

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Mecatrónica




**Diseño de un sistema centralizado para mediciones ambientales  
de un laboratorio metrológico**

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de  
Ingeniero/a en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Andrew Eliecer Vargas Puffenberger

Cartago, 7 de agosto de 2025

 **CC BY-SA 4.0**

**Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International**

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

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

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

Cartago, 7 de agosto del 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Andrew', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Firma del autor  
Andrew Eliecer Vargas Puffenberger  
Céd: 118250520

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

El profesor asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica para ser defendido ante el jurado evaluador, como requisito final para aprobar el curso Proyecto Final de Graduación y optar así por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura.

Estudiante: Andrew Eliecer Vargas Puffenberger

Proyecto: Diseño de un sistema centralizado para mediciones ambientales de un laboratorio metrológico



---

Ing. Ana Maria Murillo Morgan

Asesor

Cartago, 7 de agosto del 2025

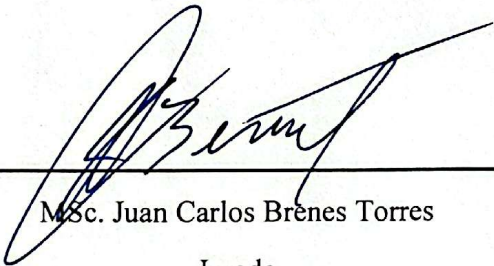
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN  
ACTA DE APROBACIÓN**

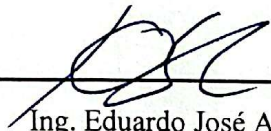
Proyecto final de graduación defendido ante el presente jurado evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, según lo establecido por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Andrew Eliecer Vargas Puffenberger

Proyecto: Diseño de un sistema centralizado para mediciones ambientales de un laboratorio metrológico

Miembros del jurado evaluador

  
MSc. Juan Carlos Brénes Torres  
Jurado

  
Ing. Eduardo José Asenjo Castillo  
Jurado

Los miembros de este jurado dan fe de que el presente proyecto final de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 7 de agosto del 2025

# Resumen

En este proyecto se realizó el diseño y evaluación de un sistema centralizado para la medición de variables ambientales en un laboratorio metrológico. Analizando la problemática presente en sistemas manuales de recopilación de datos sensoriales en laboratorios, se diseñaron sistemas de comunicación, almacenamiento, y visualización de datos en tiempo real, para poder reducir el impacto de este requerimiento en los horarios laborales de los operarios.

Para el proyecto se siguió una metodología de diseño eficiente y adaptable, centrada en procesos iterativos. Se investigaron ejemplos previos y temas relevantes para poder entender completamente la problemática y el diseño propuesto. Por último se verificó el funcionamiento correcto y eficiente del diseño propuesto, mediante la implementación en el laboratorio físico del sistema.

**Palabras clave:** Mediciones ambientales, IoT, comunicación serial y Modbus, Labview, Power automate, Power BI.

# Abstract

In this project, the design and evaluation of a centralized system for ambient measurements in a metrological laboratory was realized. After analyzing the problems present in manual systems of sensor data recopilation in laboratories, systems of communications, storage, and visualization were designed to reduce the impact these requirements would have on the working hours of operators.

For the project, an efficient and adaptable design metodólogy, centered on iteration, was used. Previous examples, and relevant themes, were investigated to understand completely the main problem, and the design that was proposed . Lastly, the correct and efficient functioning of the design was verified via the implementation of the system in the physical library.

**Keywords:** Ambient measurements, IoT, Serial and Modbus comunication, Labview, Power automate, Power BI.

## *dedicatoria*

Dedico este proyecto a mi familia, mis amigos cercanos, y los compañeros y profesionales que me acompañaron durante la resolución de este proyecto. Su apoyo durante estas semanas fue lo único que me mantuvo avanzando cuando mi motivación propia no podía dar más. Espero siempre poder contar con gente tan increíble como ustedes.

# Agradecimientos

Quiero agradecer:

A mis padres, por siempre apoyarme y darme un modelo a seguir en todos los aspectos de mi vida.

