

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica



Sistema de adquisición remota y almacenamiento de datos de equipos de medición en el proceso de control de calidad de la empresa Trimpot Electrónicas Ltda.

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Jeison Alberto Araya Salas

Cartago, Octubre de 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

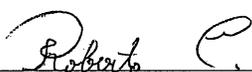
PROYECTO DE GRADUACIÓN

ACTA DE APROBACIÓN

**Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura
Instituto Tecnológico de Costa Rica**

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado Sistema de adquisición remota y almacenamiento de datos de equipos de medición en el proceso de control de calidad de la empresa Trimpot Electrónicas Ltda., realizado por el señor Jeison Alberto Araya Salas y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador.


Ing. Roberto Carlos Molina Robles

Profesor lector


Ing. Juan Scott Chaves Noguera

Profesor lector


Ing. Faustino Montes de Oca

Profesor asesor

Cartago, 21 de Noviembre, 2016

Declaración de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado, en su totalidad, por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado material bibliográfico, he procedido a indicar las fuentes mediante citas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Jeison Araya

Jeison Alberto Araya Salas

Cédula: 7 0230 0613

Resumen

La empresa Trimpot Electrónicas Ltda. se encarga del diseño y manufactura de diversos componentes electrónicos, por ello se utilizan diferentes herramientas de control de calidad para monitorear mediante diferentes equipos de medición si los productos finales cumplen con las especificaciones y funciones deseadas. Los instrumentos de medición utilizados son calibradores, comparadores, multímetros y sensores de detección láser de barrera.

El proceso actual de control de calidad lleva altos tiempos de escritura, digitación, visualización y análisis de datos, además de un costo del papel y del espacio utilizado para almacenar la información. Entonces para solucionar estos problemas se desarrolló un sistema de adquisición remota y almacenamiento de las variables físicas y eléctricas de los diferentes dispositivos de medición.

Se desarrolló una aplicación en LabVIEW capaz de poder comunicar el multímetro Keithley 2700 o el SourceMeter Keithley 2400 mediante el protocolo IEEE-488, el sensor de detección láser de barrera Keyence a través de una interfaz de comunicación serial RS-232 y una salida analógica a través del DAQ LabJack.

También se diseñó un prototipo convertidor de salida Digimatic a USB en la placa “Pro Trinket 5V” para exportar la información del calibrador e indicador de altura hacia la aplicación de LabVIEW.

Por último se implementó una base de datos en Microsoft Access, la cual se comunica con LabVIEW a través de un ODBC.

Palabras Claves: Adquisición remota de datos, Automatización del proceso, Base de datos, Control Estadístico del Proceso, Digimatic, LabVIEW, Pro Trinket 5v

Abstract

Trimpot Electrónicas Ltda. designs and manufactures several electronics components, so is necessary to use different quality control tools to monitor through some measurement equipment if the final products accomplish with the desired functions and specifications. The used measurement devices are the calipers, height indicators, multimeters and laser thrubeam sensors.

The current quality control process involves high times of data typing, visualization and analysis. Additionally the process needs to use paper for save data and it implies to use spaces for the storage of the different physical and electric variables of measurement devices.

An application was developed in LabVIEW, able to communicate the Keithley 2700 multimeter or Keithley 2400 SourceMeter by the IEEE-488 protocol, besides the laser thrubeam sensor through a serial communication interface RS-232 and an analog output through a LabJack DAQ.

Also, a converter Digimatic-USB prototype was designed in the board named “Pro Trinket 5V”, to export the caliper and height indicator’s information to the LabVIEW application.

Finally, a database was implemented in Microsoft Access, which communicates with LabVIEW through an ODBC.

Keywords: Database, Digimatic, LabVIEW, Process Automation, Pro Trinket 5v, Remote acquisition data, Statistical Process Control

Dedicatoria

“A mis padres Walter y Lisbeth, porque ellos siempre me estuvieron brindando su apoyo incondicional y cumplieron un papel importante en mi formación personal y profesional.

También a mi hermana Adriana, porque sé que estaría completamente orgullosa de lo que he logrado hasta hoy.

Asimismo, a todas las personas cercanas que me brindaron su mano y ayuda a lo largo de mis estudios en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.”

Agradecimiento

Primeramente agradecerle a Dios por la sabiduría y fortaleza que me ha brindado para cumplir esta meta.

Un agradecimiento especial a mi familia por el apoyo y esfuerzo brindado a través de toda esta etapa de aprendizaje y formación académica.

Además, agradecer al personal de la empresa Trimpot Electrónicas Ltda. que me abrieron las puertas para desarrollar con éxito mi proyecto, al Ing. Manuel Castro y al Ing. Marcos Ching por los aportes realizados en el desarrollo del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Entorno del proyecto	1
1.2 Definición del Problema	3
1.2.1 Generalidades	3
1.2.2 Síntesis del Problema	4
1.3 Enfoque de la Solución	4
Capítulo 2: Meta y Objetivos	7
2.1 Meta	7
2.2 Objetivo General	7
2.3 Objetivos Específicos.....	7
Capítulo 3: Marco Teórico	8
3.1 Descripción de los instrumentos de medición	8
3.1.1 Multímetro Keithley modelo 2700.....	8
3.1.2 SourceMeter Keithley modelo 2400	9
3.1.3 Indicador de altura Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic	10
3.1.4 Calibrador Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic.....	11
3.1.5 Sensor de detección láser de barrera Keyence Serie IB.....	12
3.2 Métodos de medición de resistencias en multímetros.....	17
3.3 Comunicación serial	20
3.3.1 Parámetros que permiten la comunicación serial	20
3.3.2 Interfaz RS-232	22
3.3.3 Handshaking	22
3.4 GPIB (General purpose interface bus).....	23
3.4.1 Descripción del bus GPIB.....	24
3.5 Salida de datos Digimatic	25
3.5.1 Especificación de los cables de conexión	27
3.5.2 Especificaciones eléctricas	28
3.5.3 Diagrama de tiempos	30
3.5.4 Características del envío de la señal de datos.....	31
3.5.5 Formato de los datos.....	31
3.6 LabVIEW	36

3.6.1	Descripción de LabVIEW.....	36
3.6.2	Programación secuencial	36
3.7	Fundamentos Estadísticos.....	37
3.7.1	Causa común o probable de variación	37
3.7.2	Causa especial o asignable de variación	37
3.7.3	Control Estadístico del Procesos	37
3.7.4	Gráficos de control	38
3.7.5	Gráficas de Promedio \bar{X} y Rango R.....	38
3.7.6	Límites de especificación:.....	40
3.7.7	Capacidad del proceso	40
3.8	Bases de Datos	41
3.8.1	Sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS)	41
3.8.2	Open Data Base Connection (ODBC).....	41
Capítulo 4: Procedimiento Metodológico		42
4.1	Investigación bibliográfica.....	42
4.2	Experimentación y uso de diferentes equipos.....	43
4.3	Entrenamiento en LabVIEW y Control Estadístico del Proceso	43
4.4	Diferentes alternativas de solución.....	44
4.4.1	Adquisición de Datos.....	44
4.4.2	Visualización y análisis.....	45
4.4.3	Bases de datos.....	46
4.5	Selección de la solución final.....	46
4.6	Implementación de la solución	47
Capítulo 5: Descripción Detallada de la Solución.....		49
5.1	Diseño de la adquisición de datos de diferentes instrumentos de medición	49
5.1.1	Indicador de altura y calibrador ABSOLUTE Digimatic.....	50
5.1.2	Multímetro Keithley 2700 y SourceMeter Keithley 2400	51
5.1.3	Sensor de detección láser de barrera	55
5.2	Diseño de interfaz Digimatic-USB	61
5.2.1	Salida experimental Digimatic.....	61
5.2.2	Requerimientos de diseño	61
5.2.3	Diferentes placas para implementar diseño	62
5.2.4	Diseño de hardware y software utilizado	63

5.3	Visualización de datos medidos	66
5.4	Análisis Estadístico de los datos	67
5.4.1	Graficas X-R e histogramas.....	67
5.4.2	Estudio de Capacidad	68
5.5	Diseño de la base de datos.....	68
5.5.1	Almacenamiento de Datos	68
5.5.2	Lectura de Datos almacenados	69
Capítulo 6: Resultados y Análisis		70
6.1	Resultados Experimentales de la salida Digimatic	70
6.2	Adquisición de Datos.....	73
6.3	Visualización y análisis de los datos	77
6.4	Almacenamiento en Base de Datos	80
6.5	Análisis económico	81
Capítulo 7: Conclusiones.....		83
Capítulo 8: Recomendaciones.....		85
Referencias Bibliográficas		86
Apéndices 89		
	Apéndice A.1 Diagrama de bloques del código desarrollado en LabVIEW	89
Anexos 93		
	Anexo B.1 Contantes A_2 , d_2 , D_3 y D_4 de Gráficas de control X-R.....	93
	Anexo B.2 Comandos SCPI para medición de señales.....	94
	Anexo B.3 Lista de Números de Datos para los comandos de lectura en DL-RS1A	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Imagen del multímetro Keithley 2700	8
Figura 3.2	Imagen del SourceMeter Keithley 2400	9
Figura 3.3	Indicador de altura Mitutoyo 543-692	10
Figura 3.4	Calibrador Mitutoyo 500-170-30 [7]	12
Figura 3.5	Cabezales Keyence IB-10 del sensor de detección láser de barrera	13
Figura 3.6	Espectro electromagnético [8]	14
Figura 3.7	Amplificador Keyence IB-1500 del sensor de detección láser de barrera	15
Figura 3.8	Distribución de cables de alimentación, entradas y salidas del amplificador Keyence IB-1500 [12]	15
Figura 3.9	Indicadores de evaluación del Keyence IB-1500.....	16
Figura 3.10	Diagrama eléctrico del modo de detección Two-Wire	18
Figura 3.11	Diagrama eléctrico del modo de detección Four-Wire	19
Figura 3.12	Conector DB9 utilizado para la interfaz RS-232	22
Figura 3.13	Configuración del bus IEEE-488	25
Figura 3.14	Esquema de conexión de un instrumento Digimatic con un dispositivo externo	26
Figura 3.15	Interfaz comercial que envía datos Digimatic mediante USB [18].	27
Figura 3.16	Conector del lado de la interfaz del cable Mitutoyo 905338	27
Figura 3.17	Circuito electrónico para la entrada de las señales de datos y reloj [19]	28
Figura 3.18	Diagrama eléctrico de la configuración resistencia Pull-up para un micro controlador [20]	28
Figura 3.19	Diagrama del circuito electrónico para la salida de la señal de solicitud de datos.....	29
Figura 3.20	Diagrama de conexiones de un sistema de envío de datos Digimatic [19]...	30
Figura 3.21	Diagrama de tiempos al enviar un dato Digimatic [19]	31
Figura 3.22	Lectura del cada bit cuando la señal de reloj se encuentre en LOW [19].....	31
Figura 3.23	Envío de un dato Digimatic= 0.12345 pulgadas	35
Figura 3.24	Logo de la aplicación LabVIEW	36
Figura 3.25	Comportamiento típico de una gráfica de control [26].	38
Figura 5.1	Diagrama de bloques del Hardware del sistema de adquisición de datos.....	49
Figura 5.2	Diagrama de estados del software implementado para cada instrumento	50
Figura 5.3	Controlador GPIB-USB-HS de la marca National Instruments	52
Figura 5.4	Respuesta del SourceMeter al comando *IDN? enviado mediante la sintaxis SCPI de la IEEE-488	53
Figura 5.5	Diagrama de estados de la adquisición de valores resistivos en un multímetro	54
Figura 5.6	Dispositivo de adquisición de datos LabJack U3 HV	55
Figura 5.7	Acondicionamiento del valor leído en el pin AIN0 del LabJack	56

Figura 5.8	Unidad de comunicación RS-232C Keyence DL-RS1A	57
Figura 5.9	Terminal de conexiones del DL-RS1A [32]	58
Figura 5.10	Conexión entre la terminal de conexión del DL-RS1A y un cable DB-9 hembra	59
Figura 5.11	Estructura del formato de comando a enviar hacia el DL-RS1A.....	59
Figura 5.12	Estructura del formato de la respuesta recibida del DL-RS1A.....	60
Figura 5.13	Lectura del modo de medición (0=porcentaje, 1=longitud) y lectura del valor de medición (0.1149 in).....	60
Figura 5.14	Diagrama de bloques de las conexiones del convertidor diseñado.....	62
Figura 5.15	Distribución de pines y estructura del micro controlador ATmega328P en el Pro Trinket 5V [34]	64
Figura 5.16	Conexión del prototipo de la interfaz Digimatic-USB.....	64
Figura 5.17	Layout del diseño de la tarjeta PCB para el convertidor Digimatic-USB	64
Figura 5.18	Diagrama de flujo del software implementado en el Pro Trinket 5V	66
Figura 5.19	Diseño de diferentes visualizadores gráficos en LabVIEW.....	67
Figura 5.20	Diagrama de estados del software de la lectura de la base de datos	69
Figura 6.1	Tiempo en bajo de la señal de reloj de datos Digimatic en Osciloscopio Tektronix TDS2012C a 5V/div y 250µs/div	70
Figura 6.2	Medición del periodo y frecuencia de la señal Reloj del formato Digimatic en Osciloscopio Tektronix TDS2012C a 1V/div y 100µs/div	71
Figura 6.3	Stream de la señal Datos (naranja) y Reloj (celeste) Digimatic de una medición de 0.3690 pulgadas en un comparador de altura Mitutoyo.....	71
Figura 6.4	Decodificación del Stream de la señal Datos Digimatic de una medición de 0.3690 pulgadas en un comparador de altura Mitutoyo	72
Figura 6.5	Medición de una muestra en el Indicador de altura Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic	73
Figura 6.6	Menú principal de la aplicación de LabVIEW diseñada.....	74
Figura 6.7	Ventana Emergente para la entrada de datos del calibrador Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic	75
Figura 6.8	Prototipo de conversión Digimatic-USB implementado en un Pro Trinket 5V	75
Figura 6.9	Interfaz gráfica de medición remota del multímetro Keithley 2700 a través de la interfaz de comunicación IEEE-488.....	76
Figura 6.10	Interfaz gráfica de medición remota del sensor de detección láser de barrera Keyence IB-Series a través de comunicación serial RS-232 y un DAQ LabJack.....	77
Figura 6.11	Comparación de gráficas de control X-R manuales e implementadas en la aplicación de LabVIEW	78
Figura 6.12	Interfaz gráfica que permite ver detalladamente cada punto de las gráficas de promedio y rango.....	78
Figura 6.13	Herramientas de Control Estadístico del Proceso: Puntos fuera de control y estudio de capacidad.....	79

Figura 6.14	Base de Datos implementada para el almacenamiento y lectura de diferentes variables proveniente de instrumentos de medición.....	80
Figura A.1.1	Software implementado para la creación de la Ventana emergente para el ingreso de datos de los instrumentos Mitutoyo	89
Figura A.1.2	Lectura de la información que proporciona el multímetro al enviar el comando “*IDN?”	89
Figura A.1.3	Software implementado para la interfaz Gráfica de la adquisición de valores resistivos en un multímetro.....	90
Figura A.1.4	Implementación del software en LabVIEW para lecturas analógicas del LabJack.....	90
Figura A.1.5	Comunicación serial RS-232C entre el DL-RS1a y una PC en LabVIEW	91
Figura A.1.6	Implementación de las gráficas de control en LabVIEW	91
Figura A.1.7	Diseño de software encargado de brindar los diferentes índices del estudio de capacidad	91
Figura A.1.8	Sub-VI encargado de almacenar 5 datos a la vez.....	92
Figura B.2.1	Resumen de orden de comandos de medición SCPI [3]	94
Figura B.2.2	Comandos SCPI de configuración para medición [3].....	95
Figura B.2.3	Comandos SCPI para realizar mediciones [3].....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Rangos de fuente alimentación y de medición [4]	9
Tabla 3.2	Especificaciones del Indicador de altura Mitutoyo 543-692 [5]	11
Tabla 3.3	Especificaciones del calibrado Mitutoyo 543-692 [7].....	12
Tabla 3.4	Diferentes tipos de cabezales del sensor de detección láser de barrera y sus respectivos rangos de medición.....	13
Tabla 3.5	Valores típicos de corrientes de prueba para diferentes rangos de medición del SourceMeter Keithley modelo 2400 [4]	17
Tabla 3.6	Método de detección de paridad.....	21
Tabla 3.7	Señales de Handshaking en un conector DB-9.....	23
Tabla 3.8	Distribución de pines utilizados para el conector del lado de la interfaz	27
Tabla 3.9	Salidas vs Entrada de la configuración del transistor BJT utilizado	29
Tabla 3.10	Tiempos de duración de diferentes partes de las señales necesarias para realizar el envío de un dato SPC.....	30
Tabla 3.11	Distribución de los dígitos del formato de datos SPC	32
Tabla 3.12	Diferentes tipos de datos que pueden ser enviados a través de un instrumento con salida Digimatic	32
Tabla 3.13	Signo de una medición de un dato Digimatic.....	33
Tabla 3.14	Formato de envío de seis dígitos Digimatic para una medición de 1.2345 pulgadas	34
Tabla 3.15	Codificación de la posición del punto decimal de un dato Digimatic	34
Tabla 3.16	Codificación de la unidad y tolerancia de un dato Digimatic	35
Tabla 5.1	Ejemplo de medición remota de una resistencia de un SourceMeter a través de los comandos SCPI de las normas IEEE-488.1 e IEEE-488.2.	53
Tabla 5.2	Parámetros de comunicación serial configurados para el DL-RS1A	57
Tabla 5.3	Requerimientos de Hardware de diseño de comunicación Instrumento Digimatic-Convertidor	62
Tabla 5.4	Comparación de hardware de diferentes plataformas de acuerdo con los requerimientos necesarios.....	62
Tabla 6.1	Resultado de la decodificación de un dato Digimatic de una medición correspondiente a 0.3690 pulgadas.....	72
Tabla 6.2	Comparación de costos del proceso actual vs la solución propuesta	82
Tabla B.1.1	Constantes A_2 , d_2 , D_3 , y D_4 utilizadas para la confección de las gráficas de control [26]	93

Capítulo 1: Introducción

1.1 Entorno del proyecto

El proyecto realizado tiene como lugar la empresa Trimpot Electrónicas Ltda., la cual pertenece a la corporación Bourns, ubicada en Heredia del Cruce a San Antonio de Belén-Autopista General Cañas, 150 m al oeste. Bourns es un fabricante y proveedor de componentes electrónicos en donde actualmente sirve a una gran gama de mercados, entre ellos varios segmentos de los automotores, telecomunicaciones, industrial y de consumo [1], [2].

La empresa Trimpot Electrónicas Ltda. labora principalmente en 3 áreas específicas, ellas son “Trimmers”, “Fixed Resistors” y “Gas Discharge Tube” (GDT). El área de “Trimmers” se encarga a la fabricación de diversos tipos de potenciómetros, “Fixed Resistors” elabora Power Resistors (resistencias de potencia), Shunts (resistencias de alta potencia y baja resistividad) y redes de resistencias, y por último GDT se encarga de la elaboración de tubos de gas para descarga.

Debido a que la empresa se dedica a la manufactura de componentes electrónicos, deben de asegurarse que todos aquellos componentes fabricados cumplan con las especificaciones deseadas y con las funcionalidades especificadas, realizando métodos de control de calidad. Para ello se deben realizar mediciones como lo son dimensiones de:

- Altura de partes de componentes.
- Altura de componentes ensamblados
- Desnivel de ensamble de partes de los componentes
- Largo de patillas de componentes
- Ancho y largo de las diversas partes de componentes.
- Ancho y largo de piezas mecánicas de proceso.
- Valores resistivos de los diferentes componentes electrónicos.

Para la realización de todas las mediciones y pruebas se utiliza equipo especializado como lo son calibradores, comparadores, multímetros, sensores de altura, entre otros. Estos equipos ofrecen la posibilidad de exportar los datos leídos, pero actualmente no se está aprovechando esta salida de datos, ya que los resultados de las mediciones de variables físicas y eléctricas realizadas se hacen de manera manual y escrita, en donde luego se debe digitalizar y tabular para que puedan ser analizadas.

Todo este proceso conlleva altos tiempos de escritura y análisis. De igual manera existe un potencial de error humano gracias a que los datos deseados son digitados a mano. Por lo tanto es necesario realizar una mejora al proceso productivo que permita facilitar la labor de las mediciones, disminución de errores, ahorro de tiempo y automatización del proceso.

Es importante tener una herramienta de visualización en tiempo real de las diferentes variables físicas y eléctricas de los componentes puestos a prueba. Con ella es posible conocer rápidamente si el componente electrónico ha sido fabricado con las especificaciones deseadas. Por lo tanto, se posibilita una toma de decisiones temprana en el proceso de producción.

Actualmente existe una gran cantidad de información disponible que se encuentra almacenada en papel, gracias a la toma de datos manual. El uso de estos recursos proporciona un gasto en aspectos económicos y físicos para la empresa. Por último, una herramienta de almacenamiento de la información como una base de datos llegaría a reducir el uso de papel y espacio que se realiza en el proceso productivo.

1.2 Definición del Problema

1.2.1 Generalidades

Posibles errores de escritura

El proceso de medición de diferentes dimensiones físicas y eléctricas de los componentes fabricados se realiza de forma manual mediante equipos de medición especializados. La lectura de los resultados de medición debe ser escrita manualmente por los operarios encargados del proceso, esto provoca que exista la posibilidad de errores de escritura en el papel utilizado. Además, esta información luego debe digitalizarse y tabularse a través de otros funcionarios encargados de este tema, en donde también existe el potencial de errores al transferir los datos en papel a una computadora. Consecuentemente, el proceso de adquisición de datos lleva un largo tiempo y éste puede llegarse a corromper, gracias a los posibles errores que se puedan dar.

Alto tiempo de visualización

El actual proceso de verificación y medición de las diferentes variables necesarias para realizar un control de calidad, no permite disponer de la visualización de los datos digitalizados en tiempo real, entonces no se tiene la herramienta necesaria que permita al personal tomar decisiones rápidamente acerca de los componentes puestos a observación.

Alto tiempo de análisis de datos

Los operarios encargados de realizar las mediciones, también deben de realizar procesos estadísticos como el promedio y rango de las muestras medidas. Estos valores deben de ir agregándolos a una gráfica de control dispuesta en papel, si se desea realizar un análisis más completo y detallado de las muestras medidas es necesario esperar que esta información ya haya sido digitalizada y tabulada. Este proceso conlleva un alto tiempo y no es posible

obtener los resultados del análisis rápidamente, lo que imposibilita una rápida acción de los respectivos ingenieros encargados del proceso de control de calidad.

Costo de papel y difícil acceso a la información

Toda la información adquirida en papel debe almacenarse al menos 3 años dependiendo de la información que represente, de tal forma que provoca una acumulación de papel que genera un costo de este y el uso de espacio. Además, existe un difícil acceso a esta información porque si se desea observar las mediciones originalmente leídas es necesario buscar manualmente el papel que se necesita.

1.2.2 Síntesis del Problema

El alto tiempo de adquisición y análisis de las variables físicas y eléctricas de los componentes electrónicos no permite disponer de los datos rápidamente, por lo tanto, la evaluación de si el componente electrónico cumple con los requerimientos establecidos hace más lento el proceso productivo.

1.3 Enfoque de la Solución

La idea es implementar un sistema de adquisición de datos de diferentes equipos de medición utilizados para el proceso de control de calidad de componentes electrónicos. Los instrumentos de medición de los que se desean adquirir datos son calibradores, comparadores o indicadores de altura, multímetros y sensores de detección láser de barrera. Todos estos dispositivos presentan una o varias formas de las cual es posible realizar una exportación de datos.

Los calibradores y comparadores utilizados tienen la opción de salida serial de datos “Digimatic” o también conocida como “salida de datos SPC”. Los multímetros utilizados permiten la exportación de datos mediante las interfaces de comunicación RS-232 y GPIB

(IEEE-488). Mientras que los sensores de detección de láser de barrera tienen una salida analógica configurable en diferentes rangos de tensión eléctrica o un rango corriente eléctrica, además, este sensor tiene la opción de exportar datos a través de diferentes módulos de comunicación como los siguientes: Profinet, Profibus DP, EtherNet/IP, CC-Link, RS-232C y BCD Interface.

