Type

(1) THERMOCOUPLE TYPE					THERMOCOUPLE TYPES
B31	B30	B29	B28	B27	
0	0	0	0	1	Type J Thermocouple
0	0	0	1	0	Type K Thermocouple
0	0	0	1	1	Type E Thermocouple
0	0	1	0	0	Type N Thermocouple
0	0	1	0	1	Type R Thermocouple
0	0	1	1	0	Type S Thermocouple
0	0	1	1	1	Type T Thermocouple
0	1	0	0	0	Type B Thermocouple
0	1	0	0	1	Custom Thermocouple

sensor is assigned to (see Table 13). When a conversion is performed on a channel tied to a thermocouple, the cold junction sensor is simultaneously and automatically measured. The final output data uses the embedded coefficients stored in ROM to automatically compensate the cold junction temperature and output the thermocouple sensor temperature.

Table 13. Cold Junction Channel Pointer

(2) COLD JUNCTION CHANNEL POINTER					COLD JUNCTION CHANNEL
B26	B25	B24	B23	B22	
0	0	0	0	0	No Cold Junction Compensation, 0°C Used for Calculations
0	0	0	0	1	CH1
0	0	0	1	0	CH2
0	0	0	1	1	CH3
0	0	1	0	0	CH4
0	0	1	0	1	CH5
0	0	1	1	0	CH6
0	0	1	1	1	CH7
0	1	0	0	0	CH8
0	1	0	0	1	CH9
0	1	0	1	0	CH10
0	1	0	1	1	CH11
0	1	1	0	0	CH12
0	1	1	0	1	CH13
0	1	1	1	0	CH14
0	1	1	1	1	CH15
1	0	0	0	0	CH16
1	0	0	0	1	CH17
1	0	0	1	0	CH18
1	0	0	1	1	CH19
1	0	1	0	0	CH20
All Other Combinations					Invalid

2983fc



APPLICATIONS INFORMATION

(3) Sensor Configuration

The sensor configuration field (see Table 14) is used to select single-ended (B21=1) or differential (B21=0) input and allows selection of open circuit current if internal open-circuit detect is enabled (bit B20). Single-ended readings are measured relative to the COM pin and differential are measured between the selected CH_{TC} and adjacent CH_{TC-1} (see Figure 4). If open-circuit detection is enabled, B20=1, then the user can select the pulsed current value applied during open-circuit detect using bits B18 and B19. The user determines the value of the open circuit current based on the size of the external protection resistor and filter capacitor (typically $10\mu A$). This network needs to settle within 50ms to $1\mu V$ or less. The duration of the current pulse is approximately 8ms and occurs 50ms before the normal conversion cycle.

Thermocouple channel assignments follow the general convention shown in Figure 4. The thermocouple positive terminal ties to CH_{TC} (where TC is the selected channel number) for both the single-ended and differential modes of operation. For single-ended measurements the thermocouple negative terminal and the COM pin are grounded. The thermocouple negative terminal is tied to CH_{TC-1} for differential measurements. This node can either be grounded or tied to a bias voltage.

(4) Custom Thermocouple Data Pointer

See Custom Thermocouples section near the end of this data sheet for more information.

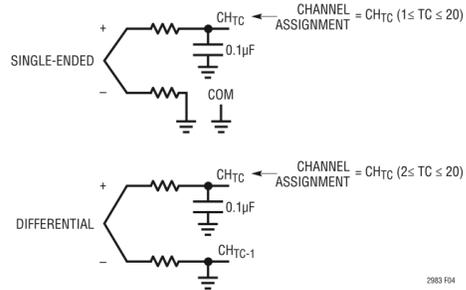


Figure 4. Thermocouple Channel Assignment Convention

Table 14. Sensor Configuration

(3) SENSOR CONFIGURATION					SINGLE-ENDED/ DIFFERENTIAL	OPEN-CIRCUIT CURRENT
SGL	OC CHECK	OC CURRENT				
B21	B20	B19	B18			
0	0	X	X	Differential	External	
0	1	0	0	Differential	$10\mu A$	
0	1	0	1	Differential	$100\mu A$	
0	1	1	0	Differential	$500\mu A$	
0	1	1	1	Differential	1mA	
1	0	X	X	Single-Ended	External	
1	1	0	0	Single-Ended	$10\mu A$	
1	1	0	1	Single-Ended	$100\mu A$	
1	1	1	0	Single-Ended	$500\mu A$	
1	1	1	1	Single-Ended	1mA	

APPLICATIONS INFORMATION

Fault Reporting – Thermocouple

Each sensor type has a unique fault reporting mechanism indicated in the upper byte of the data output word. Table 15 shows faults reported in the measurement of thermocouples.