A mis amigos cercanos de DASA, por ser mi compañía de vida, siempre estando ahí para cualquier idea loca que tengamos.

A los profesores que me acompañaron durante este proyecto, Roger meléndez y Ana murillo, por ser mi guías en el laboratorio de metrología y en este proceso de trabajo final de graduación.

A los compañeros del laboratorio del ICE, que me aceptaron en su espacio laboral durante estas semanas.

A mis compañeros de la U, cuya compañía transformó completamente mi experiencia de la universidad a una de crecimiento grupal.

To my brother, who will always be the pillar of my imagination and creativity, there is nothing we can't achieve together.

Andrew Eliecer Vargas Puffenberger

Cartago, 7 de agosto de 2025

# Índice general

Índice de figuras . . . . .	iii
Índice de tablas . . . . .	v
<b>Lista de símbolos y abreviaciones</b>	<b>vi</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto . . . . .	1
1.2 Detalles del Problema . . . . .	1
1.3 Síntesis del problema . . . . .	2
1.4 Objetivos y estructura del documento . . . . .	2
1.4.1 Objetivo General . . . . .	2
1.4.2 Objetivos Específicos . . . . .	2
1.4.3 Estructura del documento . . . . .	3
<b>2 Marco Teórico</b>	<b>4</b>
2.1 Sensores ambientales . . . . .	4
2.1.1 Vaisala . . . . .	4
2.1.2 Veriteq . . . . .	5
2.1.3 Fluke . . . . .	7
2.1.4 PM500 . . . . .	8
2.2 Comunicación serial . . . . .	9
2.2.1 Modbus . . . . .	9
2.2.2 Conexión RS232 y RS485 . . . . .	9
2.3 Labview . . . . .	10
2.4 Internet of Things . . . . .	10
2.4.1 Sharepoint . . . . .	11
2.4.2 Power Automate . . . . .	11
2.4.3 Power BI . . . . .	11
2.5 Normativas . . . . .	12
2.5.1 INTE ISO/IEC 17025:2005 . . . . .	12
<b>3 Metodología</b>	<b>13</b>
3.1 Definición de la metodología . . . . .	13
3.1.1 Fase 0: Planteamiento del Problema . . . . .	13
3.1.2 Fase 1: Determinación de las necesidades . . . . .	13

3.1.3	Fase 2: Especificaciones . . . . .	14
3.1.4	Fase 3: Conceptualización del diseño . . . . .	14
3.1.5	Fase 4: Selección de Conceptos . . . . .	14
3.1.6	Fase 5: evaluación de conceptos . . . . .	15
3.2	Implementación de la metodología . . . . .	15
3.2.1	Fase 1: Determinación de las Necesidades . . . . .	15
3.2.2	Fase 2: Especificaciones . . . . .	20
3.2.3	Fase 3: Conceptualización del diseño . . . . .	22
3.2.4	Fase 4: Selección de Conceptos . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Sistema de Medición y visualización de variables ambientales</b>	<b>30</b>
4.1	Medición de variables ambientales . . . . .	30
4.1.1	Comunicación sensores-Computadora . . . . .	30
4.1.2	Programa Labview . . . . .	32
4.2	Comunicación local-nube . . . . .	41
4.2.1	One drive . . . . .	42
4.2.2	Power Automate . . . . .	42
4.2.3	Power BI . . . . .	44
4.2.4	Sharepoint lists . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Resultados y Análisis</b>	<b>49</b>
5.1	Evaluaciones y Pruebas de Concepto . . . . .	49
5.1.1	Variables de muestra y factores de influencia . . . . .	49
5.1.2	Definición de Pruebas realizadas . . . . .	49
5.2	Resultados . . . . .	51
5.2.1	Prueba 1. Frecuencia de medición . . . . .	51
5.2.2	Prueba 2 . . . . .	54
5.2.3	Prueba 3 . . . . .	56
5.2.4	Prueba 4 . . . . .	57
5.3	Validaciones Adicionales . . . . .	57
5.3.1	Accesos remotos del Sharepoint . . . . .	58
5.3.2	Validaciones Visuales . . . . .	60
5.4	Análisis económico . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>62</b>
6.1	Conclusiones . . . . .	62
6.2	Recomendaciones . . . . .	62
<b>A</b>	<b>Código de labview</b>	<b>66</b>
<b>B</b>	<b>Resultados validaciones</b>	<b>78</b>
B.1	prueba 1 y 2 . . . . .	78