Una vez que la información se extrae de los diversos instrumentos de medición, se desea enviar los datos a un PC remoto. Para poder realizar el envío de datos es necesario utilizar diferentes interfaces de comunicación o convertidores que logren establecer la comunicación entre los dispositivos y la computadora, además de realizar el envío correspondiente. Para realizar esta acción existen diferentes caminos a tomar, los cuales dependen de factores como lo son el entorno, las aspiraciones económicas, diseño de ingeniería y la tecnología que se pretende utilizar.

Como se mencionó anteriormente, el calibrador y el comparador disponen de una salida Digimatic. En el mercado actual existen diferentes convertidores de datos SPC a una salida estándar, ya sea RS-232C, PS-2 y USB. Es importante investigar y analizar cuál de todos estos dispositivos comerciales es la mejor opción a utilizar.

De igual manera se pretende realizar el diseño de un convertidor que simule el comportamiento de la interfaz comercial. Esto se pretende utilizando algún micro controlador o sistema embebido que se encargue de la decodificación y conversión. La elección del micro controlador o sistema embebido dependerá de los requerimientos de diseño que se vayan a presentar, para el desarrollo de esta interfaz será necesario aplicar conocimientos en teoría de micro controladores o sistemas embebidos según aplique.

Para la conversión de los datos Digimatic en el diseño de la interfaz deseada, será necesario aplicar los conocimientos de sistemas Digitales para poder realizar una comunicación y decodificación óptima entre el instrumento de medición y PC remoto.

En el envío de datos de los multímetros se necesita una interfaz que comunique éste dispositivo con el computador, para realizar la comunicación se pueden utilizar los cables de conexión RS-232 o GPIB.

La adquisición de datos desde el sensor de detección láser de barrera se puede confeccionar con la salida analógica o con un módulo de comunicación. Para el caso de la salida analógica es necesario utilizar un Convertidor Analógico-Digital (ADC) que permita digitalizar la información y realizar el envío del dato medido, mientras que con el módulo de comunicación se debe realizar un estudio de cuál es el indicado para poder comunicarse con una computadora.

Luego en el ordenador se pretende utilizar una herramienta computacional capaz de tomar toda la información proveniente de los instrumentos de medición, esto permitiría que el personal a cargo pueda controlar cuando se desea realizar la lectura de los datos provenientes de los multímetros, sensores, comparadores y calibradores. Una vez que se tienen los datos comunicados con la herramienta, estos requieren ser procesados de manera que se pueda observar todas las mediciones obtenidas con resultados gráficos inmediatos, histogramas, entre otros. La herramienta que se desea utilizar es LabVIEW, gracias a cómo se adecúa con los intereses y funciones que se desean diseñar.

Por último, la herramienta computacional deberá ser capaz de enviar todos estos datos a una base de datos ubicada en el servidor de la empresa, en donde se deben utilizar diferentes métodos de comunicación con la base de datos.

El enfoque tecnológico del proyecto a realizar se basa en la capacidad de adquirir la información de variables físicas y eléctricas en un mismo sistema compacto de adquisición. En donde toda la información recibida, podrá ser visualizada y analizada por diferentes procesos estadísticos que se mostrarán en el computador. Además, la información obtenida será almacenada en una base de datos perteneciente al servidor de la empresa.

Los usuarios finales del sistema de adquisición remota y almacenamiento de datos de equipos de medición serán los operadores de la fábrica que realizan las diferentes mediciones, la labor de las mediciones se facilitará y se reducirán los tiempos de adquisición, visualización y análisis. También los ingenieros de producción y manufactura se verán beneficiados gracias a los diferentes métodos estadísticos que la herramienta computacional elaborará automáticamente.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Agilizar el proceso de control de calidad de los componentes electrónicos manufacturados. De forma que se disminuyan los tiempos de medición de las dimensiones de los componentes. Además, la visualización gráfica de los resultados obtenidos permite al personal encargado tomar decisiones rápidamente sin necesidad de tiempos de captura y análisis de datos lentos.

2.2 Objetivo General

Desarrollar un sistema de adquisición remota y almacenamiento de datos de equipos de medición para la monitorización de variables físicas y eléctricas en el proceso productivo.

2.3 Objetivos Específicos

1. Implementar una interfaz de comunicación entre el calibrador Mitutoyo 500-170-30, el indicador de altura Mitutoyo IDS 543-692, el multímetro Keithley modelo 2700, un sensor de detección láser de barrera Keyence y un computador remoto.
2. Diseñar una interfaz que permita convertir la señal de salida SPC a una señal de salida estándar.
3. Diseñar una interfaz de visualización y análisis de datos utilizando métodos estadísticos en una herramienta computacional.
4. Desarrollar un sistema de almacenamiento de la información obtenida en una base de datos del servidor de la empresa.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Descripción de los instrumentos de medición

Es importante conocer a fondo los instrumentos de medición utilizados en el proyecto, por eso se debe tomar en cuenta diversos aspectos que permitan y facilitan un adecuado uso de estos en la práctica. Es necesario tomar en cuenta las medidas de seguridad que brindan fuentes bibliográficas como los manuales de usuario. Además, se debe considerar las principales características y funciones que proveen estos instrumentos de para lograr sacar un máximo provecho de estos. Por lo cual, se mencionarán diversos datos importantes que fueron necesarios para el uso de estos dispositivos.

3.1.1 Multímetro Keithley modelo 2700

Es un multímetro y sistema de adquisición de datos de gran rendimiento, y muy completo gracias a que combina la funcionalidad y la gran cantidad de canales de un “switch mainframe”, con la precisión de un multímetro digital de 22 bits. Éste puede realizar mediciones de tensión y corriente, resistencia (Two-Wire y Four-Wire), temperatura (“termocupla”, termistor y detector de temperatura resistiva), frecuencia y pruebas de continuidad. Además, se pueden utilizar hasta 80 canales diferenciales de medición gracias a las dos ranuras que ofrece para conectar dichos [3]. En la **Figura 3.1** se muestra una imagen del multímetro Keithley 2700 utilizado.



Figura 3.1 Imagen del multímetro Keithley 2700

Este multímetro tiene opción de exportar los datos medidos mediante diferentes interfaces de comunicación, entre ellas GPIB (IEEE-488) y RS-232. Gracias al lenguaje de programación

SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) es posible realizar un control del multímetro, poder configurarlo y medir remotamente desde un computador remoto.

3.1.2 SourceMeter Keithley modelo 2400

Durante el desarrollo del proyecto también se utilizó el SourceMeter de la marca Keithley modelo 2400, este instrumento de medición tiene una característica que lo difiere de los multímetros normales. Este SourceMeter combina una fuente de alimentación DC precisa, de bajo ruido y muy estable con un multímetro de bajo ruido y de gran impedancia [4]. En la **Figura 3.2** se presenta la parte frontal del multímetro, en donde se puede ver cómo configurar la Fuente de alimentación que éste posee.



Figura 3.2 Imagen del SourceMeter Keithley 2400

En la **Tabla 3.1** se puede observar los diferentes rangos que el SourceMeter puede brindar al usuario, en donde se tienen los límites mínimos y máximos de alimentación y medición de variables eléctricas.

Tabla 3.1 Rangos de fuente alimentación y de medición [4]

Rangos de fuente y medición	Mínimo	Máximo
Fuente de tensión	5 μ V	210V
Medición de tensión	1 μ V	211V
Fuente de corriente	50pA	1.05A
Medición de corriente	10pA	1.055A
Medición de resistencia	100 $\mu\Omega$	211M Ω
Fuente de energía	-	22W

Este equipo de medición también tiene la opción de utilizar los Comandos Estándares para Instrumentos Programables (SCPI) para comunicarse con computador remoto mediante las interfaces IEEE-488 y RS-232C.

3.1.3 Indicador de altura Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic

Es un instrumento que permite medir la altura de diferentes piezas, las diferencias de altura entre planos ubicados en diferentes niveles y el desnivel que puede existir en un mismo plano.

El indicador de altura Mitutoyo 543-692, el cual se observa en la **Figura 3.3**, dispone de un display electrónico que permite mostrar la medición realizada en el mismo momento que se realiza. La visualización del dato medido se puede mostrar en dos unidades de longitud como lo son milímetros o pulgadas. Además, es posible establecer el origen de referencia de comparación de las mediciones.

Este dispositivo de medición tiene la opción de exportar la información medida mediante un dato serial Digimatic o SPC, para ello es necesario utilizar un cable el cual es conectado en la parte superior del instrumento.



Figura 3.3 Indicador de altura Mitutoyo 543-692

Las especificaciones de medición pueden ser observadas en la **Tabla 3.2**, en esta se presenta la resolución del dispositivo, el rango, la precisión y la fuerza de medición del indicador de altura Mitutoyo 543-692.

Tabla 3.2 Especificaciones del Indicador de altura Mitutoyo 543-692 [5]

Especificaciones	Valor
Resolución	0.00005 in / 0.001 mm
Rango	0.5 in / 12.7 mm
Precisión	0.00012 in
Fuerza de medición	2N

La resolución corresponde a la medición mínima que muestra este instrumento de medición, el rango es la mayor diferencia de altura que puede ser medida, la precisión es el error máximo que puede existir entre el valor verdadero y el valor mostrado y la fuerza de medición es la fuerza realizada por el instrumento para que la aguja del indicador se encuentre bien colocada en la superficie de medición.

3.1.4 Calibrador Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic

Este instrumento de medición es un calibrador Vernier, este dispositivo se utiliza para medir exteriores, interiores y profundidades dentro de su capacidad de lectura y la legibilidad del mismo [6]. Usualmente las mediciones realizadas son diámetros, largos y anchos de diferentes piezas.

El calibrador Mitutoyo 500-170-30, el cual se puede ver en la **Figura 3.4**, también dispone de un display electrónico que muestra las mediciones automáticamente cuando son tomadas. Este dispositivo cuenta con un sensor de inducción electromagnética, el cual permite mejorar la resistencia al ambiente de medición, de forma que reduce las falsas mediciones causadas por suciedad, aceite o agua [7].

Al igual que el indicador de altura de la misma marca, es posible definir el cero de comparación, medir en las unidades de longitud pulgadas y milímetros y exportar datos mediante datos Digimatic. En la **Tabla 3.3**, se exponen las especificaciones necesarias a conocer a la hora de utilizar este instrumento para realizar diferentes mediciones.

Tabla 3.3 Especificaciones del calibrado Mitutoyo 543-692 [7]

Especificaciones	Valor
Resolución	0.0005 in / 0.01 mm
Rango	4 in / 100 mm
Error	± 0.0010 in / ± 0.02 mm
Método de detección	Sensor de inducción electromagnética



Figura 3.4 Calibrador Mitutoyo 500-170-30 [7]

3.1.5 Sensor de detección láser de barrera Keyence Serie IB

El sensor de detección láser de barrera cumple la función de medir la longitud o el porcentaje en el que un haz de luz pueda ser interrumpido. Este sistema de detección se encuentra conformado por dos unidades principales llamadas amplificador y cabezales, las cuales son necesarias para realizar las mediciones. Gracias a la facilidad que brinda este sistema de detección es posible utilizarse como sistema de medición, en donde se colocan piezas de diferentes tamaños y de esta manera poder dimensionar cada una de ellas.

El sensor de detección láser de barrera utilizado en el proyecto pertenece a la serie IB de la marca Keyence. Esta serie proporciona diferentes tipos de cabezales que ofrecen diferentes rangos de medición, en la **Tabla 3.4** se presentan los diferentes de cabezales con su respectivo rango de medición. El rango de medición es la máxima longitud que el sensor puede medir mediante la obstrucción del haz de luz.

Tabla 3.4 Diferentes tipos de cabezales del sensor de detección láser de barrera y sus respectivos rangos de medición

Cabezal	Rango de medición
IB-01	2.5 mm
IB-05	5 mm
IB-10	10 mm
IB-30	30 mm

El encargado de alimentar y tomar la medición de la obstrucción del láser que se da entre los cabezales es la unidad de amplificador. Esta además se encarga de visualizar diferentes valores de la medición tomada.

El amplificador permite mostrar diferentes valores que me caracterizan las mediciones tomadas por este sensor. Además, el amplificador es el encargado de realizar todas las configuraciones del sistema de medición, desde el modo de medición, modo de luz recibida/bloqueada, modo de salida, escala de salida analógica, visualización de dígito y muchas opciones más.

Especificaciones de los cabezales

A continuación, se explicarán diferentes características y especificaciones de los cabezales IB-10 utilizados, debido a que es importante tomar las precauciones necesarias para el uso de estos. También conocer el funcionamiento, características físicas y eléctricas, permite un máximo aprovechamiento de estas unidades. Los cabezales IB-10 se exponen en la **Figura 3.5**.



Figura 3.5 Cabezales Keyence IB-10 del sensor de detección láser de barrera

La longitud de onda del haz de luz que se utiliza corresponde a 660nm, esta longitud de onda se encuentra en el espectro visible del espectro electromagnético tal y como se analiza en la **Figura 3.6**.

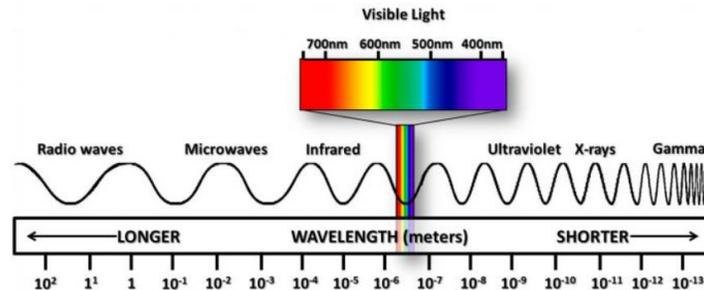


Figura 3.6 Espectro electromagnético [8]

La organización mundial IEC (International Electrotechnician Commission) es la encargada de preparar y publicar estándares internacionales de tecnologías eléctricas y electrónicas. Ésta misma publicó un documento llamado IEC 60825-1 el cual es el estándar principal que establece la seguridad de productos láser. El haz de luz utilizado puede ser clasificado en un producto láser de clase 1 según la IEC, estos son conocidos por ser seguros en todas las condiciones bajo uso normal [9].

Dentro de las principales características, se puede mencionar que la potencia de salida corresponde a $170\mu\text{W}$, el rango de medición es 10mm, la mínima medición que se puede realizar es 0.1mm o 0.0004 pulgadas y la distancia que se deben conectar un cabezal del otro son 300mm [10].

Especificaciones del amplificador

La función que cumple el amplificador en este sistema es muy importante, ya que me permite realizar bastantes funciones en el sistema. Dentro de sus funciones se encuentran alimentar los cabezales, brindar un sistema de visualización de indicadores bastante completa y la opción de una salida analógica que represente el valor medido. Además, permite establecer una serie de configuraciones al sistema, lo que hace que se puedan realizar acciones como el ajuste del eje del haz de luz, configuración del valor de tolerancia, modo de medición y la

escala de la salida analógica. El amplificador utilizado es el Keyence IB-1500, el cual se brinda en la **Figura 3.7**.



Figura 3.7 Amplificador Keyence IB-1500 del sensor de detección láser de barrera

La alimentación del amplificador Keyence IB-1500, puede ser de 10V a 30V, esta alimentación debe estar en corriente Directa. La **Figura 3.8** corresponde a la distribución de los cables de alimentación y conexiones de entradas y salidas que tiene este amplificador. El consumo de potencia máximo de un amplificador es 2100mW para cuando se le alimenta con 30V y 70mA máximo [11].

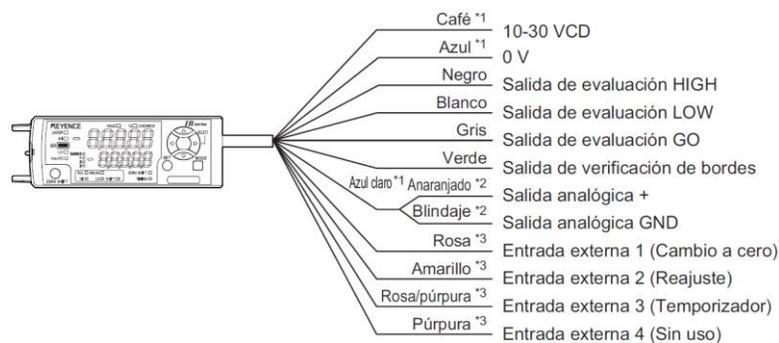


Figura 3.8 Distribución de cables de alimentación, entradas y salidas del amplificador Keyence IB-1500 [12]

Como se mencionó anteriormente, este dispositivo dispone de una salida analógica, la cual representa al valor medido por este instrumento, tiene 4 posibles configuraciones de salida analógica en corriente directa (DC), ellas son las siguientes:

- Tensión eléctrica de -5V a 5V con una impedancia de salida de 100Ω.
- Tensión eléctrica de 0V a 5V con una impedancia de salida de 100Ω.

- Tensión eléctrica de 1V a 5V con una impedancia de salida de 100Ω.
- Corriente eléctrica de 4mA a 20mA en donde la máxima resistencia de carga puede ser 350Ω.

También es posible realizar una evaluación de la medición y compararla con valores previamente establecidos en este instrumento. Esta evaluación permite hacer uso de tres indicadores de evaluación llamados “HIGH”, “GO” y “LOW”, estos se pueden visualizar en la **Figura 3.9**. Cuando el valor se encuentra por arriba del límite superior el led HI se encenderá, mientras que cuando la medición se encuentra por abajo del límite inferior el led LO se encenderá y en el caso que se encuentre dentro de los límites establecido el GO se encenderá [12].

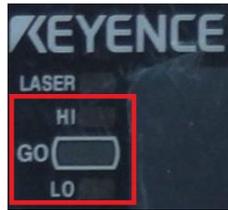


Figura 3.9 Indicadores de evaluación del Keyence IB-1500

El amplificador Keyence IB-1500 tiene la opción de conectar diferentes amplificadores de expansión, las cuales no tienen salida analógica, específicamente el IB-1550, hasta una cantidad de 3 unidades de expansión mediante el cable de expansión OP-35361. La unidad principal alimentará las unidades de expansión [11].

Mediante el mismo conector de expansión, es posible enviar y recibir datos al conectar una unidad de comunicación RS-232C, esto sin afectar la máxima cantidad de 3 amplificadores de expansión. Esta unidad de comunicación, llamada Keyence DL-RS1A, permitirá la comunicación bidireccional entre un dispositivo externo como lo es un computador y el sensor de detección de barrera láser.

3.2 Métodos de medición de resistencias en multímetros

Normalmente los multímetros al realizar mediciones de resistencia utilizan el método de corriente constante, el cual alimenta a la resistencia bajo prueba con una corriente constante (I_{source}) y se mide la tensión eléctrica (V_R) que proporciona la resistencia [13]. Es posible realizar dicho procedimiento gracias a la Ley de Ohm, la cual permite conocer el valor de la resistencia puesta a prueba, tal y como se puede observar en la ecuación (3.1)

$$R = \frac{V_R}{I_{source}} \quad (3.1)$$

Es posible conocer la corriente de prueba que proporciona el multímetro para diferentes rangos de medición gracias a la información que proveen los respectivos manuales de usuario, en la **Tabla 3.5** se puede observar los rangos de medición y sus respectivas corrientes de prueba que proporciona el SourceMeter Keithley modelo 2400.

Tabla 3.5 Valores típicos de corrientes de prueba para diferentes rangos de medición del SourceMeter Keithley modelo 2400 [4]

Rango de medición	Corriente de prueba predeterminada
20Ω	100mA
200Ω	10mA
2kΩ	1mA
20kΩ	100μA
200kΩ	10μA
2MΩ	1μA
20MΩ	1μA
200MΩ	100nA

La forma popular en la que es posible realizar la medición de la tensión eléctrica de la resistencia bajo prueba normalmente se le conoce como “Two-Wire Resistance Measurements (Ω)”, como se mencionó anteriormente se mide la tensión eléctrica que

consume la resistencia. En la **Figura 3.10** se puede analizar el diagrama eléctrico el cual representa el modo de detección Two-Wire.

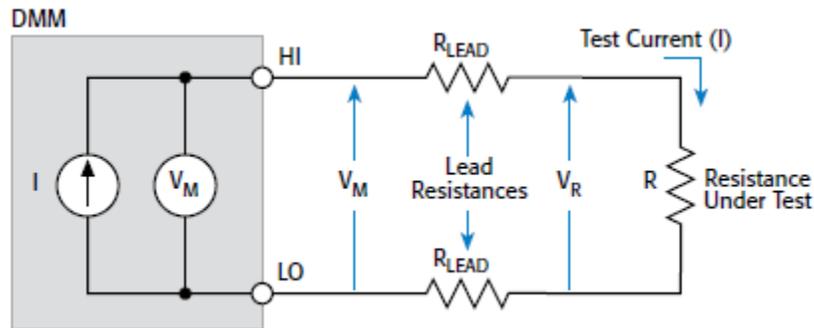


Figura 3.10 Diagrama eléctrico del modo de detección Two-Wire

El mayor inconveniente de usar este modo de detección se presenta en mediciones de baja resistividad, ya que la resistencia del cable utilizado provoca que esta se sume a la resistencia bajo a prueba. Utilizando la Ley de Tensión de Kirchoff y la Ley de Ohm, se puede demostrar el valor exacto de Resistencia que es medido por el multímetro. El valor medido por el método Two-Wire se muestra en la ecuación (3.5).

$$V_m = V_{R_{LEAD}} + V_R + V_{R_{LEAD}} \quad (3.2)$$

$$V_m = V_R + 2 V_{R_{LEAD}} \quad (3.3)$$

$$V_m = IR + 2 I(R_{LEAD}) \quad (3.4)$$

$$\frac{V_m}{I} = R + 2 (R_{LEAD}) \quad (3.5)$$

Por tanto, para tener mediciones realmente precisas no se recomienda utilizar el método Two-Wire para la medición de resistencias menores a $1k\Omega$, el método recomendado a utilizar para este rango de resistencias es el de detección Four-Wire ($\Omega 4$) o también conocido como detección Kelvin permite cancelar el efecto de la resistencia de los cables [3].

En la **Figura 3.11**, se puede visualizar el diagrama eléctrico del método de medición Four-Wire, en donde se demostrará matemáticamente la forma en la que este logra cancelar el efecto resistivo que provoca los cables de conexión.

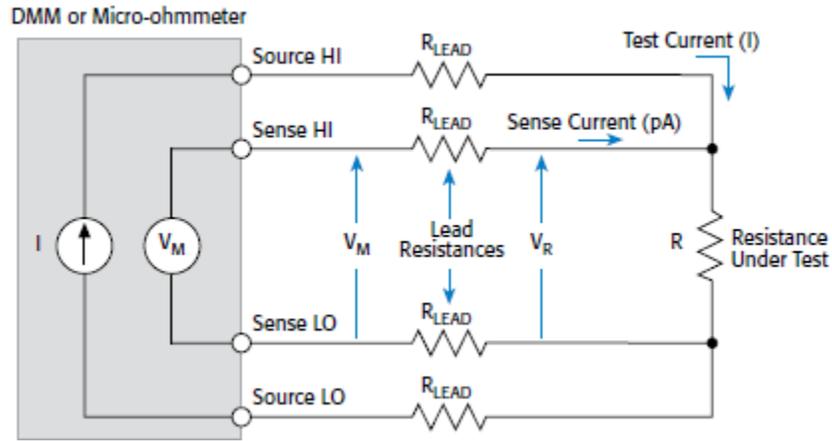


Figura 3.11 Diagrama eléctrico del modo de detección Four-Wire

$$V_{Rlead} = I_{sense} * R_{lead} \quad (3.6)$$

$$V_R = IR \quad (3.7)$$

$$V_m = V_{Rlead} + V_R + V_{Rlead} \quad (3.8)$$

$$V_m = IR + 2 V_{Rlead} \quad (3.9)$$

$$V_m = IR + 2 (I_{sense} * R_{Rlead}) \quad (3.10)$$

La corriente de detección (I_{sense}) se encuentra en el orden del pico-amperio, entonces al compararse con la corriente que proporciona la Fuente independiente del multímetro, la corriente de detección se puede despreciar [13].

$$I_{sense} \approx 0 \quad (3.11)$$

Una vez que se realiza dicha aproximación es posible simplificar la ecuación (3.10), de tal manera que se tiene lo siguiente:

$$V_m = IR + 2 (I_{sense} R_{Rlead}) \quad (3.12)$$

$$V_m = IR \quad (3.13)$$

Una vez obtenido dicho resultado, se pueden igualar las ecuaciones (3.7) y (3.13), de la siguiente manera y obtener el valor de la Resistencia puesta a prueba mediante la ecuación (3.15):

$$V_m = V_R = I R \quad (3.14)$$

$$\frac{V_m}{I} = \frac{V_R}{I} = R \quad (3.15)$$

Gracias a este procedimiento es posible conocer de una forma más precisa el valor de la resistencia utilizada, se explica a fondo el método Four-Wire, ya que es el método de medición utilizado en todas las pruebas y resultados obtenidos durante el proyecto.