Bit D31 indicates the thermocouple sensor is open (broken or not plugged in), the cold junction sensor has a hard fault, or the ADC is out of range. This is indicated by a reading well beyond the normal operating range. Bit D30 indicates a bad ADC reading. This can be a result of either a broken (open) sensor or an excessive noise event (ESD or static discharge into the sensor path). Either of these are a hard error and -999°C or $^{\circ}\text{F}$ is reported. In the case of an excessive noise event, the device should recover and the following conversions will be valid if the noise event was a random, infrequent event. Bit D29 indicates a hard fault occurred at the cold junction sensor and -999°C or $^{\circ}\text{F}$ is reported. Refer to the specific sensor (diode, thermistor, or RTD) used for cold junction compensation. Bit D28 indicates a soft fault occurred at the cold junction

sensor. A valid temperature is reported, but the accuracy may be compromised since the cold junction sensor is operating outside its normal temperature range. Bits D27 and D26 indicate over or under temperature limits have been exceeded for specific thermocouple types, as defined in Table 16. Bit D25 indicates the absolute voltage measured by the ADC is beyond its normal operating range. This fault reflects a reading that is well beyond the normal range of a thermocouple.

Table 16. Thermocouple Temperature Limits

THERMOCOUPLE TYPE	LOW TEMP LIMIT $^{\circ}\text{C}$	HIGH TEMP LIMIT $^{\circ}\text{C}$
J-Type	-210	1200
K-Type	-265	1372
E-Type	-265	1000
N-Type	-265	1300
R-type	-50	1768
S-Type	-50	1768
T-Type	-265	400
B-Type	40	1820
Custom	Lowest Table Entry	Highest Table Entry

Table 15. Thermocouple Fault Reporting

BIT	FAULT	ERROR TYPE	DESCRIPTION	OUTPUT RESULT
D31	Sensor Hard Fault	Hard	Open Circuit or Hard ADC or Hard CJ	-999°C or $^{\circ}\text{F}$
D30	Hard ADC-Out-of-Range	Hard	Bad ADC Reading (Could Be Large External Noise Event)	-999°C or $^{\circ}\text{F}$
D29	CJ Hard Fault	Hard	Cold Junction Sensor Has a Hard Fault Error	-999°C or $^{\circ}\text{F}$
D28	CJ Soft Fault	Soft	Cold Junction Sensor Result Is Beyond Normal Range	Suspect Reading
D27	Sensor Over Range	Soft	Thermocouple Reading Greater Than High Limit	Suspect Reading
D26	Sensor Under Range	Soft	Thermocouple Reading Less Than Low Limit	Suspect Reading
D25	ADC Out-of-Range	Soft	ADC Absolute Input Voltage Is Beyond $\pm 1.125 \cdot V_{\text{REF}}/2$	Suspect Reading
D24	Valid	NA	Result Valid (Should Be 1) Discard Results if 0	Valid Reading

Bibliografía

[1] Álvarez L. Norma, Tecnología e Industria en el futuro de México posible vinculaciones estratégicas. Centro de Investigación para el Desarrollo, A, C. Ed. Diana, México 1989.

[2] Casalet Mónica, Corona Treviño Leonel, Díaz de Cossio Roger, Introducción “Tecnología: Conceptos, problemas y perspectivas” Siglo veintiuno editores, s.a. de c.v. México 1998.

[3] Lara Rossano Felipe, Actores y procesos en la innovación tecnológica “Tecnología: Conceptos, problemas y perspectivas” Siglo veintiuno editores, s.a. de c.v. México 1998.

[4] Proceso tecnológico, Linalquibla. Consultado el 04-02-2017. 22:45 hrs.
<http://www.linalquibla.com/TecnoWeb/tecnologia/contenidos/proceso.htm>

[5] Definición “embebido”, Real Academia Española. Consultado el 19-05-2017. 19:51 hrs
<http://dle.rae.es/?id=EcavQbQ>

[6] CERT de seguridad e Industria, Madrid, España.
<https://www.certsi.es/blog/introduccion-los-sistemas-embebidos>, Consultado el 15-03-2018 a las 11:45 hrs.

[7] Excerpts from A Conversation with Gordon Moore: Moore’s Law. Consultado el 24-09-2017, 17:45 hrs.
http://large.stanford.edu/courses/2012/ph250/lee1/docs/Excerpts_A_Conversation_with_Gordon_Moore.pdf

[8] Perspectivas de los sistemas embebidos 2013. National Instruments, Dr. James Truchard. Consultado 23-09-2017. 18:32 hrs.
ftp://ftp.ni.com/pub/branches/latam/outlook/12775_ESO_Outlook_IA.pdf

[9] M. R. Neuman. (2015). Basic instrumentation systems, Consultado el 08-02-2017 dirección: <http://www.biomed.mtu.edu/~osoykan/classes/be3600/note2003/basicins.pdf>

[10] S. Tumanski, *Principles of Electrical Measurement*. Taylor & Francis, 2006.