# Índice de figuras

2.1	Sensor Vaisala. . . . .	5
2.2	Sensor Veriteq. . . . .	6
2.3	Sensor Fluke. . . . .	7
2.4	Sensor PM500. . . . .	8
3.1	Salidas y entradas del sistema funcional.[Elaboración propia] . . . . .	22
3.2	Descomposición completa en sub-problemas.[Elaboración propia] . . . . .	23
4.1	Ejemplo panel principal Labview. [Elaboración Propia] . . . . .	33
4.2	Ejemplo archivo de configuración [Elaboración Propia] . . . . .	35
4.3	Panel de configuración de un sensor [Elaboración Propia] . . . . .	36
4.4	Ejemplo Selección de Sensor en el código [Elaboración Propia] . . . . .	37
4.5	Código Lectura fluke [Elaboración Propia] . . . . .	38
4.6	Ejemplo salida txt de sensores. [Elaboración Propia] . . . . .	39
4.7	Ejemplo gráfica LabView [Elaboración Propia] . . . . .	40
4.8	Diagrama conexiones local-nube [Elaboración Propia] . . . . .	41
4.9	Ejemplo carpeta onedrive de un sensor. [Elaboración Propia] . . . . .	42
4.10	Flujos de power automate activos actualmente. [Elaboración Propia] . . . . .	43
4.11	Carpeta datos sharepoint. [Elaboración Propia] . . . . .	43
4.12	Carpeta historial de datos en sharepoint. [Elaboración Propia] . . . . .	44
4.13	Página de sharepoint con reporte de Power BI. [Elaboración Propia] . . . . .	45
4.14	Página de Dashboard Power BI [Elaboración Propia] . . . . .	46
4.15	Página de Temperatura y humedad Power BI [Elaboración Propia] . . . . .	46
4.16	Página de tensión de línea Power BI [Elaboración Propia] . . . . .	47
4.17	Página de Presión atmosférica Power BI [Elaboración Propia] . . . . .	47
4.18	Ejemplo de lista en sharepoint con datos del sensor. [Elaboración Propia] . . . . .	48
5.1	Tiempo entre mediciones del sensor Fluke con valor nominal 15 segundos [Elaboración Propia] . . . . .	52
5.2	Tiempo entre mediciones del sensor PM500 con valor nominal 15 segundos [Elaboración Propia] . . . . .	52
5.3	Tiempo entre mediciones del sensor PM500 con valor nominal 60 segundos [Elaboración Propia] . . . . .	53
5.4	Tiempo entre mediciones del sensor Fluke con valor nominal 60 segundos [Elaboración Propia] . . . . .	53