3.3 Comunicación serial

La comunicación serial se permite enviar y recibir bytes de información, un bit a la vez. Para que la comunicación sea posible se necesita 3 líneas de transmisión:

- Tierra (GND)
- Transmitir (T_x)
- Recibir (R_x)

Debido a que la transmisión de datos es asíncrona, o sea los relojes del emisor y receptor no están sincronizados, es posible enviar datos en la línea Tx, mientras que en la otra línea Rx se recibe, a este tipo de comunicación se le puede llamar Full-Duplex [14]. Si se desea asegurar una sincronización para tener una comunicación óptima, se pueden utilizar más líneas de comunicación y de esta manera realizar un Handshaking entre los dispositivos que se desea establecer una comunicación.

3.3.1 Parámetros que permiten la comunicación serial

Existen diferentes parámetros que caracterizan la forma en el que un dato serial es enviado o recibido, para que exista una comunicación entre dos puertos seriales, dichos parámetros deben coincidir, entre ellos están la velocidad de transmisión, bits de datos, bit de paridad y bit de parada. A continuación, se realizará una breve explicación de cada parámetro de transmisión.

Velocidad de transmisión (baud rate)

Este parámetro indica la cantidad de bits por segundo que se transfieren y la unidad de medición utilizada es el baudio. El Baud Rate por su traducción en inglés, es una medida que permite conocer que tan rápido se envía o recibe un dato [15].

Bits de datos

Es importante conocer la cantidad de bits que serán transferidos, usualmente se utiliza un byte completo (8 bits), pero no es raro que se utilicen en ocasiones 7 bits o inclusive 5 bits. Esta cantidad de bits depende del dato que se esté enviando

Bit de paridad

El bit de paridad se utiliza para verificar que el dato se ha enviado correctamente. Este bit se determina a partir de la cantidad de bits que sean 1 (HIGH), luego se debe evaluar si es una cantidad par o impar. Al enviar un dato, es necesario utilizar una detección de paridad para brindar el bit de parada indicado dependiendo del dato a enviar, esta explicación se resume en la **Tabla 3.6**. Una vez que se estableció la paridad a utilizar, en la recepción se esperará el bit de parada correspondiente a la paridad utilizada.

Tabla 3.6 Método de detección de paridad

Dato a enviar	Paridad Par	Paridad Impar
Cantidad de 1 par	Bit de parada: 0	Bit de parada: 1
Cantidad de 1 impar	Bit de parada: 1	Bit de parada: 0

Bit de inicio

Es el bit encargado de indicar que se enviará un dato, el bit de inicio usualmente se encuentra en bajo (cero lógico).

Bits de parada

Este bit es utilizado para indicar el fin de la comunicación de un paquete completo de datos, dentro los valores normales de bits de parada se encuentran 1, 1.5, o 2 bits [15].

3.3.2 Interfaz RS-232

Es un conector serial que permite realizar conexiones punto a punto entre puertos seriales de computadoras o diferentes dispositivos.

Cuando se desea enviar un dato mediante una interfaz de comunicación RS-232, los niveles lógicos de la transmisión digital utilizan valores de rangos específicos para un uno lógico o un cero lógico. El cero lógico se representa entre 3V hasta 15V de tensión eléctrica, mientras que un uno lógico se representa mediante niveles de tensión negativa, específicamente -3V a -15V [16]. El conector más utilizado para implementar la interfaz RS-232 es el DB-9, aunque también en ocasiones se utiliza el conector DB-25.

El conector DB-9, tal y como se muestra en la **Figura 3.12**, brinda 9 pines que pueden utilizarse para diversas funciones, dentro de ellas se encuentran las 3 línea de transmisión primordiales (Tx, Rx y Gnd) y las señales de Handshaking. La señal de transmisión (Tx), la señal de recepción (Rx) y la tierra (Gnd) corresponden a los pines 3,2 y 5 respectivamente.



Figura 3.12 Conector DB9 utilizado para la interfaz RS-232

3.3.3 Handshaking

Es el término utilizado que se le da cuando un dispositivo establece una conexión con otro mediante diferentes señales de control, en donde mediante estas señales es posible iniciar el envío o recepción de datos. Cuando se utiliza el Handshaking con la interfaz RS-232 permite realizar un envío de datos óptimo, entonces el dispositivo no enviará un dato hasta que el

receptor se encuentre listo para recibirlo. En la **Tabla 3.7**, se pueden observar las señales de Handshaking y su número de pin respectivo al conector DB-9.

Tabla 3.7 Señales de Handshaking en un conector DB-9

Número de pin	Nombre del pin	Función
1	DCD	Detección de portadora de datos
4	DTR	Terminal de datos preparada
6	DSR	Dispositivo preparado
7	RTS	Solicitud de envío
8	CTS	Preparado para transmitir

3.4 GPIB (General purpose interface bus)

Es el bus de datos de instrumentación IEEE-488 con hardware y estándares de programación adoptados por la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) en 1975, de esta manera el manual de usuario del multímetro Keithley 2700 define el término GPIB [3].

El multímetro y el SourceMeter, ambos de la marca Keithley, cumplen con los estándares de la IEEE-488.1 e IEEE-488.2, estos estándares fueron definidos en 1987 y 1992 respectivamente.

Los estándares que se acaban de mencionar definen una sintaxis para enviar datos hacia los instrumentos y recibir datos desde los instrumentos de medición, esta sintaxis define cómo el instrumento interpreta el dato y un grupo de comandos específicos que permiten realizar las acciones de envío y recepción. Este grupo de comandos se convierten en una norma para controlar cada aspecto programable de un instrumento, a este conjunto de comandos se les conoce como SCPI 1996.0 (Standard Commands for Programmable Instruments) [3].

El bus de IEEE-488 es un sistema de comunicación entre 2 o más dispositivos electrónicos, en donde cada uno de ellos realiza una función específica. Cada dispositivo electrónico puede tomar el lugar de controlador, hablador u oyente.

Usualmente el controlador siempre es un computador, debido que con él es posible realizar una supervisión del intercambio de comunicación entre todos los dispositivos conectados. Es el controlador el encargado de determinar qué dispositivos tomarán el papel de habladores (Talker) y oyentes (listeners). Además, una única dirección es asignada a cada instrumento de medición, las direcciones pueden ser establecidas desde el valor 0 al 30.

Un dispositivo asignado como talker, será un dispositivo con salida de información, mientras que un listener estará recibiendo información proveniente del talker. Es importante tomar en cuenta que solo un instrumento puede hablar a la vez y éste en ese momento es considerado como active talker [3]. Cada listener es referenciado a un active talker, a los dispositivos que no necesitan escuchar, se le manda un comando que los instruye a no escuchar.

3.4.1 Descripción del bus GPIB

El bus IEEE-488 está limitado a 15 dispositivos incluyendo el dispositivo controlador, para llegar a cada uno de ellos son necesarias todas las líneas de las señales, las cuales se dividen en tres categorías: líneas de datos, líneas de administración y las líneas de Handshake. El bus de datos contiene 8 líneas, las cuales transfieren un byte a la vez, estas se encargan de enviar y recibir la información de los datos deseados. El bus de administración trabaja con 5 líneas que se encargan de ayudar a asegurar un adecuado control y manejo de la interfaz GPIB. Mientras que el bus de Handshake con sus 3 líneas se encarga de asegurar una transmisión de datos confiable sin importar la velocidad de transferencia [4]. En la **Figura 3.13** se exhibe la configuración del bus IEEE-488.

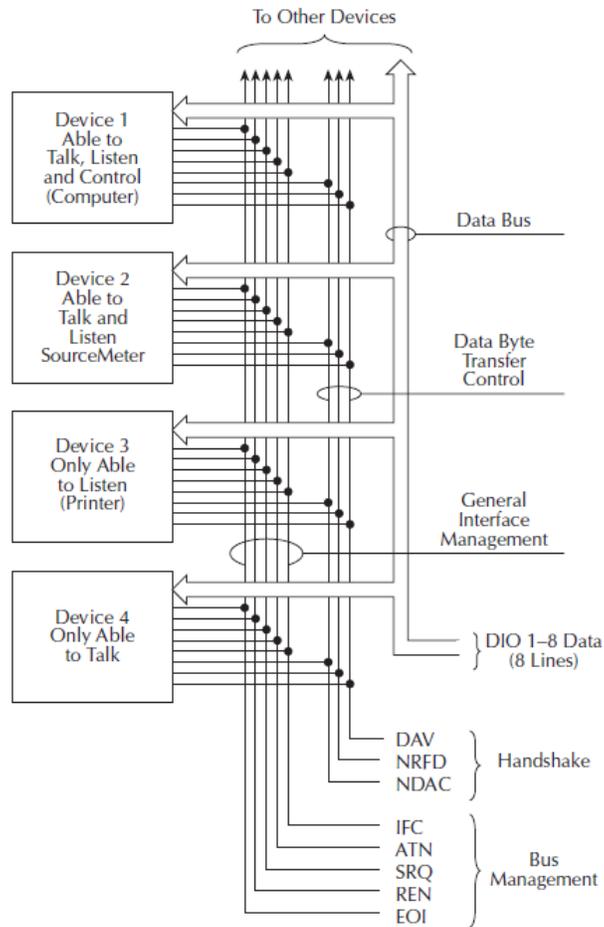


Figura 3.13 Configuración del bus IEEE-488

3.5 Salida de datos Digimatic

Los instrumentos de medición utilizados de la marca Mitutoyo proporcionan una salida de datos digital que brinda información acerca de las mediciones que se pueden tomar con dichos instrumentos. Esta salida de datos usualmente es utilizada para la visualización de la información en dispositivos externos y para el control de procesos estadísticos, por ello se explicará detalladamente la estructura, especificaciones de los conectores utilizados, características eléctricas y el formato de una salida de datos Digimatic.

Una salida de datos Digimatic, también conocida como salida de datos SPC, se envía digitalmente y mediante comunicación serial, consecuentemente el instrumento externo que

desea percibir la información debe entender dicho formato, por lo tanto, usualmente antes de los instrumentos externos que perciben los datos provenientes de un instrumento de medición existe una interfaz que logra comunicar ambos equipos y sirve de traductor o de unidad de conversión. La **Figura 3.14** corresponde al esquema general de una conexión entre un dispositivo de medición y un dispositivo externo.

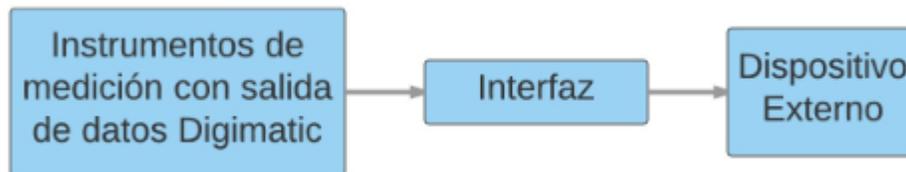


Figura 3.14 Esquema de conexión de un instrumento Digimatic con un dispositivo externo

La interfaz de comunicación será la encargada de convertir la salida de datos SPC a un protocolo o un formato de envío de datos estándar, el cual se define dependiendo hacia qué dispositivo externo se requiere enviar la información. El dispositivo externo más utilizado para el envío de los datos es el computador, gracias a la facilidad de tener múltiples opciones de recepción de datos como lo son USB, RS-232C, PS2 y GPIB.

En la industria, la empresa Mitutoyo ofrece diferentes interfaces de para sus equipos de medición más conocidos, tales como el calibrador, el micrómetro y el indicador de altura. Dentro de las diferentes interfaces que se comercializan se encuentran el “USB Input Tool” el cual permite enviar la medición tomada hacia una computadora tan solo con pulsar un botón. Al conectar la salida USB de la interfaz a una computadora, el “USB Input Tool” es reconocido automáticamente como un teclado HID (Human Interface Device), de tal forma que al presionar el botón el dato es escrito donde se encuentre el puntero y al finalizar simula la acción de presionar el botón ENTER del teclado [17].

A esta herramienta se le pueden dar muchos usos y permite exportar datos a programas como los son Word, Excel, Notepad y otros editores numéricos y de texto. También se encuentran en el mercado las opciones de convertidores con salida PS/2 y con interfaz de comunicación RS-232C. La **Figura 3.15** muestra el USB Input Tool comentado anteriormente.



Figura 3.15 Interfaz comercial que envía datos Digimatic mediante USB [18].

3.5.1 Especificación de los cables de conexión

Es necesario utilizar un cable para comunicar el instrumento de medición Mitutoyo con la interfaz utilizada, para ello se utilizó el Mitutoyo 905338. La **Figura 3.16** presenta el conector de lado de la interfaz a utilizar, el cual se le asigna una letra a cada pin para mostrar la función que cumple cada pin y en la **Tabla 3.8** se tiene su distribución de pines que serán los encargados de comunicarse con una interfaz como lo puede ser el USB Input Tool. Acorde a los instrumentos Mitutoyo que se están utilizando, solo se mostrará los pines utilizados.



Figura 3.16 Conector del lado de la interfaz del cable Mitutoyo 905338

Tabla 3.8 Distribución de pines utilizados para el conector del lado de la interfaz

Pin	Nombre	Función	Dirección de envío Instrumento --- Interfaz
1	GND	Señal de tierra	---
2	DATA	Dato de salida	→
3	CLOCK	Señal de reloj	→
5	REQUEST	Solicitud de dato	←

3.5.2 Especificaciones eléctricas

Especificación de entradas y salidas el dato SPC

De acuerdo con la **Tabla 3.8**, la señal de reloj y la señal de datos funcionan como salidas que provienen del instrumento de medición. Estas señales necesitan un respectivo circuito electrónico en el módulo físico de conversión para poder ser leídas, el circuito se puede observar en la **Figura 3.17**, éste trata de una configuración de resistencias Pull-Up.

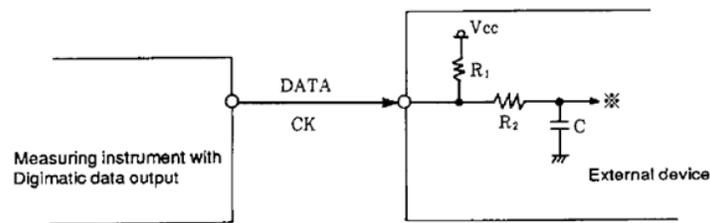


Figura 3.17 Circuito electrónico para la entrada de las señales de datos y reloj [19]

La configuración de resistencia Pull-up es muy utilizada en las entradas digitales de los micro controladores, en donde si no se tiene nada conectado al pin del micro controlador y se desea realizar una lectura del pin digital correspondiente, este leerá un uno lógico (V_{cc}). Esta configuración me permite evitar estados desconocidos y así me asegura tener un estado en alto a pesar de que se utilice poca corriente [20]. La **Figura 3.18**, permite ver un ejemplo sencillo de la lectura de un pin digital mediante un micro controlador en general.

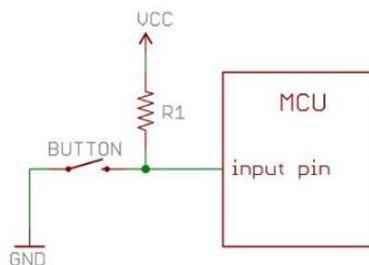


Figura 3.18 Diagrama eléctrico de la configuración resistencia Pull-up para un micro controlador [20]

La señal de solicitud de dato que es enviada desde un dispositivo externo debe ser hecha con un transistor NPN, en configuración de colector abierto. La **Figura 3.19** expone el diagrama eléctrico correspondiente a la señal de solicitud de dato.

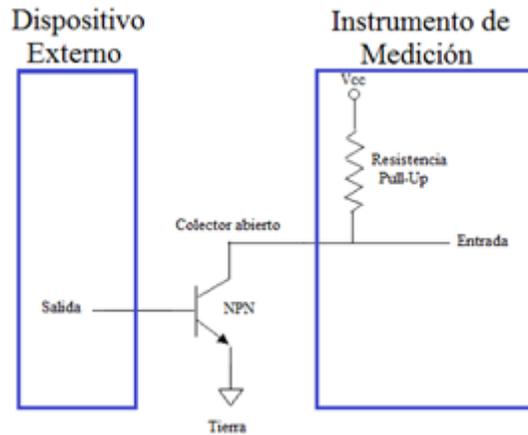


Figura 3.19 Diagrama del circuito electrónico para la salida de la señal de solicitud de datos

La entrada de solicitud de datos ubicada en el instrumento tiene una resistencia Pull-up conectada a la batería botón de óxido de plata de 1.55V (en el caso de los instrumentos Mitutoyo). Esta señal de entrada tiene una lógica negativa, esto significa que el dato será enviado cuando la tensión en colector sea cero.

Por lo cual, cuando se desea enviar la solicitud del dato, es necesario enviar un estado en alto (HIGH) en la base del transistor BJT, de esta manera existe una corriente en el colector y la tensión en el colector se hace cero. La explicación de la función que cumple el transistor BJT configurado como colector abierto se resume en la **Tabla 3.9**.

Tabla 3.9 Salidas vs Entrada de la configuración del transistor BJT utilizado

Entrada en la base (estado lógico)	Salida V_{CE} (V)	Salida $I_{colector}$ (A)	Función
LOW	V_{cc}	0	-
HIGH	0	V_{cc}/R	Envía Dato

Una vez que se han realizado todas las conexiones adecuadamente ya es posible realizar una comunicación entre el instrumento de medición con salida Digimatic y un dispositivo externo. En la **Figura 3.20** se representa el diagrama completo de conexiones.

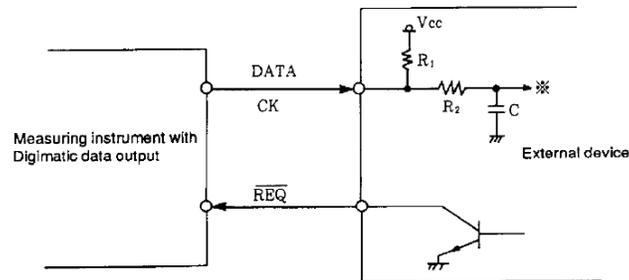


Figura 3.20 Diagrama de conexiones de un sistema de envío de datos Digimatic [19]

3.5.3 Diagrama de tiempos

En la **Tabla 3.10** se observan los tiempos de duración del diagrama de temporización de la señal de datos, reloj y solicitud. Además, se caracteriza el tiempo que parece acotado en el diagrama, el cual se resume en la **Figura 3.21**.

Tabla 3.10 Tiempos de duración de diferentes partes de las señales necesarias para realizar el envío de un dato SPC

Tiempo	Caracterización	Min	Max	Unidad
t_1	Tiempo que tarda en llegar el primer bit de la señal de datos después de hacer la solicitud	0	2	s
t_2	Tiempo que tarda en aparecer el flanco negativo de la señal del reloj desde que aparece su señal de dato correspondiente	15		μ s
t_3	Tiempo en bajo de la señal de reloj	100		μ s
t_4	Tiempo que tarda en llegar el otro bit de datos después de que el bit correspondiente de reloj deja de ser cero	100		μ s

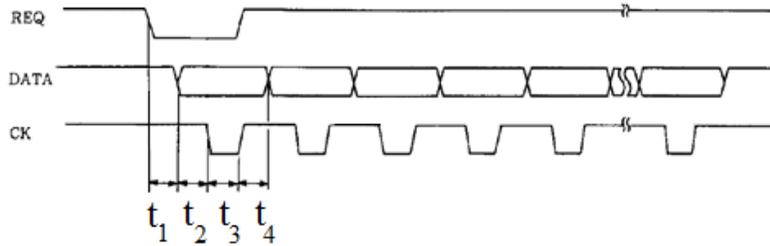


Figura 3.21 Diagrama de tiempos al enviar un dato Digimatic [19]

3.5.4 Características del envío de la señal de datos

En el momento que la señal Solicitud se activa, o sea un cero lógico por su lógica negativa, la señal de datos es enviada de forma serial desde el instrumento de medición con salida Digimatic hacia el dispositivo externo.

El dato de medición es comprimido en 13 dígitos, numerados del D_1 al D_{13} en donde cada uno tiene la extensión de un nibble, o sea 4 bits. El envío de cada respectivo nibble se transmite y recibe del bit menos significativo (LSB) al bit más significativo (MSB).

Un dato muy importante es que la lectura de cada bit de la señal de datos se debe dar cuando la señal de reloj se encuentre en LOW (cero lógico), tal y como se visualiza en la **Figura 3.22**.

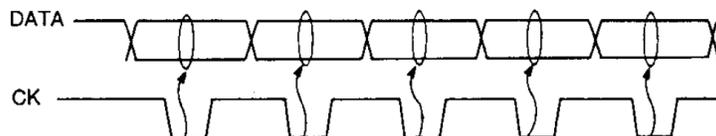


Figura 3.22 Lectura del cada bit cuando la señal de reloj se encuentre en LOW [19]

3.5.5 Formato de los datos

Como se mencionó anteriormente, la información que brindan los instrumentos de medición son salida Digimatic es comprimida 13 nibbles, los cuales suman en total unos 52 bits. Cada uno de ellos tiene una función específica, por ello en la **Tabla 3.11** se puede observar la codificación que se le da a cada dígito en específico.

Tabla 3.11 Distribución de los dígitos del formato de datos SPC

Dígito	Nombre del dígito
D ₁	Tipo de dato
D ₂ ,D ₃ ,D ₄	Número de entrada
D ₅	Signo
D ₆ ,D ₇ , D ₈ ,D ₉ , D ₁₀ ,D ₁₁	Valor medido
D ₁₂	Posición decimal
D ₁₃	Unidad y tolerancia

Debido a que se trabajó en el diseño de una interfaz que fuera capaz de decodificar cada dato de medición, se explicará detalladamente los diferentes dígitos que fueron decodificados a partir de las mediciones.

Tipo de entrada

Comprende el primer dígito de 4 bit, este dígito se encarga del tipo de dato que fue tomado en el instrumento de medición. Los instrumentos Mitutoyo que se utilizaron en la realización del proyecto solo ofrecen un solo tipo de salida de datos de medición, pero también es posible con otros equipos enviar el número de muestras, máximos y mínimos, promedios y desviación estándar. La **Tabla 3.12** se encarga de especificar todos los tipos de datos.

Tabla 3.12 Diferentes tipos de datos que pueden ser enviados a través de un instrumento con salida Digimatic

Número leído	Valor
0	Dato de entrada
1	Número de muestras
2	Dato máximo
3	Dato mínimo
4	Promedio
5	Desviación estándar
6	Máximo al tener presionado un botón
7	Mínimo al tener presionado un botón
8 to E	Indefinido
F	Datos normales

Número de entrada

Es posible enviar datos a ciertos instrumentos especializados de medición por ello, el formato SPC o Digimatic ofrece la opción enviar tres dígitos de 4 bits cada uno, los cuales corresponden al D_2 , D_3 y D_4 . Cuando no se está utilizando los datos de entrada al instrumento de medición, estos tres dígitos envían el valor hexadecimal de “FFF”.

Signo

El signo de la medición tomada por los diferentes instrumentos se puede representar mediante el nibble D_5 . Si la medición realizada es negativa el valor mostrado corresponde a un 8 hexadecimal (un 1000 en binario), mientras que si la medición tiene un valor positivo se obtiene un 0 hexadecimal (0000 en binario), dicha decodificación se muestra en la **Tabla 3.13**.

Tabla 3.13 Signo de una medición de un dato Digimatic

Valor leído	Signo
0	Positivo
8	Negativo

Valor medido

El envío de los datos numéricos, la medición que fue tomada y mostrada en el display del instrumento de medición es enviada en un formato BCD (Binary Code Decimal), mediante 6 dígitos que abarcan desde el D_6 hasta el D_{11} .

Este valor se envía del dígito más significativo (D_6) al menos significativo (D_{11}), pero sus respectivos bits son enviados del bit menos significativo (LSB) al bit más significativo (MSB), por ejemplo, si el valor medido en el instrumento corresponde a 1.2345 pulgadas, el valor es enviado como se muestra en la **Tabla 3.14**.