[11] R. J. Hansman, “Characteristics of instrumentation”, en *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*. CRC Press, 1999.

[12] Mandado Pérez Enrique, Instrumentación electrónica, Marcombo Boixareu editores S. A. 1995.

[13] MARIÑO, P., NOGUEIRA, J. Y HERNÁNDEZ, H. 1999 Programmable Instrumentation Laboratory for Testing of Electronic Circuits and GPIB’s Signal Analysis. Proceedings of the IASTED International Conference on Computers and Advanced Technology in Education, Philadelphia, Pennsylvania USA.

[14] WeatherSpark. (2015). Average Weather for Mexico City (1990 - 2012), Consultado el 6-02-2017 dirección: <https://weatherspark.com/averages/32574/Mexico-City-Distrito-Federal>

- [15] Mexired. Consultado el 22-08-2017 a las 11:47 hrs.
<http://www.mexired.com/blog/el-avance-tecnologico-en-mexico>
- [16] Revista Forbes México. Consultado el 22-08-2017 a las 12:16 hrs.
<https://www.forbes.com.mx/internet-de-las-cosas/>
- [17] Laboratorio de Termo-vacío, Unidad de Alta Tecnología, Juriquilla, Qro. UNAM. Consultado el 1-04-2018 a las 16:26 hrs.
<http://www.ingenieria.unam.mx/uat/laboratorio-de-termo-vac%C3%ADo.html>
- [18] John Fluke Manufacturing Company, Metrology solutions, 1991.
- [19] Logicbus S.A. de C.V. (2015 Sitio de Automatización), Consultado el 07-03-2017 dirección: <http://www.logicbus.com.mx/termopares.php>
- [20] Alessandro Birolini, *Reliability Engineering: Theory and Practice*, Seventh Edition, Springer, ed. 2014.
- [21] WIKA Instrument Corporation, Wika - Handbook: Pressure and Temperature Measurement, 1998.
- [22] Adelantos tecnológicos post Guerra mundial, avances científicos. Consultado el 16-06-2017, a las 22:56 hrs.
https://historiaybiografias.com/tecno_postguerra/
- [23] Conceptos y terminología utilizada en circuitos impresos. Electrosoft Ingeniería. Consultado el 29-08-2017, a las 12:41hrs.
<http://www.pcb.electrosoft.cl/04-articulos-circuitos-impresos-desarrollo-sistemas/01-conceptos-circuitos-impresos/conceptos-circuitos-impresos-pcb.html>
- [24] Mikell P. Groover, Fundamentos de manufactura moderna, Materiales, procesos y sistemas. Pearson Prentice Hall, 1997.
- [25] Altium Design Software, Innovation for PCB Desing. Consultado el 04-02-2018, a las 12:35 hrs.
<http://www.altium.com/>
- [26] Digi-Key Electronics ® (Sitio oficial), Consultado el 08-06-2017, dirección: <https://www.digikey.com.mx/es/product-highlight/l/linear-tech/ltc2983-digital-temp-measurementic?WT.srch=1&mkwid=s5Aw23DuN&pcrid=74876181561&pkw= cat%3Adigikey.com.mx&pmt=b&pdv=c>
- [27] Phoenix Contact. Tecnología de conexión para placa de circuito impreso y cajas para electrónica. Consultado el 25-07-2017, a las 13:24 hrs.
https://www.phoenixcontact.com/assets/downloads_ed/global/web_dwl_promotion/1_HK_GE_13_ES_LR.pdf
- [28] Juan Carlos Martín Castillo, Electricidad y electrónica. Editorial Editex, S. A. Madrid España 2017.

[29] R. Palás-Areny, "Amplifiers and signal conditioners", en *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*. CRC Press, 1999.

[30] R. Dasgupta, D. Chattopadhyay, A. Pal y T. Chakravarty, "A Comprehensive Seven Layer Sensor Model: Cyber-Physical System", en *Sensing Technology: Current Status and Future Trends I*, A. Mason, S. C. Mukhopadhyay y K. P. Jayasundera, eds., 7 vols., 2014.

[31] Arduino Mega ADK, consultado el 02-08-2017, a las 14:52 hrs.
<http://arduino.cl/arduino-mega-adk/>

[32] Power BI. Consultado el 30-07-2017, a las 11:59 hrs <https://powerbi.microsoft.com/es-es/what-is-power-bi/>

[33] Linear Technology, especificaciones técnicas del circuito integrado LTC2983. Consultado el 02-04-2018, a las 12:45 hrs. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/2983fc.pdf?domain=www.linear.com>