5.5	Tiempo entre mediciones del sensor Veriteq con valor nominal 5 segundos [Elaboración Propia] . . . . .	54
5.6	Tensión de Línea medida por PM500 MF [Elaboración Propia] . . . . .	55
5.7	Temperatura medida por el sensor Fluke[Elaboración Propia] . . . . .	55
5.8	Humedad medida por el sensor Fluke[Elaboración Propia] . . . . .	56
5.9	Cantidad de mediciones con Timestamps iguales en visualización del PM500	56
5.10	Cantidad de mediciones con Timestamps iguales en visualización del Vaisala[Elaboración Propia] . . . . .	57
5.11	Conexión remota Plantel Colima [Elaboración Propia] . . . . .	59
5.12	Conexión remota San Sebastián [Elaboración Propia] . . . . .	59
A.1	Codigo principal: Inicializaciones y Configuración . . . . .	66
A.2	Codigo principal: sistemas recurrentes . . . . .	67
A.3	Codigo principal: Lectura sensor caso PM500 . . . . .	67
A.4	Codigo principal: Lectura sensor caso Vaisala . . . . .	68
A.5	Codigo principal: Lectura sensor caso Veriteq . . . . .	69
A.6	Codigo principal: Lectura sensor caso Fluke . . . . .	70
A.7	Escribir Configuración parte 1 . . . . .	70
A.8	Escribir Configuración Parte 2 . . . . .	71
A.9	Aplicar correcciones . . . . .	71
A.10	Verificar Valores . . . . .	72
A.11	Crear Gráficas . . . . .	72
A.12	Escritura Archivo parte 1 . . . . .	73
A.13	Escritura archivo parte 2 . . . . .	73
A.14	Fluke main . . . . .	74
A.15	Vaisala Main . . . . .	74
A.16	Veriteq Main . . . . .	75
A.17	PM500 Main . . . . .	75
A.18	Lectura fluke . . . . .	76
A.19	Lectura Vaisala . . . . .	76
A.20	Lectura Veriteq . . . . .	76
A.21	Lectura PM500 . . . . .	77

# Índice de tablas

2.1	Datos técnicos sensor Vaisala PTU300 [Elaboración Propia] . . . . .	5
2.2	Datos técnicos sensor Veriteq SP-2000 [Elaboración Propia] . . . . .	7
2.3	Datos técnicos sensor fluke 1620 [Elaboración Propia] . . . . .	7
2.4	Datos técnicos sensor PM500 [Elaboración Propia] . . . . .	8
3.1	Necesidades encontradas durante la fase 0 [Elaboración Propia] . . . . .	16
3.2	Jerarquización de Necesidades [Elaboración Propia] . . . . .	18
3.3	Importancia relativa de cada necesidad [Elaboración propia] . . . . .	19
3.4	Métricas Identificadas [Elaboración propia] . . . . .	20
3.5	Valores Objetivo Elegidos [Elaboración propia] . . . . .	21
3.6	Busqueda de conceptos Sistema de conexión entre sensores y computadora local [Elaboración propia] . . . . .	23
3.7	Busqueda de conceptos Base de datos local [Elaboración propia] . . . . .	24
3.8	Busqueda de conceptos Visualización local [Elaboración propia] . . . . .	24
3.9	Busqueda de conceptos Sistema de conexión local-nube [Elaboración propia] . . . . .	25
3.10	Busqueda de conceptos Visualización en la nube [Elaboración propia] . . . . .	25
3.11	Busqueda de conceptos Programa de polling en computadora local [Elaboración propia] . . . . .	25
3.12	Busqueda de conceptos Sistema de alarmas [Elaboración propia] . . . . .	25
3.13	Conceptos Generados [Elaboración propia] . . . . .	27
3.14	Filtrado conceptos iniciales [Elaboración propia] . . . . .	28
3.15	Selección conceptos filtrados [Elaboración propia] . . . . .	29
3.16	Elección conceptos Individuales [Elaboración propia] . . . . .	29
5.1	Objetivos, Variables de muestra, y factores de influencia a Evaluar [Elaboración Propia] . . . . .	50
5.2	Resultados Prueba 1. [Elaboración Propia] . . . . .	54
5.3	Resultados cuestionario visualización Power BI. [Elaboración Propia] . . . . .	58
5.4	Resultados cuestionario Panel de control Labview. [Elaboración Propia] . . . . .	58
5.5	Inversión Inicial Realizada. [Elaboración Propia] . . . . .	60
5.6	Ganancia anual esperada. [Elaboración Propia] . . . . .	60
5.7	Calculo de VAN, TIR e ID a 6 Años [Elaboración Propia] . . . . .	61

# Lista de símbolos y abreviaciones

## Abreviaciones

EIA	Electronic Industries Alliance
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IEC	International Electrotechnical Commission
IM	Impedancia
ISO	International Organization for Standardization
LMVE	Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas
MF	Multifunción
P	Potencia y energía
TP	Temperatura y Presión.