Tabla 3.14 Formato de envío de seis dígitos Digimatic para una medición de 1.2345 pulgadas

Dígito	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁
Valor BCD	0	1	2	3	4	5
Valor en binario	0000	0001	0010	0011	0100	0101
Envío de LSB a MSB	0000	1000	0100	1100	0010	1010
Dato enviado	0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0					

Posición Decimal

Es importante conocer en qué ubicación se presenta el punto decimal del valor medio. El dígito D₁₂ del formato de envío de datos Digimatic me permite conocer la posición del punto decimal. En la **Tabla 3.15** se tienen las diferentes opciones posibles para el punto decimal.

Tabla 3.15 Codificación de la posición del punto decimal de un dato Digimatic

Valor leído	Posición del punto decimal
0	D6 D7 D8 D9 D10 D11
1	D6 D7 D8 D9 D10 . D11
2	D6 D7 D8 D9 . D10 D11
3	D6 D7 D8 . D9 D10 D11
4	D6 D7 . D8 D9 D10 D11
5	D6 . D7 D8 D9 D10 D11

Unidad de medición y resultado de la comparación de tolerancia

El último dígito de un dato Digimatic tiene la función de mostrar las unidades del instrumento de medición y además tiene la opción de comparar si la medición realizada se encuentra dentro de los límites superior o inferior que pueden ser configurados en algunos instrumentos de medición o si el dato tomado se encuentra fuera de alguno de estos límites. En la **Tabla 3.16** se tiene la codificación de cada opción disponible al utilizar unidades de milímetros o pulgadas.

Tabla 3.16 Codificación de la unidad y tolerancia de un dato Digimatic

Valor leído	Unidad y tolerancia
0	mm
1	inch
2	mm (+NG)
3	mm (GO)
4	mm (-NG)
5	inch (+NG)
6	inch (GO)
7	inch (-NG)
8 to F	Sin unidad

Una vez que se conoce el formato de los datos de salida de los instrumentos de medición es posible realizar un ejemplo para demostrar cómo sería el envío una medición en específico, en la **Figura 3.23** se ejemplifican los 13 nibbles enviados en serie desde el dígito D₁ hasta el D₁₃. Además, es importante recordar que cada nibble también es enviado de forma serial de LSB a MSB.

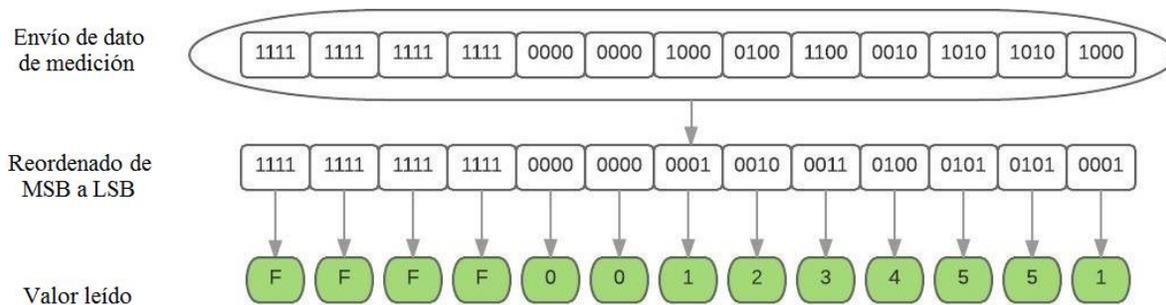


Figura 3.23 Envío de un dato Digimatic= 0.12345 pulgadas

3.6 LabVIEW

3.6.1 Descripción de LabVIEW

LabVIEW es un entorno de desarrollo de National Instruments, es un lenguaje de programación gráfico, el cual mediante un modelo de flujo de datos se puede realizar desarrollos de medición sofisticados, pruebas y el control de sistemas [[21].

Con LabVIEW es posible realizar una adquisición y análisis de datos, se pueden controlar diferentes tipos de instrumentos, desde multímetros, osciloscopios, hasta analizadores vectoriales de redes. También es posible realizar sistemas de pruebas automatizadas y de validación, su respectivo análisis matemático y estadístico [22]. La **Figura 3.24** corresponde al logo del programa utilizado.

Los programas y aplicaciones de LabVIEW son llamados Instrumentos Virtuales (VIs) ya que su apariencia y operación parecen imitar a los diferentes instrumentos físicos como lo son osciloscopios y multímetros [23].



Figura 3.24 Logo de la aplicación LabVIEW

3.6.2 Programación secuencial

Durante el desarrollo de las diferentes aplicaciones de LabVIEW es posible utilizar el modelo de programación secuencial para poder asegurar el orden de la ejecución de las tareas. Si se desea realizar una programación secuencial óptima, las máquinas de estados finitas (FSM) ofrecen muchas ventajas al diseño de una aplicación, además es posible el uso de registros de desplazamiento que permiten guardar y retener salidas de información en los estados deseado.

Para el diseño de una máquina de estado, es necesario utilizar los diagramas de estados, ya que son una excelente herramienta a la hora de diseñar un sistema secuencial. Las máquinas de estado que usualmente se implementan en LabVIEW son conocidas como Máquinas de Moore, donde las acciones de salida se realizan en los estados y no en las transiciones como lo hacen las Máquinas de Mealy.

3.7 Fundamentos Estadísticos

En el proceso industrial es necesario realizar métodos que garanticen el control de calidad, de esta manera es posible conocer si existen variaciones del producto esperado. A causa de que en la realización del proyecto es necesario utilizar diferentes métodos estadísticos para poder automatizar el proceso de adquisición de datos y análisis estadístico, se explicaran diferentes conceptos y fundamentos que se utilizaron para la realización de los diferentes análisis.

3.7.1 Causa común o probable de variación

Es una fuente de variación que afecta inevitablemente a todos los valores. Las causas comunes son las muchas causas de variación que existen dentro de un proceso que se encuentra en condiciones estables [24]. Por lo tanto, se puede considerar como fuentes de variaciones puramente aleatorias, no identificables e imposibles de evitar mientras se utilice el procedimiento actual [24].

3.7.2 Causa especial o asignable de variación

Es una fuente de variación intermitente o inestable. También se les pueden conocer como causas que actúan en determinados momentos produciendo gran variabilidad [25].

3.7.3 Control Estadístico del Procesos

El control estadístico del proceso es una poderosa herramienta para el logro de la estabilidad del proceso y la mejora de la capacidad a través de la reducción de la variabilidad [26]. Existen diferentes herramientas del control estadístico del proceso que permiten exhibir las diferentes variaciones en el proceso y abrir la investigación para conocer las posibles causas. Dentro de las principales herramientas se encuentran el histograma, los gráficos de control, estudios de capacidad, gráfico de Pareto, entre otros.

3.7.4 Gráficos de control

El propósito de una gráfica de control es determinar si el comportamiento de un proceso se mantiene en un nivel aceptable de calidad, aunque se espera que este nivel se vea afectado por causas comunes provocando una variabilidad natural [27]. Por ello es necesario la vigilancia del proceso para determinar si se necesitan realizar cambios. La **Figura 3.25** brinda un ejemplo del comportamiento usual de una gráfica de control.

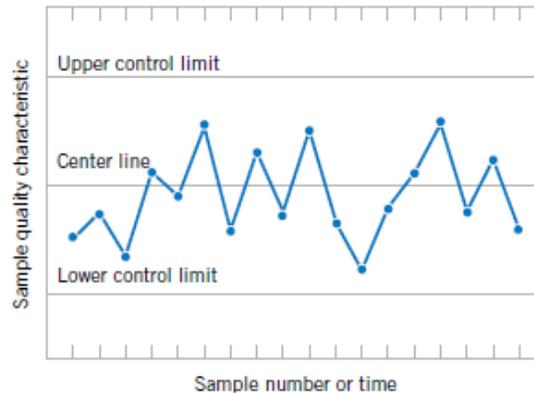


Figura 3.25 Comportamiento típico de una gráfica de control [26].

3.7.5 Gráficas de Promedio \bar{X} y Rango R

El control sobre la calidad media de las muestras se analiza con la gráfica de promedios, mientras que la variabilidad de los procesos se controla con la gráfica de rangos.

Gráfica \bar{X}

Si se supone que se conoce la cantidad de muestras por medición (n), la medida promedio de las muestras (μ) y la desviación estándar (σ) y se asume que la calidad característica tiene una distribución normal [26], se puede construir el gráfico \bar{X} mediante las siguientes ecuaciones:

$$UCL = \mu + 3\sigma\sqrt{n} \quad (3.16)$$

$$LCL = \mu - 3\sigma\sqrt{n} \quad (3.17)$$

$$CL = \mu \quad (3.18)$$

Cuando los parámetros μ y σ se desconocen, es necesario estimarlos de las muestras preliminares que fueron tomadas cuando el proceso estuvo bajo control sin anomalías. Se

recomienda utilizar al menos las últimas 20 a 25 muestras preliminares, la cantidad utilizada se le asignará la variable m [26]. Para encontrar el μ es necesario realizar el promedio general de todas las muestras realizadas, tal y como se muestra en la ecuación (3.19):

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i \quad (3.19)$$

También es posible calcular el nuevo valor de σ , para ello es necesario primero calcular el promedio del rango de las m muestras, mediante la ecuación (3.20):

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \quad (3.20)$$

Una vez conocido el promedio de los rangos de las m muestras, ya se puede conocer el valor de la desviación estándar σ , a partir de la ecuación (3.21):

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (3.21)$$

Una vez estimados los nuevos valores de μ y σ , es posible calcular los nuevos límites de control, en las siguientes ecuaciones se muestran las fórmulas para el límite de control central (CL), superior (UCL) e inferior (LCL) en las ecuaciones (3.22), (3.23) y (3.24) respectivamente.

$$CL = \bar{\bar{X}} \quad (3.22)$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (3.23)$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (3.24)$$

Gráfica R

En el momento que se desee construir la gráfica de rangos R, ya se conoce el valor de \bar{R} , obtenido en la ecuación (3.20), de tal manera que para calcular los límites de control central, superior e inferior se utilizan las ecuaciones (3.25), (3.26) y (3.27) respectivamente:

$$CL_R = \bar{R} \quad (3.25)$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R} \quad (3.26)$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} \quad (3.27)$$

Donde d_2 , A_2 , D_3 y D_4 corresponden a constantes que varían dependiendo de las n muestras utilizadas, estos valores se pueden encontrar en la **Tabla B.1.1** del **Anexo B.1** Constantes A_2 , d_2 , D_3 y D_4 de Gráficas de control X-R.

3.7.6 Límites de especificación:

Son extraídos de los planos de manufactura del producto en forma directa o indirecta. Las especificaciones de diseño se expresan como un valor nominal o una tolerancia, o margen aceptable por encima o debajo del valor nominal [24].

3.7.7 Capacidad del proceso

La capacidad del proceso se refiere a la capacidad de un proceso para cumplir debidamente las especificaciones de diseño de un producto o servicio dado. Realizar un estudio de capacidad es importante porque no basta con que un proceso se encuentre bajo control estadístico, se puede presentar la situación de tener una buena calidad de media y muy poca variabilidad de muestreo, pero el proceso no esté cumpliendo con las especificaciones de diseño [24].

Índice de capacidad de proceso C_p

Un proceso es capaz si tiene una distribución cuyos valores extremos se localizan dentro de las especificaciones superior (USL) e inferior (LSL) para un producto o servicio. Éste índice permite ver que tan centrado se encuentra la distribución del valor nominal, se puede calcular mediante la ecuación (3.28).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3.28)$$

Índice de capacidad de proceso C_{pk}

Si se desea conocer que tan desplazada se encuentra la capacidad del proceso del valor nominal, es necesario utilizar el índice C_{pk} . Éste índice permite conocer la capacidad de

proceso de cada lado por separado del valor nominal. Se escoge el valor mínimo porque este representa la situación que ocurriría en el peor caso posible [24]. El C_{pk} se puede calcular mediante la fórmula de la ecuación (3.29).

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}; \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \right] \quad (3.29)$$

3.8 Bases de Datos

Una base de datos es un sistema computarizado cuya finalidad general es almacenar información y permitir a los usuarios recuperar y actualizar esa información con base en peticiones [28]. En una base de datos se pueden guardar diferentes tipos de datos, ya sean numéricos, strings, fechas, entre otros.

3.8.1 Sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS)

El DBMS consiste en un sistema que organiza el almacenamiento de los datos, este controla la creación, mantenimiento y uso de las estructuras de almacenamiento de datos [29]. Por consiguiente, los DBMS brindan las herramientas para poder insertar, buscar, eliminar, modificar la información de las bases de datos. Dentro de los principales DBMS, se pueden nombrar Microsoft SQL server, Oracle, Sybase, dBase, Microsoft Access, MySQL, entre otros.

3.8.2 Open Data Base Connection (ODBC)

EL ODBC es una “Interfaz de Programación de Aplicaciones” (API) estándar de acceso para el uso de Sistemas de Gestión de Datos (DBMS). La finalidad de utilizar un ODBC es que este sea independiente de los lenguajes de programación, sistemas de bases de datos y diferentes sistemas operativos. De esta manera, el ODBC funciona como el enlace estándar que posibilita conectarse y comunicarse con una base de datos [29].

Capítulo 4: Procedimiento Metodológico

4.1 Investigación bibliográfica

En la primera etapa del proyecto se realizó una exhaustiva investigación bibliográfica de los diferentes instrumentos de medición, para conocer el funcionamiento de cada uno de ellos, y medidas de seguridad que se deben tomar para evitar daños en el equipo.

Se tomaron apuntes de las diferentes especificaciones técnicas de cada equipo para conocer atributos como lo son la resolución de los equipos, rangos de medición, precisión y diferentes configuraciones disponibles de cada dispositivo.

Los manuales de usuario de cada instrumento de medición fueron indispensables para el aprendizaje del uso de cada instrumento de medición. Estos se utilizaron para conocer las diferentes partes del instrumento, las conexiones necesarias de alimentación y de medición y dependiendo del equipo utilizado, brindaba las técnicas y métodos de medición correctos.

Se investigó las diferentes formas en que cada equipo puede exportar datos o simplemente brindar información de salida que caracteriza su proceso de medición. Una vez que se conocían las diferentes salidas de datos, se procedió a investigar teóricamente cada una de ellas para poder entender minuciosamente el protocolo o formato en que la información podía ser exportada.

Gracias a la investigación fue posible conocer los diferentes alcances de cada equipo y de esta manera aprovechar al máximo sus diferentes características especiales que a futuro se convirtieron en las diferentes alternativas de solución para adquisición de datos de los diferentes dispositivos de medición.

4.2 Experimentación y uso de diferentes equipos

Como segunda etapa, se procedió a utilizar los diferentes instrumentos de medición para poner en práctica la información recopilada, donde los manuales de usuario fueron fundamentales para un adecuado uso.

Se realizaron mediciones con cada uno de los equipos, se midieron dimensiones físicas (altura, desnivel de altura, largo y ancho) de diversos componentes electrónicos de prueba brindados por la empresa. También se tomaron mediciones de resistividad, tensión eléctrica y corriente a través de los multímetros mediante los métodos Two-Wire y Four-Wire.

Además, se realizaron diversas mediciones de a través del sensor de detección láser de barrera, en donde se colocaban diferentes componentes electrónicos que obstruían parte de la barrera láser y en su display mostraba el porcentaje o dimensión de longitud abarcado. Se le realizaron diferentes configuraciones de las salidas analógicas y diferentes configuraciones de la visualización disponible en el display de este equipo de medición.

4.3 Entrenamiento en LabVIEW y Control Estadístico del Proceso

En esta etapa se realizó un entrenamiento de la herramienta computacional LabVIEW, tomando de guía los cursos de certificación Core 1 y Core 2 de National Instruments. Se tuvo siempre un asesoramiento de uno de los ingenieros encargados de la programación en LabVIEW de la empresa Trimpot Electrónicas Ltda. En el entrenamiento se abarcó desde conceptos básicos, el uso de estructuras secuenciales como máquinas de estado y máquinas de estado con manejo de eventos, adquisición de mediciones de instrumentos de NI y de terceras empresas, el uso de nodos de propiedad hasta el uso de herramientas de análisis estadístico y almacenamiento en bases de datos.

También se participó en un entrenamiento de Control Estadístico del Proceso (SPC) impartido por la persona encargada de entrenamiento del personal de la empresa, en donde se recibió información de las diferentes herramientas que brinda este tema para el análisis

estadístico. Este entrenamiento brindó una introducción de las diferentes herramientas necesarias para el diseño de la automatización de análisis estadístico.

Ambos entrenamientos brindaron las herramientas necesarias para realizar el desarrollo y diseño de las diferentes propuestas de adquisición, visualización, análisis y almacenamiento de los datos.

4.4 Diferentes alternativas de solución

En el momento que ya se contaba con el conocimiento de los equipos de medición a utilizar, las diferentes formas que estos podían exportar información a un ordenador remoto y el manejo del software de programación a utilizar para la adquisición, visualización, análisis y almacenamiento de datos se procedió a realizar diferentes propuestas de solución al problema. Para atacar las diferentes propuestas de solución, el problema se dividió en pequeños sub-problemas, en donde se plantearon diferentes alternativas de adquisición para cada equipo de medición, diferentes propuestas de visualización y análisis de la información, y por último diferentes maneras de cómo plantear el almacenamiento de los datos.

4.4.1 Adquisición de Datos

Instrumentos de medición Mitutoyo

Los instrumentos de medición Mitutoyo permiten la salida de datos Digimatic, este tipo de salida no puede ser leída directamente por un computador, se necesita el uso de una interfaz que convierta dicha salida a una señal estándar. Por lo tanto, esta misma empresa ofrece diferentes interfaces que permiten realizar el procedimiento requerido. Dentro de sus unidades de conversión comerciales se tiene la posibilidad de exportar los datos mediante las diferentes interfaces USB, PS/2 o RS-232.

También se propone realizar el diseño de un prototipo de la interfaz de comunicación mediante algún micro controlador o sistema embebido que permita simular la misma función que realizan las unidades de conversión comerciales. A su vez esta propuesta ofrece múltiples

caminos a escoger, gracias a las diferentes plataformas en las cuales se puede realizar el diseño de conversión Digimatic-Protocolo de comunicación estándar. Dentro de las diferentes plataformas propuestas se encuentran el Raspberry Pi Zero, Arduino Pro-mini, Arduino micro, Trinket 5V y Pro Trinket 5V.

Multímetros Keithley

Tanto el multímetro Keithley 2700 como el SourceMeter Keithley 2400, permiten el envío de información mediante el protocolo IEEE-488 o RS-232C. Se propone realizar la comunicación con el PC mediante los convertidores que ofrece National Instruments para cada interfaz, estos son el NI GPIB-USB-HS y el NI USB-232 respectivamente.

Sensor de detección láser de barrera Keyence Serie IB

El sensor de altura Keyence posee una salida analógica configurable y además permite realizar la conexión a dispositivos externos mediante diferentes unidades de comunicación, entre ellas Profinet, Profibus DP, EtherNet/IP, CC-Link, RS-232C y BCD Interface.

4.4.2 Visualización y análisis

En la aplicación de software a desarrollar, se presentan diferentes modelos de programación que se pueden implementar en LabVIEW. Dentro de ellas se encuentran las máquinas de estados y las máquinas de estado con manejo de eventos. La máquina de estados brinda un panorama muy sencillo en cuanto a programación secuencial, mientras que la máquina de estados con manejo de eventos brinda un extra que permite la intervención del usuario en la aplicación en cualquier momento. Asimismo, la forma de visualizar y analizar la información se puede realizar de diferentes maneras con diferentes diagramas de flujo del desarrollo de la aplicación.

4.4.3 Bases de datos

El almacenamiento de las bases de datos puede realizarse mediante diferentes Sistemas de Gestión de Bases de Datos, tales como Microsoft SQL server, Oracle, Sybase, dBase, Microsoft Access, MySQL, entre otros. Además, es posible utilizar diferentes enlaces a la base de datos como lo son el ODBC o Microsoft Data Link.

4.5 Selección de la solución final

Una vez que se tenían todas las alternativas de solución, se procedió a realizar un análisis técnico y económico acerca de cuál alternativa de solución escoger para cada sub-problema establecido. También se consideró la opinión del usuario final para poder diseñar las diferentes interfaces de usuario que fueran fáciles de utilizar y sencillas de entender.

Se escogió una solución de adquisición para cada instrumento de medición, ya que así se realizaron las diferentes propuestas de solución. También se seleccionó la forma en que se diseñó la visualización, análisis y almacenamiento de datos.

La solución seleccionada para la adquisición del calibrador y comparador Mitutoyo fue el uso la herramienta comercial con salida USB (USB Input Tool), debido a que es uno de los puertos más comunes y utilizados en las computadoras, mientras que los puertos de RS-232 y PS/2 con el tiempo se han ido excluyendo de las computadoras más nuevas.

En cuanto al diseño del prototipo encargado de realizar la conversión de salida Digimatic-Protocolo Estándar, se establecieron requerimientos de diseño y de hardware. A partir de los requerimientos se estableció que la mejor opción para realizar el prototipo de la interfaz fue la plataforma Pro Trinket 5V, sus especificaciones y requerimientos de diseño se presentarán en el siguiente Capítulo 5:.

La comunicación entre los multímetros y el computador remoto se realizó utilizando el protocolo IEEE-488, éste permite realizar la conexión de hasta 15 dispositivos en el mismo protocolo. De esta manera queda abierta la comunicación en caso de expandir la cantidad de instrumentos que utilicen GPIB con el PC.

Después de realizar un estudio acerca de las posibles unidades de comunicación que permiten realizar la comunicación entre el sensor de detección láser de barrera y el PC, se determinó que el dispositivo de comunicación serial RS-232 sería la mejor opción para enviar la información pertinente de este instrumento de medición. De igual manera se decidió utilizar el dispositivo de adquisición de datos (DAQ) LabJack para demostrar que la salida analógica que brinda el sensor permite representar la medición tomada.

El diseño de la aplicación en LabVIEW para el manejo de todo el proyecto, se realizó mediante una estructura de máquinas de estado con evento, esto para poder tener una mayor interacción del usuario con la aplicación y realizar una mayor toma de decisiones.

El almacenamiento en las bases de datos se realizó utilizando el sistema de gestión de bases de datos Microsoft Access. Si se desea implementar una base de datos más robusta se puede utilizar el lenguaje SQL. La ventaja que brinda Access es la facilidad en que se pueden convertir las tablas de Access en las tablas de un sistema como Microsoft SQL Server.

4.6 Implementación de la solución

En esta última etapa se procedió a realizar las diferentes conexiones de las interfaces comerciales escogidas a la computadora, luego fue necesario utilizar la información de los protocolos de comunicación investigados para implementarlos en LabVIEW. De esta forma se realizó la comunicación con todos los instrumentos se realizó mediante GPIB, RS-232 y USB.

En el diseño del prototipo de interfaz se realizó un algoritmo de decodificación que permitiera obtener toda información serial guardada en diferentes variables del software de programación del Pro Trinket 5V. Una vez que se tenían dichos valores guardados, se implementó una salida de datos mediante USB que simulara un teclado HID (Human Interface Device), al igual que el USB Input Tool.

La implementación de la visualización se realizó mediante una realimentación del usuario final, puesto que se presentó la interfaz para recibir comentarios constructivos que ayudaran a construir una interfaz más fácil de utilizar y más funcional. La elaboración del análisis

estadístico en LabVIEW de los datos conllevó la implementación múltiples ecuaciones que permitiera desarrollar el análisis automáticamente, gracias a la toma de las muestras y la actualización del dato adquirido en las diferentes gráficas de control, histogramas de frecuencia, índices de capacidad del proceso y demás.

Por último, se realizó un acceso a las bases de datos bidireccional en donde es posible escribir datos en ella, al igual que leerlos. Se agregó opciones de borrar ciertos datos desde la aplicación de LabVIEW, esto en caso que algún operador realice alguna medición de mala manera que afecte el comportamiento usual de las variables físicas o eléctricas de los componentes electrónicos.

Para cada uno de las diferentes implementaciones de solución se realizaron pruebas que garantizaran que se realizara realmente lo deseado. Se utilizaron los indicadores de los objetivos dispuesto en el Capítulo 2:, para tomar en cuentas las pruebas que se debían realizar.

Capítulo 5: Descripción Detallada de la Solución

5.1 Diseño de la adquisición de datos de diferentes instrumentos de medición

La adquisición de los datos de diferentes dispositivos de medición es una de las partes más importantes del proyecto, por lo tanto, en este Capítulo 5: se explicará a detalle todos los pormenores en cuanto al envío de los datos de los respectivos instrumentos hasta la recepción de los datos realizada en el programa LabVIEW en una computadora. En la **Figura 5.1** se muestra el diagrama de bloques del Hardware utilizado para la adquisición de datos de todos los instrumentos de medición.

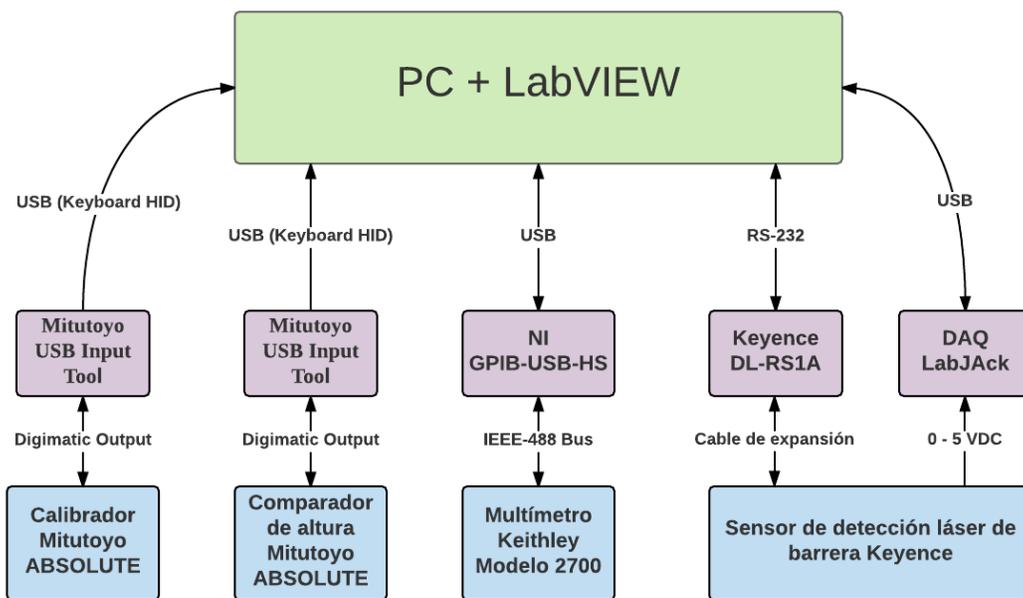


Figura 5.1 Diagrama de bloques del Hardware del sistema de adquisición de datos

Cada hardware utilizado se explicará de manera que se pueda exponer por qué se seleccionó dicha alternativa o propuesta de solución correspondiente a cada instrumento de medición. Mientras que el software desarrollado en LabVIEW se irá explicando conforme se van exponiendo los diferentes componentes de Hardware. El método de programación utilizado en el desarrollo de la aplicación se basó en la máquina de estados con manejo de eventos, siendo esta una programación secuencial. En la **Figura 5.2** se presenta el diagrama de estados

del software general para cada instrumento de medición, en donde las funciones del estado “Tomar Dato” relleno con color, varían dependiendo del tipo de instrumento que se esté utilizando. Se realiza un mismo diagrama de estados para cada instrumento para generalizar y estandarizar el sistema de software utilizado.

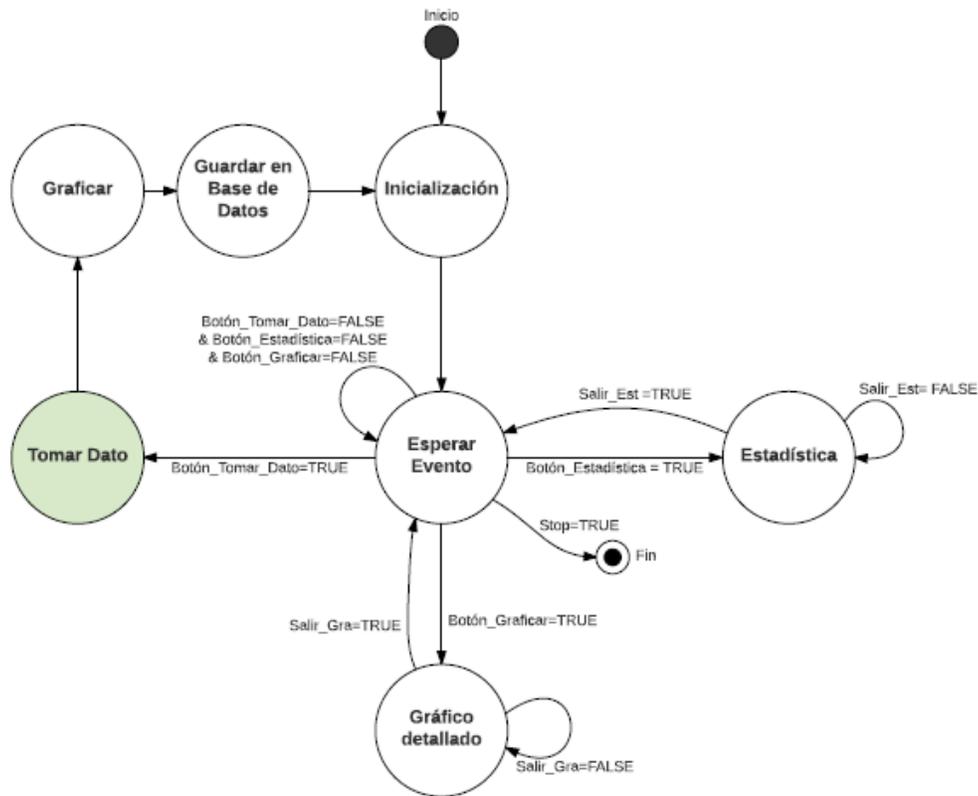


Figura 5.2 Diagrama de estados del software implementado para cada instrumento

5.1.1 Indicador de altura y calibrador ABSOLUTE Digimatic

El diseño de la adquisición de datos del calibrador y del comparador o indicador de altura es la misma para ambos, sus salidas corresponden a Digimatic.

Como se mencionó en el tema **Diferentes alternativas de solución**, del Capítulo 4:, se tenían diferentes dispositivos que permitían la conversión de datos Digimatic a diferentes protocolos estándar como lo son RS-232, PS/2 y USB. Finalmente se optó por utilizar la interfaz de conversión de salida USB, debido a la facilidad de conexión y la modernización de las computadoras, donde escasamente brindan entradas RS-232 y PS/2 respectivamente.

El dispositivo “Mitutoyo USB Input Tool” tiene un conector macho conformado por 10 pines distribuido en 2x5. Esta entrada es la encargada de recibir la información desde el instrumento. Es necesario utilizar un cable que también lo proporciona la misma empresa de fabricación del convertidor. Mitutoyo brinda una variedad de estos tipos de cables, los cuales el tipo de estos depende del instrumento que se vaya a utilizar, el cable utilizado para el calibrador e indicador de altura tiene el nombre de Mitutoyo 905338.

Al realizar la conexión USB de la interfaz comercial utilizada a la PC, ésta la percibe como un teclado HID (Human Interface Device), esto significa que el dispositivo simula el comportamiento de un teclado y escribe rápidamente letra por letra el valor de medición en la computadora. Es importante conocer dónde está se encuentra el puntero, ya que será en ese lugar donde se escriba la información.

Al conocer el formato final en que este dispositivo envía la información hacia la computadora, se desarrolló la implementación de una ventana emergente (Pop-Up) en la aplicación de LabVIEW que permite ingresar los valores de las diferentes muestras. En la **Figura A.1.1** se puede apreciar el diseño en LabVIEW de la ventana emergente que permite el ingreso de 5 datos, una vez que los datos son ingresados, estos son automáticamente analizados, graficados y guardados en la base de datos según el diagrama de estados de la **Figura 5.2**.

5.1.2 Multímetro Keithley 2700 y SourceMeter Keithley 2400

El hardware utilizado para realizar la conexión del multímetro Keithley 2700 y el SourceMeter Keithley 2400 fue el módulo GPIB-USB-HS.

El GPIB-USB-HS es un controlador que transforma cualquier puerto USB de una computadora en un controlador IEEE-488.2, el cual puede controlar hasta 14 instrumentos GPIB programables [30]. Este dispositivo requiere al menos 5V y 500mA de alimentación. La **Figura 5.3** corresponde al controlador explicado.



Figura 5.3 Controlador GPIB-USB-HS de la marca National Instruments

Los estándares IEEE-488.1 e IEEE-488.2 definen una sintaxis llamada SCPI 1996.0 (Standard Commands for Programmable Instruments) para realizar una comunicación con los multímetros que tienen un bus GPIB. Como se mencionó en el tema 3.4 del Capítulo 3:Marco Teórico esta sintaxis define un grupo de comandos que permiten realizar las diferentes configuraciones del multímetro y además realizar mediciones remotamente.

El desarrollo de la comunicación entre la PC y los multímetros se da a través los comandos SCPI mencionados anteriormente. Se realizaron diferentes pruebas para demostrar el uso de estos comandos.

Para la implementación de esta comunicación en la aplicación de LabVIEW, primeramente, es necesario explicar el término de “VISA Resource”, este es cualquier instrumento que se encuentre conectado al sistema, incluyendo los puertos serie y paralelo. Además, si se tiene conectado al controlador GPIB múltiples instrumentos, cada instrumento es considerado como un VISA Resource, la dirección de cada instrumento será la encargada de hacer la diferenciación entre cada uno de ellos [31].

La **Figura A.1.2** presenta un ejemplo de código de LabVIEW que se encarga de realizar la comunicación con un multímetro que se tenía conectado en el momento de la prueba realizada. El comando `*IDN?` forma parte de la sintaxis SCPI y se encarga de solicitar información del instrumento o VISA Resource que se le realiza la prueba. En la prueba realizada sólo se dispuso que se leyeran 50 bytes, pero es posible leer toda la respuesta colocando más bytes de lectura.

En la **Figura 5.4** permite visualizar la respuesta del comando *IDN? de la sintaxis SCPI del instrumento SourceMeter conectado mediante GPIB, con la dirección 4 asignada. Al enviar el comando *IDN?, se recibe la información “KEITHLEY INSTRUMENTS INC.,MODEL 2400,0724770,C27”.

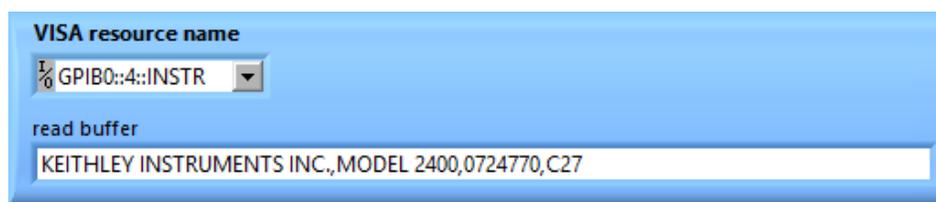


Figura 5.4 Respuesta del SourceMeter al comando *IDN? enviado mediante la sintaxis SCPI de la IEEE-488

De igual manera se puede realizar muchísimas configuraciones y lecturas a través de los comandos SCPI, en la **Tabla 5.1**, se presenta un ejemplo realizado que proporciona el manual de usuario del SourceMeter para la medición de una resistencia mediante el método Four-Wire. El mismo ejemplo se puede aplicar para cualquier SourceMeter gracias a que los comandos son universales para todo dispositivo con bus GPIB o IEEE-488. Si se desea realizar la misma medición en cualquier multímetro normal como el Keithley 2700 se deben excluir los pasos 7 y 8 de la **Tabla 5.1**, porque estos solo aplican para los SourceMeter. Una gran parte de los comandos para realizar las mediciones se pueden encontrar en la **Figura B.2.1**.

Tabla 5.1 Ejemplo de medición remota de una resistencia de un SourceMeter a través de los comandos SCPI de las normas IEEE-488.1 e IEEE-488.2.

Paso	Comando	Descripción
1	*RST	Restaura las propiedades del GPIB por defecto.
2	FUNC "RES"	Selecciona la función de medición de resistencia.
3	RES:MODE AUTO	Modo automático de resistencia
4	RES:RANG 20E3	Selecciona un rango de medición de 20kΩ
5	:SYST:RSEN ON	Habilita el método Four-Wire
6	:FORM:ELEM RES	Lectura de resistencia
7	:OUTP ON	Se enciende la fuente
8	:READ?	Adquiere la lectura deseada
9	:OUTP OFF	Se apaga la fuente

Una vez comprendida la forma en que se comunican los multímetros deseados, se procedió a construir un VI encargado de la medición de valores resistivos mediante el programa LabVIEW, a partir de diferentes Sub-VIs de adquisición que brinda NI para los multímetros Keithley.

El diseño de la adquisición se realizó con la implementación de una máquina de estados que permitiera tomar hasta 5 mediciones de resistividad al presionar un botón, por último, se mostrarán el promedio y rango de todas las mediciones realizadas, su respectivo diagrama de estado se puede analizar en la **Figura 5.5**.

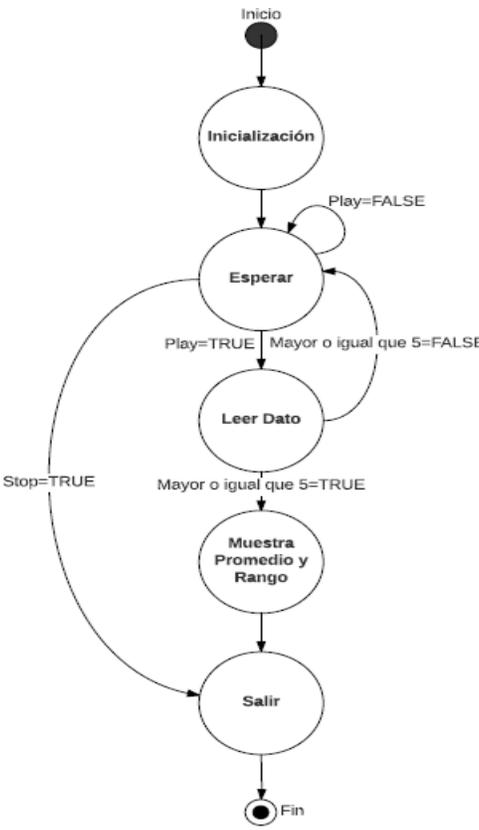


Figura 5.5 Diagrama de estados de la adquisición de valores resistivos en un multímetro

El estado Leer Dato de la máquina de estados es el encargado de cada adquisición del multímetro Keithley 2700, en la **Figura A.1.3** se puede analizar la implementación mediante LabVIEW.

5.1.3 Sensor de detección láser de barrera

El sensor de detección láser de barrera utilizado tiene una salida analógica que caracteriza la medición realizada, de igual manera tiene la opción de comunicarse con un dispositivo externo mediante diversas unidades de comunicación. Se determinó que la mejor opción de realizar el envío de datos que caractericen las mediciones es utilizar los módulos de comunicación puesto que de esta manera no existe una conversión de analógico a digital donde gracias al proceso mismo existen variaciones del valor original.

De igual manera se utilizó la salida analógica para que el sistema de adquisición tuviese una prevista a futuro, en donde el instrumento utilice valores analógicos. El DAQ utilizado fue el LabJack U3-HV gracias a su bajo precio en comparación a los demás (aproximadamente \$100) y por la existencia y disponibilidad de este en la empresa.

5.1.3.1 LabJack U3-HV

El LabJack U3 es un dispositivo de adquisición de datos, el cual es alimentado, configurado y su comunicación se realiza por un puerto USB. En la **Figura 5.6**, se brinda una imagen del dispositivo utilizado.

Este dispositivo se caracteriza por tener 12 entradas y salidas flexibles que se pueden configurar ya sean como entradas o salidas digitales. También se pueden configurar como entradas analógicas de 12 bits de resolución, impedancia de entrada de $40M\Omega$ y una entrada de tensión máxima de 3.6V. Además, ofrece 4 entradas analógicas que ofrecen un rango de medición de hasta $\pm 10V$, en donde la impedancia de entrada corresponde a $1M\Omega$.



Figura 5.6 Dispositivo de adquisición de datos LabJack U3 HV

La implementación de la comunicación del LabJack con LabVIEW se da mediante el puerto USB, en la **Figura A.1.4** se muestra el software utilizado para la adquisición del valor analógico del pin AIN0 (Analog Input 0).

Durante las pruebas experimentales de la adquisición de los valores analógicos, se encontró que al conectar el pin AIN0 a la tierra del instrumento, la salida digital correspondía al número entero 32808, mientras que al conectar AIN0 a VS (5V) la salida digital era 48528. Entonces implementó la ecuación (5.1) asumiendo que el comportamiento de lectura es lineal, para poder establecer una visualización más oportuna del valor digital.

$$y = mx + b \quad (5.1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (5.2)$$

$$b = y - mx \quad (5.3)$$

$$y_1 = \text{GND} = 0\text{V} \rightarrow x_1 = 32\ 808 \quad (5.4)$$

$$y_2 = \text{VS} = 5\text{V} \rightarrow x_2 = 48\ 528 \quad (5.5)$$

Para el cálculo de las constantes m y b de las ecuaciones (5.2) y (5.3) respectivamente se implementaron en LabVIEW, de esta manera se puede visualizar directamente el valor analógico. En la **Figura 5.7** se presenta la implementación del acondicionamiento de la señal en LabVIEW y las constantes m y b resultantes.

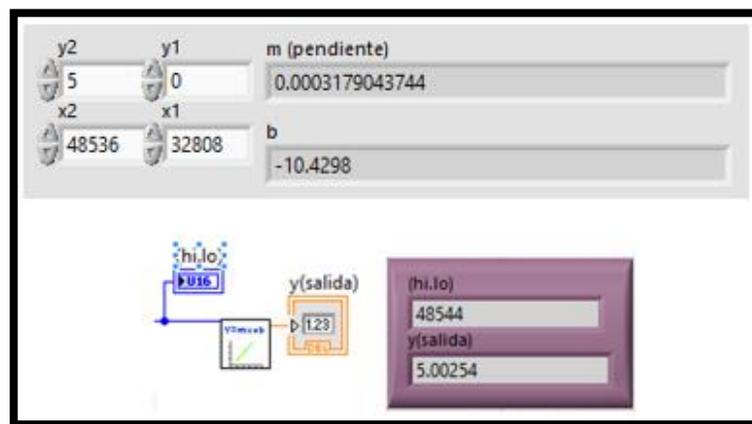


Figura 5.7 Acondicionamiento del valor leído en el pin AIN0 del LabJack

5.1.3.2 Keyence DL-RS1A

La unidad de comunicación RS-232, expuesta en la **Figura 5.8**, fue la escogida para la comunicación entre el computador y el sensor, esta unidad tiene el nombre de Keyence DL-RS1A. A continuación, se presentará información detallada e importante en el uso de este dispositivo.



Figura 5.8 Unidad de comunicación RS-232C Keyence DL-RS1A

La alimentación de esta unidad es proporcionada por el amplificador principal IB-1500, de esta manera, esta unidad necesita una tensión de entrada correspondiente de 20V a 30V y un consumo de corriente máxima de 25mA.

El método de comunicación que utiliza es Full-Duplex, donde se puede enviar datos y recibir a la misma vez y es una comunicación asíncrona. También es importante mencionar que utiliza una codificación de transmisión ASCII [32].

El dispositivo DL-RS1A permite configurar los parámetros de la comunicación serial, los parámetros de transmisión serial utilizados se pueden observar en la **Tabla 5.2**. La configuración de estos parámetros en el DL-RS1A debe realizarse físicamente mediante unos “Switchs” que se encuentran en la parte trasera del dispositivo.

Tabla 5.2 Parámetros de comunicación serial configurados para el DL-RS1A

Parámetros de comunicación serial	Valores
Velocidades de transmisión	9600 baudios
Bits de datos	8
Paridad	Ninguna
Bits de parada	1

Conexión del DL-RS1A a un dispositivo externo

La unidad de comunicación RS-232 tiene 6 conectores que son utilizadas para el envío y recepción de información en un protocolo de comunicación serial, en la **Figura 5.9** se presentan los diferentes pines y sus respectivos nombres. La terminal de conexión tiene 3 salidas cortocircuitadas que hacen la función de tierra, una salida llamada SD (Send Data), una entrada RD (Read Data) y por último una entrada DRQ (Data Request).

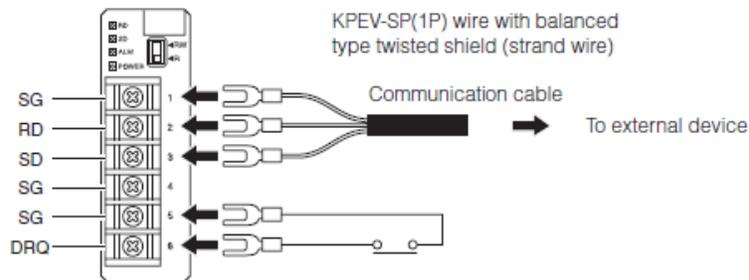


Figura 5.9 Terminal de conexiones del DL-RS1A [32]

La salida “Send Data” es la encargada de llevar la información que se envía desde esta unidad de conexión hacia el dispositivo externo, mientras que la entrada “Receive Data” se encarga de recibir la información proveniente del dispositivo externo. Además, si se requiere hacer una solicitud de dato del sensor de detección láser de barrera mediante hardware es posible conectando un botón pulsado a la entrada “Data Request”.

La conexión se realizó con un cable DB-9 que será el encargado de medio de comunicación del DL-RS1a con la computadora. En la **Figura 5.10**, se puede ver que cierto pines, en el bloque del DB-9, se encuentran cortocircuitados, esto se hace para realizar una realimentación de las líneas de Handshaking de la computadora, la salida “Solicitud de envío” (pin7) de la computadora inmediatamente activa la entrada “Preparado para transmitir” (pin 8) y la salida “Terminal de datos preparada” (pin 4) de la computadora activa la entrada “Dispositivo preparado” (pin 6), de esta manera la computadora controla efectivamente su propio Handshaking [33].

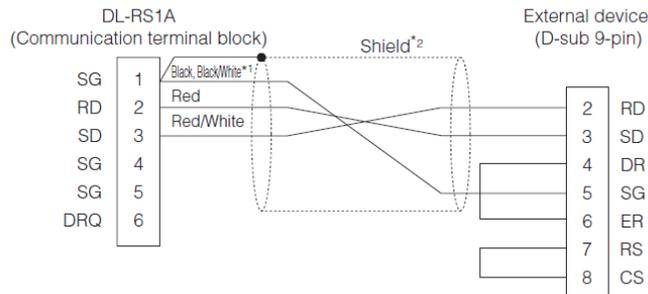


Figura 5.10 Conexión entre la terminal de conexión del DL-RS1A y un cable DB-9 hembra

Comandos y Respuestas

El dispositivo DL-RS1A permite ser controlado remotamente mediante la interfaz de comunicación RS-232. Para poder realizar una comunicación con él es necesario utilizar unos comandos específicos que permiten realizar muchos tipos de lecturas y escrituras al amplificador del sensor de detección de barrera.

El envío de comandos tiene una estructura que consta de 11 bytes en ASCII, dicha estructura se puede ver representada en la **Figura 5.11**.

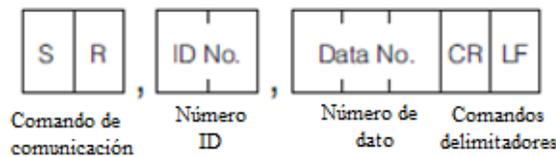


Figura 5.11 Estructura del formato de comando a enviar hacia el DL-RS1A

La estructura del formato del comando se divide en las siguientes 4 partes:

- Comando de comunicación: éste permite elegir qué tipo de comando es el realizado, ya sea lectura (SR) o escritura (SW). En nuestro sistema sólo se requiere leer mediciones se utilizó SR.
- Número ID: hace referencia al amplificador que se le trabajará el comando enviado, para el caso del amplificador principal el número ID corresponde a “00”.
- Número de dato: es el número encargado de representar el dato que se requiere medir o escribir, éste se encuentra tabulado en la **Figura B.3.1** del **Anexo B.3** Lista de Números de Datos para los comandos de lectura en DL-RS1A

- Comandos delimitadores: se utilizan para indicar el final del comando.