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Contexto

El Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) se encarga de mantener los patrones primarios de las magnitudes físicas fundamentales referentes a la energía eléctrica y telecomunicaciones [1]. Con estos realizan servicios de calibración para medidores de varias variables eléctricas, entre los que se encuentran mediciones de corriente directa y de baja frecuencia, potencia y energía, e impedancia.

Debido a los procesos precisos de calibración que se realizan en el laboratorio, se deben mantener ciertas condiciones de equipo, proceso y ambiente dentro del laboratorio. El proceso general de control de calidad es definido para el laboratorio según la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005. Esta norma le ha permitido al laboratorio contar con un certificado de acreditación de calibraciones No. LC-036.

Para monitorear las condiciones ambientales del laboratorio, se les hace seguimiento a varias variables indicativas de forma continua. Estas incluyen la temperatura, humedad, tensión de línea y presión atmosférica, permitiendo así garantizar la estabilidad de las condiciones del laboratorio, así como identificar posibles riesgos. El sistema de monitoreo de las condiciones ambientales debe acomodarse a las necesidades del laboratorio de garantizar la medición correcta de las condiciones de este en todo momento.

### 1.2 Detalles del Problema

Actualmente el sistema de monitoreo que se usa se compone principalmente de varios sensores individuales, donde cada uno toma datos de una parte del laboratorio de manera separada. Estos se envían mediante una conexión cableada a una sola computadora central. La visualización y análisis de los datos del laboratorio se debe realizar manualmente en la computadora central, actualmente se utiliza la herramienta “labview” para generar

gráficas y guardar la información de los sensores.

El sistema actual de monitoreo se caracteriza por ser un proceso informal e individual, cada sensor individual se accede desde la computadora y se abre una instancia de labview distinta para recoger sus datos. El método de comunicación usado actualmente para conectar los sensores y la computadora es temporal, ya que se conectan mediante un switch que no está destinado para uso del sistema de monitoreo del laboratorio. Los datos guardados se hacen con un formato sencillo ya que no se están usando para análisis posterior, este consta de un archivo txt con la fecha, hora, y medida de cada medición individual. Con este sistema cada sesión de monitoreo representa un archivo txt nuevo.

Aunque se están recogiendo los datos de los sensores y estos se pueden leer, no existe un protocolo como tal que genere una alarma cuando estos se salen de lo esperado. El sistema actual requiere de una vigilancia e interpretación constante de los datos por parte de los miembros del laboratorio para garantizar el cumplimiento de las condiciones.

## 1.3 Síntesis del problema

El sistema actual de recopilación de datos y análisis de datos sufre de problemas de confiabilidad, velocidad, y sencillez en la comunicación y visualización de los datos ambientales.

## 1.4 Objetivos y estructura del documento

### 1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de visualización y almacenamiento de datos ambientales en el laboratorio LMVE para mejorar la eficiencia y la usabilidad del sistema de monitoreo.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar en el sistema de monitoreo ambiental actual, las causas y consecuencias principales de la pérdida de tiempo efectivo de trabajo de los operadores.
- Diseñar la topología de red, y el programa computacional, para la medición y almacenamiento local de los datos ambientales del laboratorio.
- Diseñar la interfaz y las notificaciones del sistema de monitoreo de variables ambientales, tanto como para el sistema físico local, como para el sistema remoto.
- Validar el sistema completo, mediante pruebas funcionales de la interfaz, y mediante la simulación de la topología de red y el programa computacional de la medición.

### 1.4.3 Estructura del documento

Este documento se compone de un total de 5 capítulos. El primero de estos es el capítulo de introducción, en este capítulo queda evidenciado la problemática identificada a la que responde este proyecto, además de mostrar los objetivos y formato de este documento en sí.

El segundo capítulo corresponde al marco teórico del proyecto, este contiene la información previa necesaria para poder entender el lenguaje técnico, y la solución en sí del proyecto. La sección se encuentra organizada en secciones dependiendo del tipo de tecnología o sistema que se está explicando.