Tras realizar un envío hacia el DL-RS1A, éste realizará una respuesta de vuelta hacia la computadora. El formato de la respuesta proveniente del sistema del sensor de detección de barrera láser se puede estudiar en la **Figura 5.12**, la estructura de la respuesta solo difiere del comando, en que trae consigo el dato deseado después del número de dato.

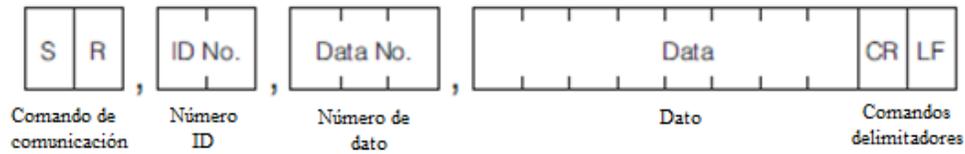


Figura 5.12 Estructura del formato de la respuesta recibida del DL-RS1A

El diseño de la comunicación serial RS-232C realizada en LabVIEW se basa en una secuencia lineal, donde primero se enviaba el comando deseado, se leía la respuesta y por último se mostraba el valor leído, la implementación del código se puede analizar en la siguiente **Figura A.1.5**.

Los “Números de Datos” más utilizados fueron aquellos que permitieron realizar la lectura del valor de la señal analógica, la dimensión o porcentaje del haz de luz cubierto y modo de medición. Para ejemplificar este proceso en la **Figura 5.13** se pueden ver dos ejemplos de comandos enviados y su respectiva respuesta implementados en el Sub-VI.

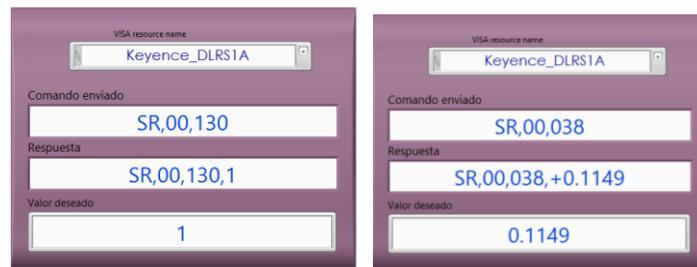


Figura 5.13 Lectura del modo de medición (0=porcentaje, 1=longitud) y lectura del valor de medición (0.1149 in)

5.2 Diseño de interfaz Digimatic-USB

La creación del diseño e implementación del convertidor, se realizó mediante diferentes pasos que permitieron llegar al diseño final. A continuación, se explicará uno por uno detalladamente.

5.2.1 Salida experimental Digimatic

Inicialmente, se utilizó la interfaz comercial USB Input Tool para enviar un dato a la computadora, de esta manera se realizaron diferentes mediciones de las señales Datos, Reloj, Solicitud de Dato, para demostrar el comportamiento real de la salida SPC (Digimatic). Para ello se utilizó el osciloscopio digital Tektronix TDS2012C y se estudió el comportamiento de estas señales con respecto al tiempo.

Para las diferentes pruebas se utilizó el canal 1 del osciloscopio para la señal de Reloj y el canal 2 para la señal Datos. Dentro de ellas se encuentran la medición del tiempo en bajo de la señal de reloj y su respectivo periodo.

También se configuró el osciloscopio a 1ms/división y 5V/división, de esta manera es posible visualizar la coordinación de las dos señales mientras es enviada, como se deseaba visualizar el “stream” de los 52 bits fue necesario tomar 3 captura del osciloscopio para mostrar toda la información.

5.2.2 Requerimientos de diseño

En el momento que se conoce el comportamiento minucioso de las señales de datos y reloj se pueden establecer varios requerimientos de software que se deberán tener para poder implementar el prototipo deseado. En la **Figura 5.14** se presenta el diagrama de bloques de las conexiones que se deben utilizar en la interfaz.

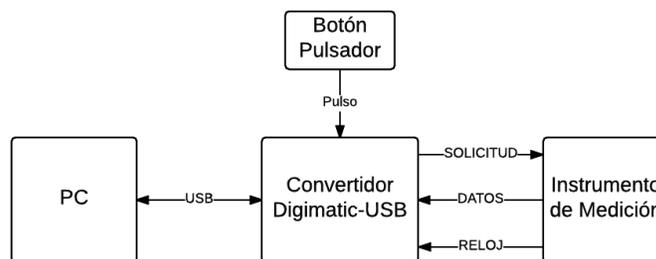


Figura 5.14 Diagrama de bloques de las conexiones del convertidor diseñado

El diseño de la interfaz encargada de enviar la señal de solicitud y recibir la información de reloj y datos deberá tener a disposición al menos 3 entradas digitales con resistencias de Pull-up y una salida digital configurada en colector abierto de un transistor NPN, estos requerimientos se pueden encontrar en la tabla

Tabla 5.3. Asimismo, se definió que para realizar la comunicación del lado PC-Convertidor se utilizará el protocolo USB.

Tabla 5.3 Requerimientos de Hardware de diseño de comunicación Instrumento Digimatic-Convertidor

Función del pin	Tipo	Característica especial
Data	Entrada digital	Resistencia Pull-Up
Clock	Entrada digital	Resistencia Pull-Up
Ingreso de botón	Entrada digital	Resistencia Pull-Up
Request	Salida	Colector abierto

5.2.3 Diferentes placas para implementar diseño

Una vez que se conocían los diferentes requerimientos de hardware, se procedió a realizar una búsqueda de diferentes plataformas que servirían para realizar el prototipo. En la **Tabla 5.4** se realiza una pequeña comparación entre diversas plataformas propuestas para realizar el diseño del software encargado de hacer la lectura, decodificación y envío.

Tabla 5.4 Comparación de hardware de diferentes plataformas de acuerdo con los requerimientos necesarios

Plataforma	Entradas/Salidas Digitales	Puerto USB incluido	Resistencia de Pull-Up interna
Raspberry Pi Zero	40	✓	✓
Arduino Micro	20	✓	✓
Pro Trinket 5V	18	✓	✓
Arduino Pro mini	14	X	✓
Trinket 5V	5 (3 si se utiliza el puerto USB)	✓	✓

El dispositivo “Trinket 5V” posee 5 entradas/salidas digitales por lo que aparenta ser la mejor opción, pero tiene la particularidad que comparte 2 pines con el puerto USB, entonces la disposición de uso de la cantidad de entradas y salidas se limita a 3, siendo 4 las necesarias.

El Arduino Pro Mini no brinda un puerto USB en la misma tarjeta, por lo que si se desea realizar la función de enviar los datos a través de un conector USB es necesario utilizar un módulo externo, lo cual aumenta el precio del diseño y el tamaño del mismo.

Las placas Pro Trinket 5V, Arduino Micro y Raspberry Pi Zero funcionarían para la implementación del diseño deseado. Se escogió el Pro Trinket 5V porque sobraría la menor cantidad pines sin utilizar y por una librería de software que permite configurar el dispositivo como un teclado HID.

5.2.4 Diseño de hardware y software utilizado

5.2.4.1 Hardware

La placa de hardware utilizada para el diseño del convertidor es la “Pro Trinket 5V”, en donde se utilizó 3 entradas digitales configuradas para utilizar la resistencia interna de Pull-Up, también se hizo uso de una salida digital que es la encargada de controlar la solicitud de dato El micro controlador de la placa es el ATmega328P, la distribución de sus pines y estructura de éste, se pueden visualizar en la **Figura 5.15**.

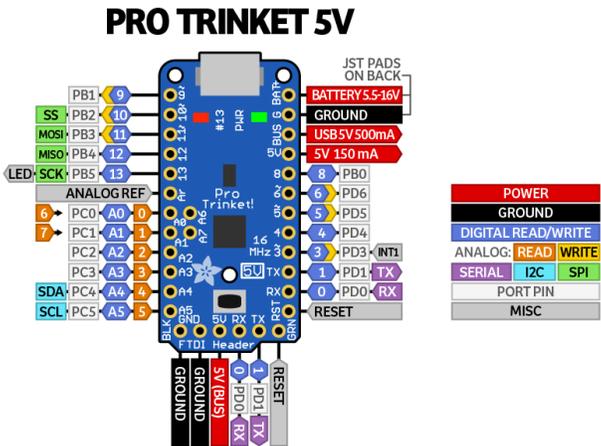


Figura 5.15 Distribución de pines y estructura del micro controlador ATmega328P en el Pro Trinket 5V [34]

Para cubrir el requerimiento hardware de una salida en colector abierto, se utilizó un transistor NPN (en el prototipo de prueba se utilizó el NTE123A). La conexión final se puede observar a continuación:

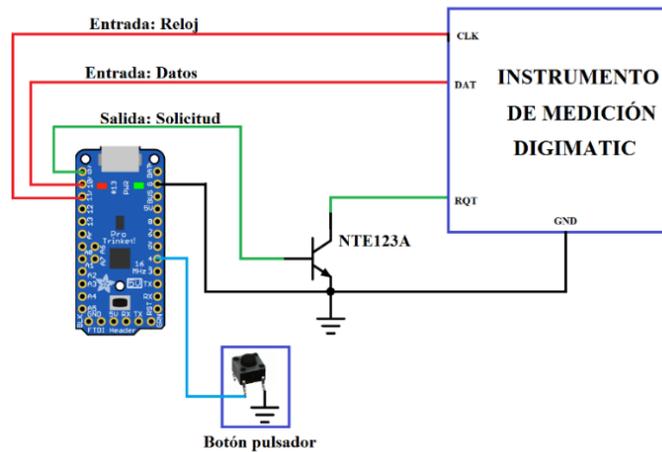


Figura 5.16 Conexión del prototipo de la interfaz Digimatic-USB

La implementación de prueba se realizó en una placa perforada, pero el prototipo final se implementará en una tarjeta PCB de una capa. Se diseñó una posible opción para la tarjeta PCB en el programa Eagle, donde su Layout correspondiente se presenta en la **Figura 5.17**.

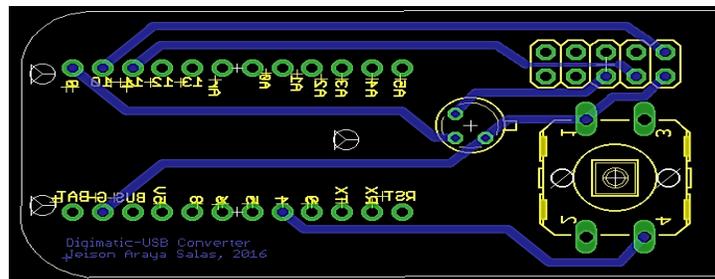


Figura 5.17 Layout del diseño de la tarjeta PCB para el convertidor Digimatic-USB

5.2.4.2 Software

El software diseñado para realizar todo el proceso de conversión se diseñó a partir de un algoritmo que toma en cuenta las funciones de solicitud, decodificación y conversión de datos. El diagrama de flujo diseñado para todos estos procesos se presenta en la **Figura 5.18** y sus características a continuación:

- Se realiza una inicialización de las diferentes constantes, variables, entradas, salidas y librerías de software.
- La solicitud del dato de medición se realizará cuando exista un flanco negativo en el botón pulsador, de esta forma se previene que se realicen varias solicitudes por mantener pulsado el botón.
- La lectura de la medición se lee mediante las señales de reloj y datos.
- Cuando el reloj está en bajo se debe leer el bit que se encuentra en la señal datos.
- Es necesario guardar en grupos de 4 bits la información, o sea cada 4 bits se almacenan en diferentes variables D_1 , D_{n+1} , D_{n+2} , hasta D_{13} .
- Luego se debe codificar el valor binario a hexadecimal (ejemplo se tiene un 1111, corresponde a un F en hexadecimal)
- Una vez que se tienen todos los datos en hexadecimal es importante saber características importantes del dato que fue medido, por ejemplo, el signo, la unidad de medición y el punto de
- Luego se realiza una unión del número completo su signo y su punto decimal en número flotante.
- Por último cuando el dato ya listo, se envía mediante USB al PC, simulando lo que es un teclado de computadora.
- La implementación de este algoritmo se realizó con el programa Arduino gracias a que brinda la herramienta necesaria para enviar datos simulando un teclado mediante el llamado de una “librería”.

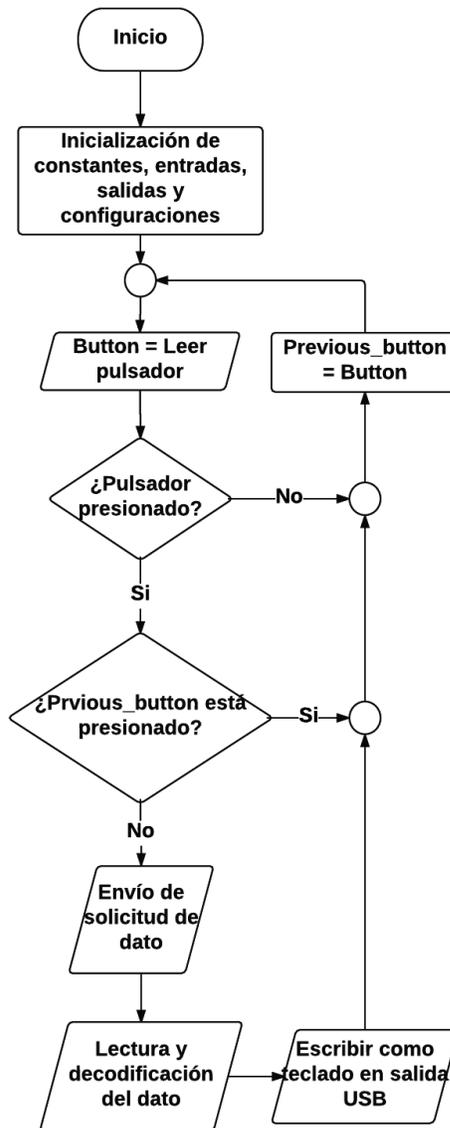


Figura 5.18 Diagrama de flujo del software implementado en el Pro Trinket 5V

5.3 Visualización de datos medidos

Para el proceso de diseño de visualización se tomó en cuenta la opinión del usuario final, mientras se avanzaba en el proyecto se mantuvo en constante contacto con las personas que utilizarían la aplicación de LabVIEW. Gracias a esto se estuvo realizando diferentes modificaciones sobre como mostrar y visualizar el valor que ya había sido adquirido anteriormente.

En el desarrollo del software se utilizaron diferentes métodos gráficos que lograran representar lo que sucedía al interno del programa, por lo tanto, se utilizaron bastantes indicadores numéricos e indicadores booleanos (LEDS). En la **Figura 5.19** se ejemplifican algunos indicadores utilizados. También se diseñaron diversos botones que fueran llamativos, con imágenes representativas y de gran tamaño para el fácil manejo.

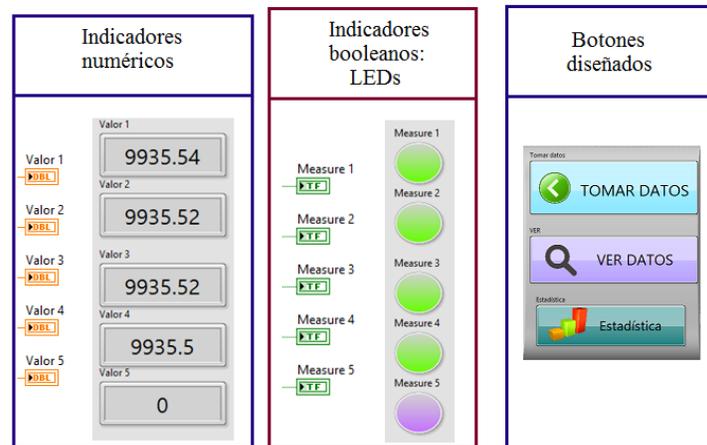


Figura 5.19 Diseño de diferentes visualizadores gráficos en LabVIEW

5.4 Análisis Estadístico de los datos

5.4.1 Graficas X-R e histogramas

En los procesos de adquisición de datos se toman comúnmente 5 datos, los cuales son ingresados a un arreglo de datos uno por uno, también se utilizan registros de desplazamiento para que los datos se mantengan en cuanto se unen los demás. Una vez que se tienen los 5 datos se les realiza el promedio y el rango, donde a su vez estos valores son insertados en un arreglo de promedio y rangos.

Para la creación los gráficos X-R se utilizó el módulo DSC (Datalogging and Supervisory Control) que ofrece National Instruments para LabVIEW. El VI utilizado fue “Draw Control Chart.vi”. En cuanto a la creación del histograma con sus respectivos límites de control también se utilizó el módulo DSC, los VI utilizados fueron “General Histogram.vi” y “Plot Vertical Bar Graph with Limits.vi”. La **Figura A.1.6** corresponde a la implementación de las gráficas de control e histogramas en LabVIEW.

5.4.2 Estudio de Capacidad

Se realizó un VI encargado de calcular y mostrar los diferentes índices de capacidad del proceso, en la **Figura A.1.7** se puede observar que, si se tiene de entrada el límite de especificación superior, el límite de especificación inferior y los arreglos de datos de promedio y rango es posible encontrar múltiples índices que permiten caracterizar el proceso que se está desarrollando. Además, será posible visualizar el histograma de frecuencias y la función de distribución de probabilidad normal. Todo esto es posible a los diferentes módulos del DSC e implementación de las diferentes ecuaciones que se encuentran en el tema **3.7 Fundamentos Estadísticos**. Todas estas funciones y ecuaciones se encuentran dentro del Sub-VI llamado “Process Capability”. En la siguiente figura se puede observar el software implementado.

5.5 Diseño de la base de datos

La base de datos se implementó en el Sistema de Gestión de Bases de Datos Microsoft Access, en donde se realizaron 4 tablas encargadas de almacenar la información proveniente de la aplicación realizada en LabVIEW.

El método de acceso utilizado fue el ODBC, método el cual permite acceder a la base de datos independientemente del Sistema de Gestión de Base de Datos.

5.5.1 Almacenamiento de Datos

Debido a la importancia del acceso a la información se diseñó un sistema que permitiera realizar un almacenamiento de diferentes tipos de datos deseados. En **Figura A.1.8** se presenta el Sub-VI encargado realizar el almacenamiento de los datos, donde se envían datos numéricos flotantes de doble-precisión (promedio y rango), datos tipo string (nombre y justificación) y datos de fecha y tiempo (el tiempo actual).

5.5.2 Lectura de Datos almacenados

La implementación de la lectura de la base de datos se utiliza para actualizar la información una vez que se accede al programa principal. Se realiza para que esta información sea tomada en cuenta para la visualización y análisis actual.

El diseño de la lectura es realizado mediante una máquina de estados, ya que es necesario repartir la información de cada fila en un arreglo de datos, el cual es el que se trabaja en el programa principal. En la **Figura 5.20** se brinda el diagrama de estados utilizado para la leer y repartir la información proveniente de la base de datos.

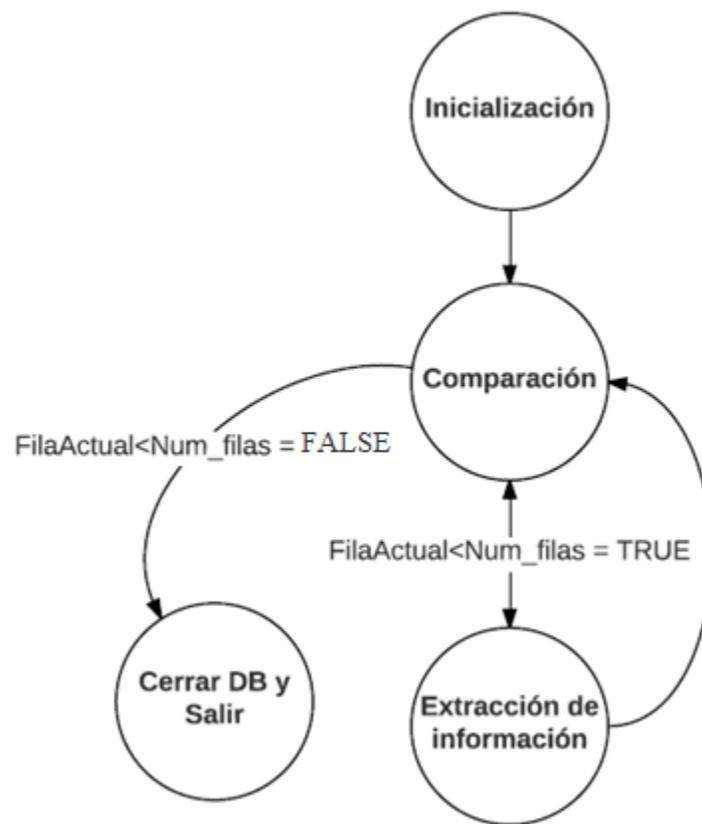


Figura 5.20 Diagrama de estados del software de la lectura de la base de datos

Capítulo 6: Resultados y Análisis

6.1 Resultados Experimentales de la salida Digimatic

La primera prueba realizada consta de medir el tiempo que tarda en bajo la señal de reloj, de referencia se tiene la

Tabla 3.10, la cual indica que el tiempo en bajo de la señal reloj corresponde a $100\mu\text{s}$. La **Figura 6.1** corresponde a la medición de diferencias de tiempo con el uso de los marcadores que brinda el osciloscopio y se puede observar que el tiempo en bajo de la señal reloj es aproximadamente $110\mu\text{s}$. La razón que hace que el valor teórico y el real difieran es el hecho que un marcador de la izquierda no se colocó exactamente al finalizar el flanco negativo de la señal reloj.

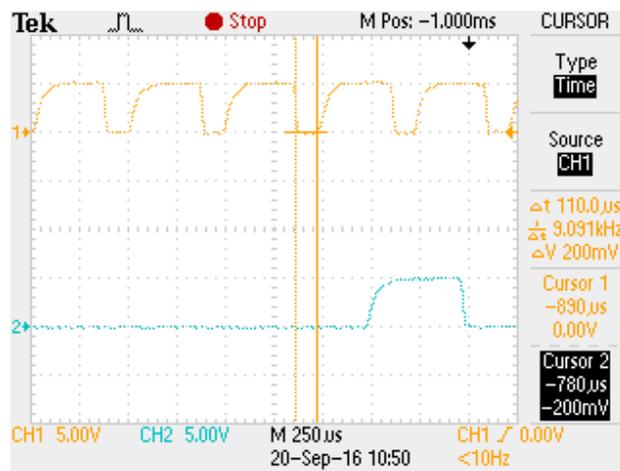


Figura 6.1 Tiempo en bajo de la señal de reloj de datos Digimatic en Osciloscopio Tektronix TDS2012C a $5\text{V}/\text{div}$ y $250\mu\text{s}/\text{div}$

De igual manera se obtuvo el periodo de la señal Reloj y frecuencia, el resultado se puede visualizar en la **Figura 6.2**, donde el periodo es $500\mu\text{s}$ y por consecuente la frecuencia corresponde a 2kHz .

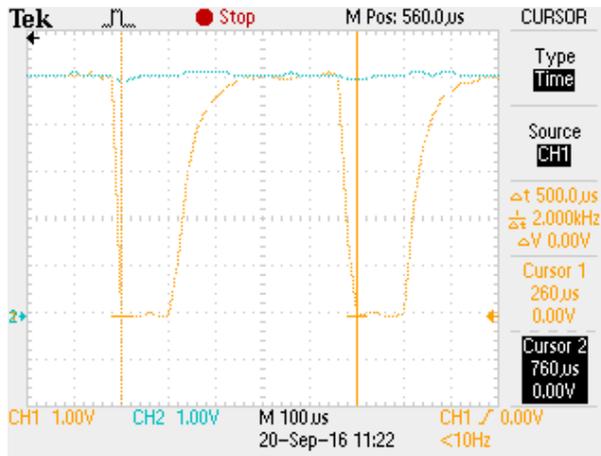


Figura 6.2 Medición del periodo y frecuencia de la señal Reloj del formato Digimatic en Osciloscopio Tektronix TDS2012C a 1V/div y 100μs/div

De acuerdo a la investigación realizada acerca de la salida de datos Digimatic teórica, se conoce que en total son 52 bits de Datos y 52 bits de Reloj por cada información de la medición enviada. Además, la lectura de los bits de datos se debe realizar cuando la señal de reloj se encuentra en bajo. Consecuentemente, se configuró el osciloscopio a 5V/div y 1ms/div para poder visualizar la coordinación de las dos señales mientras es enviada, para poder acaparar todos los 52 bits y que se pudieran observar claramente se tomaron 3 capturas de pantalla del osciloscopio y se unieron. La **Figura 6.3** corresponde al envío de toda la información de los instrumentos de medición Mitutoyo.

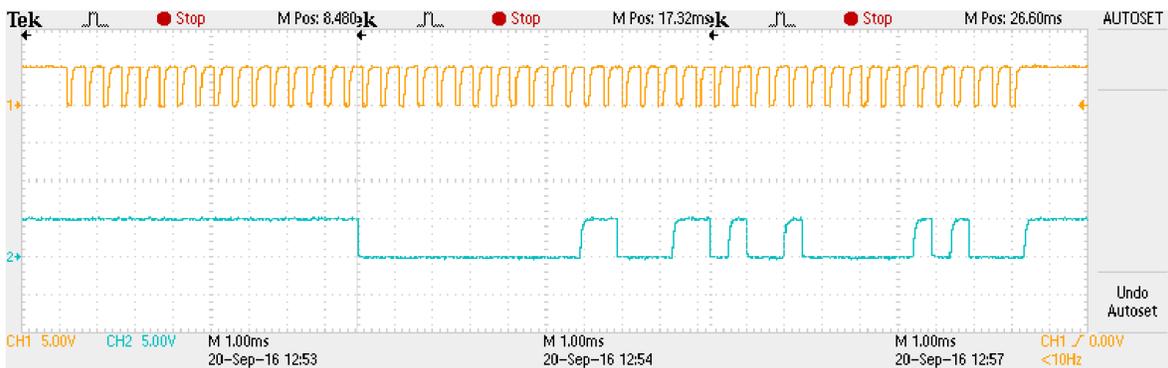


Figura 6.3 Stream de la señal Datos (naranja) y Reloj (celeste) Digimatic de una medición de 0.3690 pulgadas en un comparador de altura Mitutoyo

Para poder visualizar el valor de la medición realizada se acotó la figura anterior de acuerdo a las especificaciones estudiadas anteriormente. Los datos resultantes son enviados a través de 13 nibbles, donde cada uno de ellos se le invirtió el orden debido a que estos son enviados de LSB a MSB, por último, se le colocó el valor final correspondiente. En la **Figura 6.4** se puede observar lo comentado anteriormente.

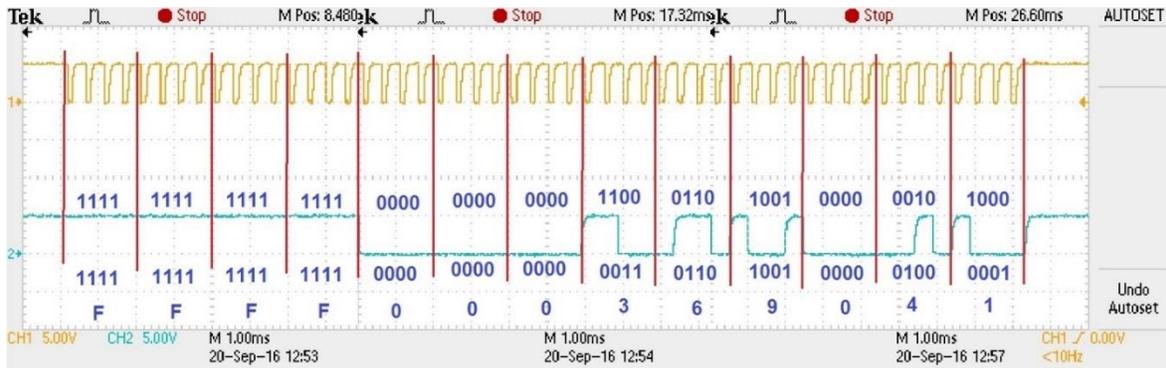


Figura 6.4 Decodificación del Stream de la señal Datos Digimatic de una medición de 0.3690 pulgadas en un comparador de altura Mitutoyo

El resultado de decodificar manualmente la información proveniente se resume en la **Tabla 6.1**, además se coloca la fotografía de la medición correspondiente del indicador de altura en la **Figura 6.5**.

Tabla 6.1 Resultado de la decodificación de un dato Digimatic de una medición correspondiente a 0.3690 pulgadas

No. Dígito	Nombre	Valor leído	Resultado
1	Tipo de dato	F	Dato normal
2	Número de entrada	F	Debe ser todo en F, cuando es lectura
3		F	
4		F	
5		0	
6	Valor medido	0	003690
7		0	
8		3	
9		6	
10		9	
11		0	
12	Posición decimal	4	00.3690
13	Unidad	1	0.3690 inch



Figura 6.5 Medición de una muestra en el Indicador de altura Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic

El estudio experimental del comportamiento de la salida Digimatic permitió corroborar la forma en como los datos del instrumento Indicador de Altura Mitutoyo son enviados a través de tiempo. Esto permitió dar las bases de requerimiento de diseño de la interfaz implementada con el Pro Trinket 5V.

6.2 Adquisición de Datos

La implementación de la adquisición correspondiente a cada instrumento se realizó por separado, pero en la misma aplicación de LabVIEW. A partir de ello se realizó un menú principal encargado de brindar la opción de escoger con cuál instrumento se está trabajando realizar las diferentes operaciones que se desee, la interfaz gráfica del menú principal se muestra en la **Figura 6.6**. Al presionar cualquiera de los botones del menú principal se accederá al respectivo submenú de cada instrumento de medición. La implementación del menú principal permite que se pueda acceder a una visualización, análisis y almacenamiento de datos de todos los instrumentos dispuestos desde un mismo lugar, permitiendo al personal un mayor orden y una herramienta de fácil uso.



Figura 6.6 Menú principal de la aplicación de LabVIEW diseñada

Para realizar la adquisición de los datos provenientes del instrumento calibrador y del comparador de altura se diseñó una ventana emergente con 5 casillas que permitan el ingreso de cada muestra.

Una vez conectado el convertidor comercial USB Input Tool en la computadora, el resultado de medición será escrito en la casilla deseada, se recuerda que el funcionamiento de la salida USB de la interfaz comercial simula un teclado. Entonces al presionar el botón pulsado, la interfaz se encarga de escribir el valor donde se encuentre el puntero y al final simular el “ENTER” de un teclado. En la **Figura 6.7**, se presenta el momento en que aparece la ventana emergente al presionar el botón “Tomar Datos”.

El diseño de la adquisición de estos datos tomados manualmente permite evitar procesos de escritura manual, en donde por consecuencia se disminuyen los errores de escritura a un 0% y se disminuye el tiempo destinado al control de calidad de los productos manufacturados.



Figura 6.7 Ventana Emergente para la entrada de datos del calibrador Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic

De igual manera el prototipo de conversión Digimatic-USB implementado con una placa “Pro Trinket 5V” realizó un envío óptimo de información 100% correcta. Al presionar el botón pulsador se realiza una petición de dato al instrumento e inmediatamente el micro controlador realiza la lectura y decodificación de los pines encargados de recibir la información proveniente del equipo de medición. Al finalizar esto envía el dato a través de un puerto USB que también simula un teclado HID (Human Interface Device).

A diferencia de la interfaz comercial, al finalizar la escritura realiza un “TAB” para realizar un salto de casilla. En la **Figura 6.8**, se puede observar el prototipo implementado.

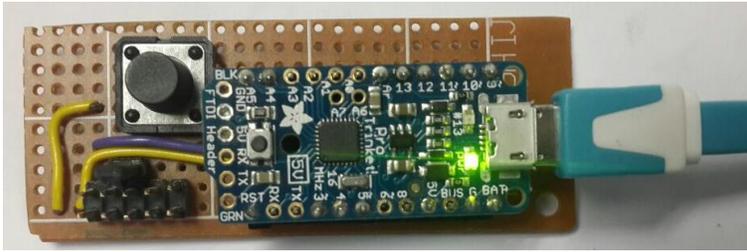


Figura 6.8 Prototipo de conversión Digimatic-USB implementado en un Pro Trinket 5V

Como parte del proyecto se propuso realizar este prototipo de convertidor Digimatic-USB, a causa del costo elevado de la interfaz comercial para cada instrumento Digimatic, que ronda aproximadamente los \$197, gracias a una cotización realizada a soporte técnico de Mitutoyo, mientras que el “Pro Trinket 5V” alcanza el valor de \$9.95.

Además, el uso del convertidor diseñado permite que se pueda personalizar dependiendo de las necesidades, ya sea escalando el valor medido, conversión de unidades, incluir una tabulación, entre otros.

Para el ingreso de los datos provenientes del multímetro Keithley 2700 o el SourceMeter Keithley 2400, aparece una ventana encargada de realizar la medición remotamente. Al presionar un botón dispuesto, se escribe una secuencia de comandos SCPI que caracterizan el tipo de dato que se desea medir en el multímetro. La **Figura 6.9** brinda un ejemplo de medición de una resistencia de 10kΩ. El protocolo de comunicación implementado para la comunicación fue el IEEE-488. Se logró una adquisición del 100% de las diferentes mediciones remotas en el multímetro y el SourceMeter.

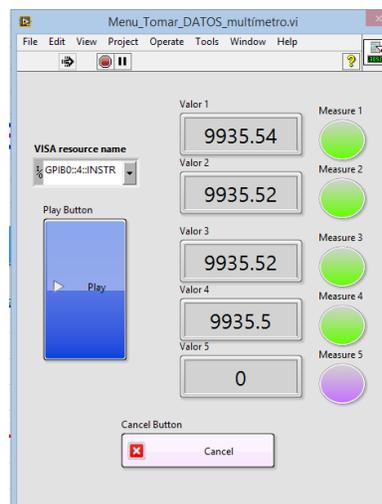


Figura 6.9 Interfaz gráfica de medición remota del multímetro Keithley 2700 a través de la interfaz de comunicación IEEE-488

El hecho de poder realizar la medición remotamente del multímetro, permite ahorrar el tiempo de escritura y digitalización de los datos. En la aplicación desarrollada, con tan solo presionar el botón correspondiente se realizan ambos pasos automáticamente.

La comunicación entre la aplicación de LabVIEW y el sensor de detección láser de barrera se realizó mediante comunicación serial RS-232, donde se le enviaban comandos específicos de lectura y éste respondía la información deseada. Se utilizó una velocidad de transmisión de 9600 baudios, 8 bits de datos, 1 bit de parada y no uso paridad. Gracias a ello se logró una adquisición del 100% de los datos deseados mediante este método de comunicación.

De igual manera se utilizó un DAQ (Device Acquisition) de la marca LabJack para tomar la lectura analógica, digitalizarla y enviarla a la aplicación de LabVIEW, para ofrecer una forma opcional de adquisición de datos.

En el programa implementado al presionar un botón realizaba dichas solicitudes de datos y las visualizaba en pantalla. La interfaz gráfica de la adquisición de datos proveniente del sensor de detección láser de barrera se expone en la **Figura 6.10**, en donde en la gráfica superior se visualiza el valor de la lectura analógica, solicitando la información mediante RS-232 y utilizando el ADC del DAQ. Mientras que en la gráfica inferior se muestra la altura del componente medido a través de la comunicación serial.



Figura 6.10 Interfaz gráfica de medición remota del sensor de detección láser de barrera Keyence IB-Series a través de comunicación serial RS-232 y un DAQ LabJack

6.3 Visualización y análisis de los datos

La visualización de los datos y su análisis se realizó de manera conjunta, en donde cada valor que era adquirido se mostraban en pantalla y se graficaba su promedio y rango. En la **Figura 6.11** se puede comparar las Gráficas de Control X-R (Promedio-Rango) realizadas a mano vs las Gráficas de Control implementadas en LabVIEW.

La implementación de la automatización de las gráficas de control permite una mejor visualización de las muestras medidas. También facilita la labor de los cálculos de promedio y rango realizados manuales, además de la inclusión de los valores resultantes en las respectivas gráficas.

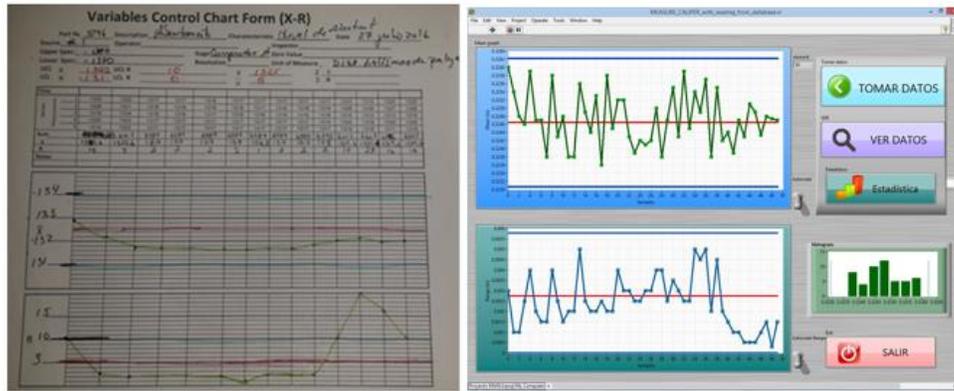


Figura 6.11 Comparación de gráficas de control X-R manuales e implementadas en la aplicación de LabVIEW

En el respectivo menú de cada instrumento se implementó la opción de “VER DATOS” el cual permite ver detalladamente la información de las gráficas de control al presionar cualquier punto de la gráfica, tal y como se observa a continuación:



Figura 6.12 Interfaz gráfica que permite ver detalladamente cada punto de las gráficas de promedio y rango

También se incluyó la opción de realizar un análisis estadístico más profundo, al presionar el botón “ESTADÍSTICA”, este me da la opción de acceder a más herramientas de la Estadística de Control de Procesos (SPC).

La interfaz de ESTADÍSTICA, ejemplificada en la **Figura 6.13**, muestra los puntos fuera de los límites de control de las gráficas de promedio y rango, además visualiza los resultados de un estudio de capacidad que caracteriza el proceso productivo a través de diversos índices (C_p , C_{pk} , Process Mean) y se realiza un histograma de frecuencias con su respectiva gráfica de función de distribución de probabilidad normal.

La inclusión de las diferentes herramientas de Control de Procesos Estadísticos, brinda una facilidad a los ingenieros de producción y manufactura de la empresa a visualizar el comportamiento actual del proceso de producción.

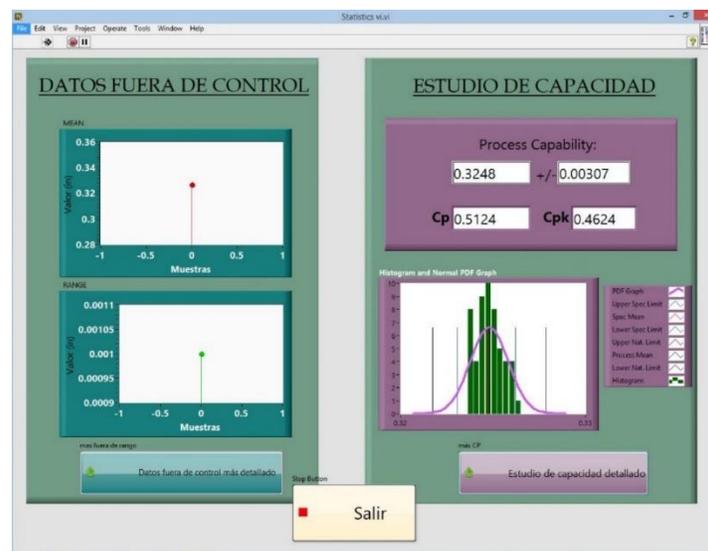


Figura 6.13 Herramientas de Control Estadístico del Proceso: Puntos fuera de control y estudio de capacidad

6.4 Almacenamiento en Base de Datos

Se logró realizar un almacenamiento de los datos adquiridos de hasta el 100%, en donde todo valor medido remotamente fue posible guardarlo en una base de datos.

La base de datos contiene 4 tablas que son las encargadas de almacenar la información, cada tabla corresponde a un instrumento de medición. El programa utilizado como Sistema Gestor de Base de Datos fue Microsoft Access y el método de acceso utilizado fue el ODBC (Open Data Base Connection).

Se logró posible realizar la lectura de la base de datos desde la aplicación de LabVIEW y de esta forma actualizar la información con la que se desea trabajar y analizar. La aplicación de LabVIEW se encarga de realizar la conexión y comunicación entre el programa y la base de datos. La siguiente figura corresponde a la base de datos diseñada en Microsoft Access con sus respectivas tablas.

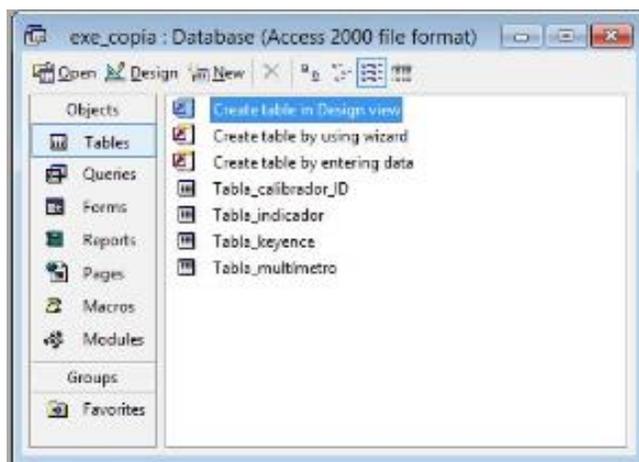


Figura 6.14 Base de Datos implementada para el almacenamiento y lectura de diferentes variables proveniente de instrumentos de medición

El almacenamiento de datos automáticamente brinda un mayor orden de la información se desea guardar, además permite excluir el uso del papel y generar menores costos en los procesos de control de calidad.

6.5 Análisis económico

La implementación del proyecto brindaría beneficios económicos para la empresa debido a la adquisición de datos remota, sustitución de las diferentes gráficas de control y estudios de capacidad realizados manualmente. Para ello se desarrolló un breve análisis económico de los diferentes costos que se podrían ahorrar en caso de una implementación del 100% de los procesos que lo requieran.

En la **Tabla 6.2** se presentan los diferentes costos del proceso actual de toma de datos, gráficas de control, estudios de capacidad y los costos al implementar el proyecto de adquisición, análisis estadísticos y almacenamiento realizado.

El tiempo del proceso de inserción de datos en las gráficas de control le toma a los encargados aproximadamente 5 minutos, mientras realizan 5 mediciones, anotan los datos, calculan el promedio y rango y colocan los respectivos puntos en las gráficas. En cambio este proceso mediante la solución presentada tarda tan solo 30 segundos, esto por el tiempo que toma colocar cada pieza en el instrumento y presionar el botón en pantalla.

Se elimina el costo que brinda el almacenamiento de las gráficas de control en papel, al igual que el generado por el desarrollo del estudio de capacidad de los diferentes datos, debido a que la aplicación en LabVIEW realiza este proceso inmediatamente.

El costo de consulta y análisis de los diferentes estudios de capacidad no se ve disminuido por la solución realizada, pero si brinda una herramienta bastante útil para la diferente toma de decisiones de las personas encargadas de realizar el análisis de los resultados obtenidos por las diferentes herramientas de control estadístico del proceso implementadas en el proyecto.

El costo anual del desarrollo de los procesos de adquisición de datos manual, gráficas de control, digitalización de datos y los estudios de capacidad ronda los \$15,670,200.00 anuales, mientras que el costo del desarrollo de estos procesos mediante la solución planteada sería de \$2,058,000.00. La implementación del proyecto aportaría un ahorro económico donde los costos anuales de todos los procesos mencionados se disminuirían en un 86.87%.

Tabla 6.2 Comparación de costos del proceso actual vs la solución propuesta

Detalle	Proceso Actual	Solución Propuesta
Costo del proceso de gráficas de control		
Cantidad de gráficas	98	98
Tiempo por proceso	$\frac{5}{60}$ horas	$\frac{0.5}{60}$ horas
Proceso por día	3	3
Días por semana	6	6
Semanas por año	50	50
Tiempo por año / gráfica de control	75 horas	7.5 horas
Tiempo por año de 98 gráficas	7,350 horas	735 horas
Costo por hora	₡ 2,000	₡ 2,000
Costo anual	₡14,700,000	₡ 1,470,000
Costo hojas de gráficas de control		
Gráficas de control	98	98
Hojas por año	3	0
Costo hojas	₡ 50.00	₡ 0
Costo anual	₡ 14,700.00	₡ 0
Costo del proceso de estudio de capacidad		
Cantidad de estudios de capacidad	98	98
Tiempo de procesamiento	0.5	0
Procesos por año	3	3
Tiempo por año / estudio de capacidad	1.50	0
Tiempo por año de 98 estudios de capacidad	147.00	0
Costo por hora	₡ 2,500.00	₡ 0
Costo anual	₡ 367,500.00	₡ 0
Costo de consulta y análisis de estudios de capacidad		
Cantidad de estudios de capacidad	98	98
Tiempo proceso y consulta	0.5	0.5
Consulta y análisis por año (Búsqueda y proceso)	2	2
Costo por hora	₡ 6,000.00	₡ 6,000.00
Costo anual	₡ 588,000.00	₡ 588,000.00
Costo total	₡ 15,670,200.00	₡ 2,058,000.00

Capítulo 7: Conclusiones

1. Se desarrolló una aplicación de LabVIEW de un sistema de adquisición y almacenamiento de datos provenientes de diversos equipos de medición de variables físicas y eléctricas, para poder realizar una monitorización y análisis de esta información.
2. Se logró adquirir en la aplicación de LabVIEW la información resultante de las mediciones de largo, ancho, diámetro, altura y desnivel de diferentes partes de componentes electrónicos como el potenciómetro. Esto mediante una interfaz de comunicación entre la computadora y el calibrador e Indicador Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic.
3. El estudio experimental de la salida de datos Digimatic permitió comprobar el formato y funcionamiento teórico de este tipo de salida utilizada usualmente para instrumentos de medición de variables físicas de componentes mecánicos o electrónicos.
4. Se realizó el diseño de un prototipo de conversión Digimatic-USB, utilizando la placa de desarrollo Pro Trinket 5V, la cual cumple con la labor de convertir la información proveniente de las salidas de instrumentos Digimatic a una salida estándar como lo es USB.
5. Se logró realizar una comunicación bidireccional entre el multímetro Keithley 2700, el SourceMeter Keithley 2400 y una computadora, mediante el protocolo IEEE-488 y sus comandos SCPI. Fue posible controlar remotamente los multímetros para realizar diferentes mediciones deseadas.
6. Mediante la comunicación serial RS-232 fue posible controlar y configurar remotamente el sensor de detección láser de barrera. Se realizaron mediciones de

porcentaje y distancia de la barrera del láser obstruida para la medición de altura de diferentes componentes electrónicos.

7. Se logró automatizar el proceso de escritura de datos realizado manualmente por un operario de la fábrica encargado de realizar las mediciones. Disminuyendo hasta una 0% la posibilidad de error de escritura y adquisición de datos mediante GPIB, RS-232 y USB.
8. Se automatizó el proceso de construcción de las diferentes Gráficas de Control que realizan manualmente los operarios encargados. Además, la aplicación de LabVIEW desarrollada permite acceder a los detalles de cada punto de la gráfica de control deseada.
9. Herramientas de Control Estadístico del Proceso, como gráficas de control y estudios de capacidad fueron implementadas en la aplicación de LabVIEW para lograr realizar un análisis inmediato de la información de cada equipo de medición individualmente.
10. Se logró realizar un almacenamiento de información en una base de datos implementada en Microsoft Access. Fue posible realizar la escritura y lectura en la base de datos para la información pertinente a cada instrumento de medición.

Capítulo 8: Recomendaciones

1. Para lograr la adquisición de datos remota de los instrumentos calibrador y comparador de altura, se recomienda desarrollar una interfaz que permita una comunicación directa entre el computador y los equipos de medición, en donde mediante un botón en la aplicación de LabVIEW se realice la petición del dato y no en un botón pulsador físico.
2. Debido a la amplia gama de métodos de comunicación que brinda LabVIEW, se recomienda realizar la automatización de adquisición de datos de muchos más instrumentos de medición que brinden algún tipo de salida de datos.
3. Incluir más métodos estadísticos y probabilísticos que faciliten el proceso de control de calidad, también se recomienda aprovechar las diferentes herramientas que brinda el “Datalogging and Supervisory Control” (DSC) de LabVIEW para el Control Estadístico del Proceso (SPC).
4. Por último, se recomienda implementar el prototipo del convertidor Digimatic-SPC en una placa PCB y guardarlo en un “case” para una mayor facilidad de uso.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bourns, Inc., «Global Locations,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.bourns.com/support/about-us/global-locations>. [Último acceso: Junio 2016].
- [2] Bourns, Inc., «Markets Served,» [En línea]. Available: <http://www.bourns.com/markets>. [Último acceso: Junio 2016].
- [3] Keithley Instruments, Inc., Model 2700 Multimeter/Switch System User's Manual, vol. Rev. F, Cleveland, Ohio, 2002.
- [4] Keithley Instruments, Inc., Model 2400 Series SourceMeter, vol. Rev. G, Cleveland, Ohio, 2002.
- [5] Mitutoyo, «ABSOLUTE Digimatic Indicator ID-S,» [En línea]. Available: <http://www.msi-viking.com/assets/images/downloads/productspecsheets/MitutoyoSpecSheets/543%20Series%20Absolute%20Digimatic%20Indicators-ID-S.pdf>. [Último acceso: Julio 2016].
- [6] F. Díaz, «Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM,» 2010. [En línea]. Available: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m2/METROLOGIA.pdf. [Último acceso: Agosto 2016].
- [7] Mitutoyo, «MSI Viking Gage Absolute Digimatic Caliper,» [En línea]. Available: <http://www.msi-viking.com/assets/images/downloads/productspecsheets/MitutoyoSpecSheets/NEW%20500%20Series%20Caliper-AOS.pdf>. [Último acceso: Julio 2016].
- [8] J. Lambert, R. Bleicher, S. Forsythe, S. Smith, B. Soden y A. Edwards, «Climate Science Investigations (CSI),» 14 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>. [Último acceso: Octubre 2016].
- [9] International Electrotechnical Commission, «Rockwell Laser Industries,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.rli.com/resources/articles/classification.aspx>. [Último acceso: Octubre 2016].
- [10] Keyence Corporation, «IB-10 Data Sheet,» [En línea]. Available: http://www.keyence.com/products/sensor/positioning/ib/models/ib-10/index.jsp?_ga=1.152164028.463530466.1467071297. [Último acceso: 20 Julio 2016].
- [11] Keyence Corporation, Thrubeam type Laser Detection Sensor IB Series User's Manual, vol. Rev. 5, Higashi, Nakajima, 2015.
- [12] Keyence Corporation, «IB-1500 Data Sheet,» [En línea]. Available: <http://www.keyence.com/products/sensor/positioning/ib/models/ib-1500/index.jsp>. [Último acceso: 20 Julio 2016].

- [13] Keithley Instruments, Inc, Two-Wire vs. Four-Wire Resistance Measurements: Which Configuration Makes Sense for Your Application?, Cleveland, Ohio, 2013.
- [14] National Instruments Corporation, «RS-232, RS-422, RS-485 Serial Communication General Concepts,» 29 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/11390/en/>. [Último acceso: Agosto 2016].
- [15] National Instruments Corporation, «Comunicación Serial: Conceptos Generales,» 6 Junio 2006. [En línea]. Available: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>. [Último acceso: Agosto 2016].
- [16] G. E. Gómez, «Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires,» March 2015. [En línea]. Available: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/RS232_V35.pdf. [Último acceso: Agosto 2016].
- [17] Mitutoyo, Measurement Data Input Unit (USB Input Tool Series), 24 Kallang Avenue, Singapore.
- [18] Mitutoyo, SPC USB Input Datasheet, United Kingdom, 2010.
- [19] Mitutoyo , «Design Specifications of Digimatic Data Output Interface,» [En línea]. Available: <http://www.labviewforum.de/attachment.php?aid=21297>. [Último acceso: July 2016].
- [20] Sparkfun Electronics , «Sparkfun: Pull-up Resistors,» [En línea]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pull-up-resistors>. [Último acceso: Septiembre 2016].
- [21] National Instruments Corporation, LabVIEW Core 1 Participant Guide, Austin, Texas, 2014.
- [22] National Instruments Corporation, «Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/labview/esa/>. [Último acceso: Julio 2016].
- [23] National Instruments Corporation, «NI Fundamentos del entorno de LabVIEW,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/environment>. [Último acceso: Julio 2016].
- [24] R. Carro Paz y D. González Gómez, Control Estadístico de Procesos, Buenos Aires, Argentina: EUDEM, 2012.
- [25] J. Alvarez Borrego, «Universidad Nacional Abierta y a Distancia - Control Estadístico de Procesos,» [En línea]. Available: <http://docplayer.es/5576381-Control-estadistico-de-procesos-dr-josue-alvarez-borrego.html>. [Último acceso: Septiembre 2016].
- [26] D. C. Montgomery y G. C. Runger, Applied Statistics and Probability for Engineers, vol. Third Edition, Arizona: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

- [27] R. Walpole, R. Myers y S. Myers, Probabilidad y estadística para ingenieros, vol. Sixth Edition, México: PRENTICE-HALL HISPONAMERICANA, S.A., 1999.
- [28] C. J. Date, Introducción a los sistemas de bases de datos, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2001.
- [29] H.-P. Halvorsen, Database Communication in LabVIEW, Porsgrunn, Norway, 2011.
- [30] National Instruments Corporation, «NI GPIB-USB-HS,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-264>. [Último acceso: Julio 2016].
- [31] National Instruments Corporation, «NI-VISA Overview,» 19 Febrero 2009. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/tutorial/3702/en/>. [Último acceso: Julio 2016].
- [32] Keyence Corporation, RS-232C Communication Unit DL-RS1A, Higashi, Nakajima, 2010.
- [33] C. Canto Quintal, El Puerto serie RS232, San Luis Potosí, México, 2016.
- [34] L. Fried, «Adafruit Introducing Pro Trinket,» 20 Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://learn.adafruit.com/introducing-pro-trinket/pinouts>. [Último acceso: Agosto 2016].

Apéndices

Apéndice A.1 Diagrama de bloques del código desarrollado en LabVIEW

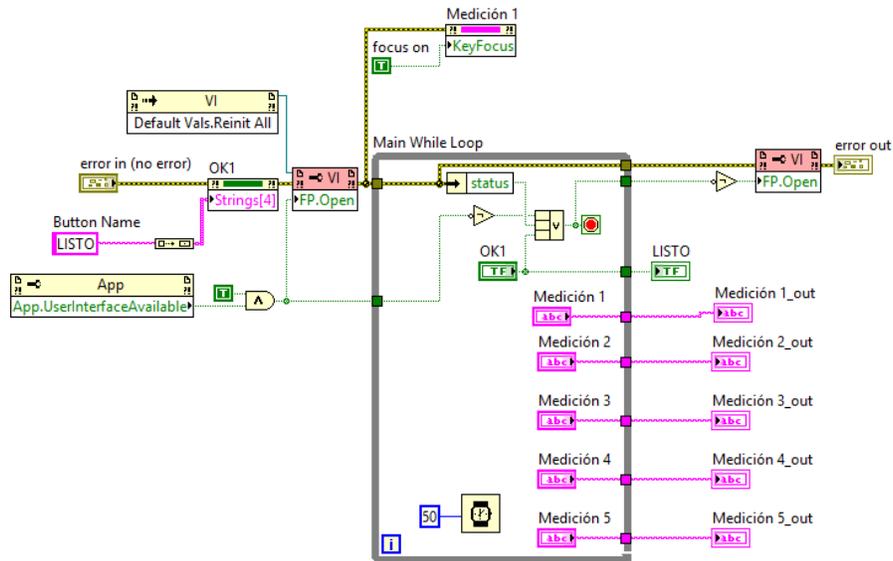


Figura A.1.1 Software implementado para la creación de la Ventana emergente para el ingreso de datos de los instrumentos Mitutoyo

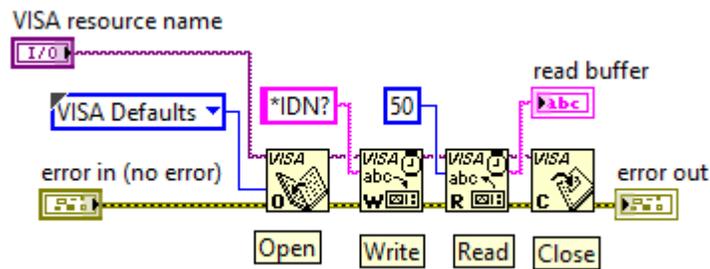


Figura A.1.2 Lectura de la información que proporciona el multímetro al enviar el comando “*IDN?”

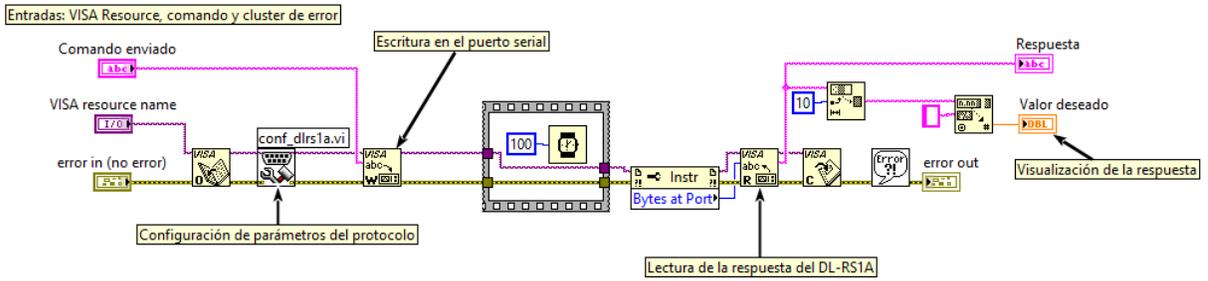


Figura A.1.5 Comunicación serial RS-232C entre el DL-RS1a y una PC en LabVIEW

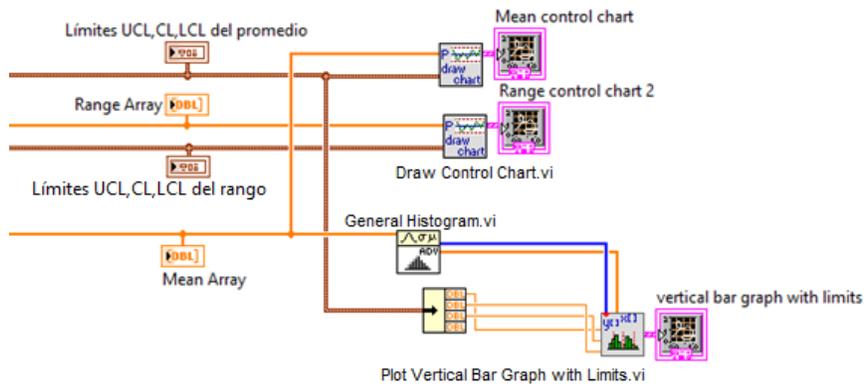


Figura A.1.6 Implementación de las gráficas de control en LabVIEW

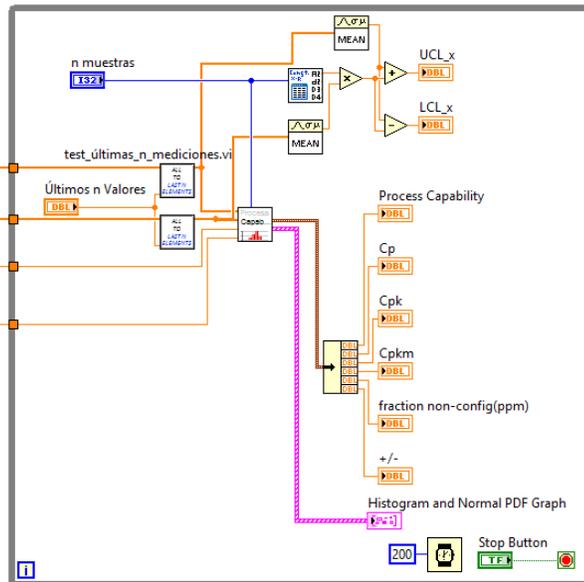


Figura A.1.7 Diseño de software encargado de brindar los diferentes índices del estudio de capacidad

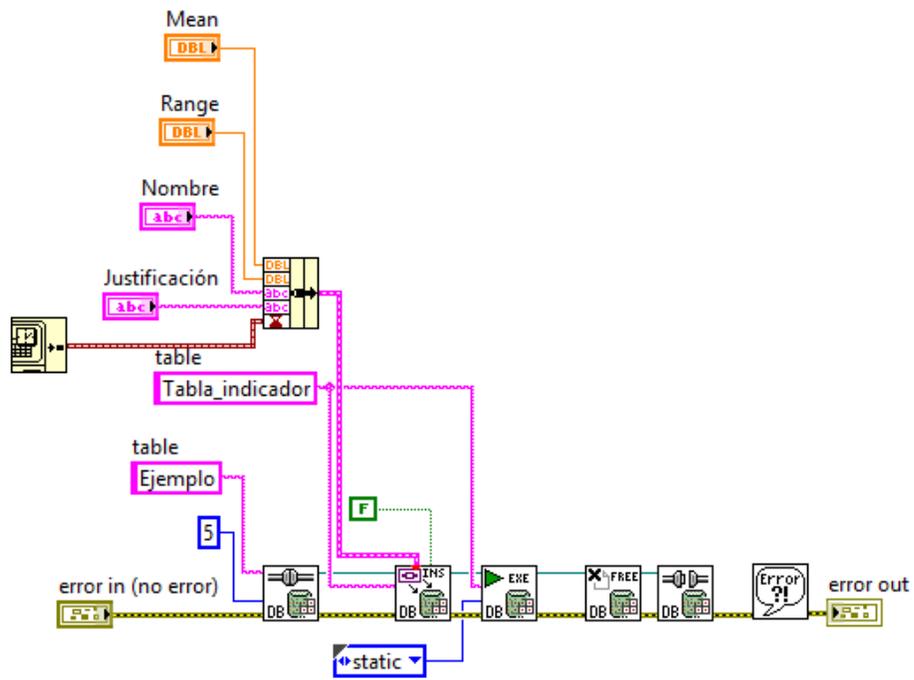


Figura A.1.8 Sub-VI encargado de almacenar 5 datos a la vez

Anexos

Anexo B.1 Contantes A_2 , d_2 , D_3 y D_4 de Gráficas de control X-R

Tabla B.1.1 Constantes A_2 , d_2 , D_3 , y D_4 utilizadas para la confección de las gráficas de control [26]

n	A_2	d_2	D_3	D_4
2	1.880	1.128	-	3.267
3	1.023	1.693	-	2.574
4	0.729	2.059	-	2.282
5	0.577	2.326	-	2.114
6	0.483	2.534	-	2.004
7	0.419	2.704	0.076	1.924
8	0.373	2.847	0.136	1.864
9	0.337	2.970	0.184	1.816
10	0.308	3.078	0.223	1.777
11	0.285	3.173	0.256	1.744
12	0.266	3.258	0.283	1.717
13	0.249	3.336	0.307	1.693
14	0.235	3.407	0.328	1.672
15	0.223	3.472	0.347	1.653
16	0.212	3.532	0.363	1.637
17	0.203	3.588	0.378	1.622
18	0.194	3.640	0.391	1.608
19	0.187	3.659	0.403	1.597
20	0.180	3.735	0.415	1.585
21	0.173	3.778	0.425	1.575
22	0.167	3.819	0.434	1.566
23	0.162	3.858	0.443	1.557
24	0.157	3.895	0.451	1.1548
25	0.153	3.931	0.459	1.541

Anexo B.2 Comandos SCPI para medición de señales

The signal oriented measurement commands are used to acquire readings. You can use these high level instructions to control the measurement process. These commands are summarized in Table 13-1.

NOTE When measurements are performed, the readings are fed to other enabled operations. Appendix D explains "Data flow (remote operation)" and provides additional information on using *FETCh?*, *READ?*, and *MEASure?* to acquire readings.

Table 13-1

Signal oriented measurement command summary

Command	Description
CONFigure:<function> [<rang>], [<res>], [<clist>]	Places the Model 2700 in a "one-shot" measurement mode for the specified function.
FETCh?	Requests the latest reading.
READ?	Performs an ABORT, INITiate, and a FETCh?.
MEASure[:<function>]? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Performs an ABORT, CONFigure:<function>, and a READ?. (See Note).
Channel list parameter: <clist> = (@SCH) where: S = Mainframe slot number (1 or 2) CH = Switching module channel number (must be 2 digits) Examples: (@101) = Slot 1, Channel 1 (@101, 203) = Slot 1, Channel 1 and Slot 2, Channel 3 (@101:110) = Slot 1, Channels 1 through 10	

Note: Only one channel can be specified in the <clist> for the MEASure? command.

NOTES The CONFigure:<function> and MEASure:<function>? commands can be sent without any of the optional parameters (<rang>, <res>, <clist>). For details, see the "Description" for the CONFigure and MEASure commands.

When using the <clist> parameter, it is interpreted as the last parameter. Any parameter after <clist> will generate error -102 (syntax error).

If only one parameter is used and it is not a <clist>, it is interpreted as the range parameter (<rang>).

If two parameters are used and the second one is not a <clist>, the first parameter is the range parameter (<rang>) and the second is the resolution parameter (<res>).

The CONFigure and MEASure? commands for the TEMPerature and CONTinuity functions do not use the <rang> and <res> parameters. The command is ignored and causes error -108 (parameter not allowed).

The CONFigure and MEASure? commands cannot be used while scanning. The command is ignored and causes error -221 (settings conflict).

Figura B.2.1 Resumen de orden de comandos de medición SCPI [3]

CONFigure:<function> [<rang>], [<res>], [<clist>]

CONFigure:VOLTage:DCI [<rang>], [<res>], [<clist>]	Configure DCV
CONFigure:VOLTage:AC [<rang>], [<res>], [<clist>]	Configure ACV
CONFigure:CURRent:DCI [<rang>], [<res>], [<clist>]	Configure DCI
CONFigure:CURRent:AC [<rang>], [<res>], [<clist>]	Configure ACI
CONFigure:RESistance [<rang>], [<res>], [<clist>]	Configure Ω2
CONFigure:FRESistance [<rang>], [<res>], [<clist>]	Configure Ω4
CONFigure:FREQuency [<rang>], [<res>], [<clist>]	Configure FREQ
CONFigure:PERiod [<rang>], [<res>], [<clist>]	Configure PERIOD
CONFigure:TEMPerature [<clist>]	Configure TEMP
CONFigure:CONTinuity [<clist>]	Configure CONT

Parameters <rang> = Range parameter for the specified function. For example, for DCV, range parameter value 10 selects the 10V range. See the "NOTES" that follow Table 13-1 for additional information.

<res> = 0.1	i.e., 100.0 V (3½ digits)
0.01	i.e., 10.00 V (3½ digits)
0.001	i.e., 1.000 V (3½ digits)
0.0001	i.e., 1.0000 V (4½ digits)
0.00001	i.e., 1.00000 V (5½ digits)
0.000001	i.e., 1.000000 V (6½ digits)

The resolution of the <res> parameter value and the selected range sets the number of display digits. As shown above, with the 100V range selected and <res> = 0.1, a 100V reading will be displayed as 100.0 V (3½ digits).

The display will default to 3½ digits when using parameter values that attempt to set the display below 3½ digits. For example, a 10V reading using <res> = 0.1 for the 10V range is displayed as 10.00 V, not 10.0 V.

A command using parameter values that attempt to set the display above 7½ digits is ignored, and generates error -221 (settings conflict error).

The <res> parameter is ignored when a <clist> is included in the command string. Resolution for the scanlist channel(s) is determined by the present setting for the specified function and by the present resolution setting for the specified function.

See the "NOTES" that follow Table 13-1 for additional information.

<clist> = Channel(s) in the scanlist to be configured. When the channel list parameter (<clist>) is included, the present instrument settings are not affected. Instead, the channel(s) in the <clist> for the specified function is configured. See the "NOTES" that follow Table 13-1 for additional information.

Figura B.2.2 Comandos SCPI de configuración para medición [3]

MEASure:<function>? [<rang>], [<res>], [<clist>]

MEASure:VOLTage[:DC]? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Measure DCV
MEASure:VOLTage:AC? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Measure ACV
MEASure:CURRent[:DC]? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Measure DCI
MEASure:CURRent:AC? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Measure ACI
MEASure:RESistance? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Measure Ω
MEASure:FRESistance? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Measure Ω ₄
MEASure:FREQuency? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Measure FREQ
MEASure:PERiod? [<rang>], [<res>], [<clist>]	Measure PERIOD
MEASure:TEMPerature? [<clist>]	Measure TEMP
MEASure:CONtinuity? [<clist>]	Measure CONT

Parameters <rang> = Range parameter for the specified function. For example, for DCV, range parameter value 10 selects the 10V range. See the "NOTES" that follow Table 13-1 for additional information.

<res> = 0.1	i.e., 100.0 V (3½ digits)
0.01	i.e., 10.00 V (3½ digits)
0.001	i.e., 1.000 V (3½ digits)
0.0001	i.e., 1.0000 V (4½ digits)
0.00001	i.e., 1.00000 V (5½ digits)
0.000001	i.e., 1.000000 V (6½ digits)

The resolution of the <res> parameter value and the selected range sets the number of display digits. As shown above, with the 100V range selected and <res> = 0.1, a 100V reading will be displayed as 100.0 V (3½ digits).

The display will default to 3½ digits when using parameter values that attempt to set the display below 3½ digits. For example, a 10V reading using <res> = 0.1 for the 10V range is displayed as 10.00 V, not 10.0 V.

A command using parameter values that attempt to set the display above 7½ digits is ignored, and generates error -221 (settings conflict error).

See the "NOTES" that follow Table 13-1 for additional information.

<clist> = Single channel only. When included, this is the channel to be closed and measured.

Description The MEASure? command combines all of the other signal oriented measurement commands to perform a "one-shot" measurement and acquire the reading. If the <clist> parameter is included, the specified channel will close before performing the measurement.

Figura B.2.3 Comandos SCPI para realizar mediciones [3]

Anexo B.3 Lista de Números de Datos para los comandos de lectura en DL-RS1A

Parameters of Commands and Responses

■ Data numbers

Specify the data number using three digits (ASCII characters).

● Read-only data

The following table lists the types of data that can be read from the IB Series sensor amplifiers.

 **Note** Writing read-only data results in a communication error (error number: 22).

Data No.	Data name	Data format ^{*1}	No. of bytes	Attribute ^{*2}	Data range
033	Error status ^{*3}	*****	5	R	0 to 65535
034	Warning status	*****	5	R	0: Check output OFF 1: Check output ON (When N.O.)
035	Warning function operating state	*****	5	R	0: Check output function disabled 1: Check output function enabled
036	Judgment output/Check output ^{*4}	**	2	R	0 to 15
037	Judgment value (P.V.) ^{*5}	±***.*** ^{*6}	7	R	-999.99 to +999.99
038	Internal measurement value (R.V.) ^{*5}	±***.*** ^{*6}	7	R	-999.99 to +999.99
039	Peak-hold value in hold mode ^{*5}	±***.*** ^{*6}	7	R	-999.99 to +999.99
040	Bottom-hold value in hold mode ^{*5}	±***.*** ^{*6}	7	R	-999.99 to +999.99
042	Analog output value	±*.*** or **.**	5 or 6	R	Analog voltage output: -5.000 to +5.000 ^{*7} Analog current output: 04.00-20.00 ^{*7}
043	Bank status	*	1	R	0 to 3
044	Timing status	*	1	R	0: Sampling 1: Not sampling
050	Laser emission stop status	*	1	R	0: Emitting 1: Emission stopped
051	Abnormal setting ^{*8}	*	1	R	0: Normal setting 1: Abnormal setting
052	External input status	**	2	R	0 to 15 ^{*9}
053	EEPROM writing result ^{*10}	*	1	R	0: Writing 1: Normal termination 2: Abnormal termination
054	Zero shift execution result ^{*11}	*	1	R	0: Executing 1: Normal termination 2: Execution impossible
055	Reset execution result	*	1	R	0: Executing 1: Normal termination 2: Execution impossible
056	System parameter current state ^{*11}	**	2	R	Main unit: 0 to 9 Expansion unit: 0 to 1
058	Reference light registration result	*	1	R	0: Executing 1: Normal termination 2: Reference light amount registration error 1 (insufficient light amount error) 3: Reference light amount registration error 2 (ambient light error)
059	Adjust result	*	1	R	0: Executing 1: Normal termination 2: Adjust error 1 (insufficient light amount error) 3: Adjust error 2 (ambient light error) 4: Adjust error 3 (excessive light amount error)
060	Tuning result	*	1	R	0: Executing 1: Normal termination 2: Execution impossible

Figura B.3.1 Números de Datos más comunes para los comandos de lectura del DL-RS1A [32]