El tercer capítulo es la metodología en sí del proyecto. Aquí se describe la metodología de trabajo realizada durante este proyecto, inicialmente se realiza una explicación general, luego se describe los pasos específicos aplicados durante el proyecto.

El cuarto capítulo contiene la explicación completa de la solución, separado en partes, y con una descripción a fondo de las decisiones específicas de diseño que llevaron a estas elecciones. Contiene la información técnica generada o elegida durante el proyecto.

El quinto capítulo corresponde a los resultados y análisis del informe, aquí se encuentran las validaciones y experimentos realizados sobre la solución encontrada en el capítulo anterior.

El quinto capítulo tiene las conclusiones y recomendaciones que se obtienen de este informe, presentando así futuros pasos que se pueden dar.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1 Sensores ambientales

Para realizar mediciones y control de distintas variables ambientales existen una gran variedad de sensores de distintos fabricantes y métodos de medición. Los sensores de este tipo miden distintas variables físicas, y las convierten en señales eléctricas que pueden ser transferidas y analizadas por sistemas de control. Entre las variables ambientales de mayor importancia para laboratorios genéricos tienden a estar la temperatura, la humedad, y la presión atmosférica [2].

Para elegir cuales sensores usar en cada caso se deben tomar en cuenta varias características importantes. Sensores con distintas resoluciones, precisión, y tiempo de respuesta generarán resultados altamente distintos. En el caso de laboratorios metrológicos, la confiabilidad y estabilidad del sistema durante periodos largos de funcionamiento son de suma importancia [3].

A continuación aparece una lista y descripción de los tipos de sensores disponibles en el laboratorio.

#### 2.1.1 Vaisala

Se cuenta con dos sensores Vaisala PTU301 wall mounted. Estos sensores miden temperatura, humedad, y presión atmosférica. En este momento se encuentra uno en la sección MF, y uno en la sección PT. Estos sensores ya han sido reemplazados en la compañía de Vaisala por una nueva línea de sensores. Un ejemplo de este tipo de sensor aparece en la figura 2.1. Para el sensor vaisala se cuenta con su manual de usuario, de este se obtiene la información de comunicación [4]. Naturalmente el vaisala se comunica mediante protocolo serial RS232, pero tiene opciones para comunicación IP y comunicación modbus mediante RS485. Cuando el vaisala opera en serie, este tiene varios métodos de comunicación, de mayor importancia para el proyecto son los modos de SEND y RUN. En el modo SEND, el sensor envía valores cada vez que recibe una comunicación de SEND, mientras que en



**Figura 2.1:** Sensor Vaisala. [4]

el modo RUN, el sensor envía un valor cada X cantidad de segundos, donde el valor X de tiempo es determinado por el usuario en la configuración del Vaisala.

En cuanto a la comunicación Modbus, este se permite mediante la conexión RS232 serial que trae el sensor, o mediante RS485 o Ethernet con módulos opcionales.

Las propiedades técnicas de los sensores internos aparecen en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1:** Datos técnicos sensor Vaisala PTU300 [Elaboración Propia]

Variable	Unidad	Precisión	Maximo	Minimo
Temperatura	C°	±0.2	60	-40
Humedad Relativa	%	±1	100	0
Presión	hPa	±0.1	1100	500

### 2.1.2 Veriteq

El sensor Veriteq es uno de los sensores con menos información en el internet. La compañía encargada de este producto fue comprada, por lo tanto el diseño específico de este sensor

ya no es renovable mediante compra directa. El sensor del laboratorio corresponde al datalogger de Temperatura y Humedad SP-2000-20R. Actualmente se cuenta con un sensor veriteq en la sección de Potencia y energía, además de un sensor extra que se usa para pruebas. Una imagen de un sensor veriteq de la línea 2000 aparece en la figura 2.2.



**Figura 2.2:** Sensor Veriteq. [5]

Esta tecnología utiliza comunicación serial RS232 para hablar. Normalmente el sistema veriteq recomienda usar un cable y programa específico para comunicarse, específicamente el programa propietario de este tipo de sensores, aunque igualmente se puede comunicar usando el formato serial RS-232 estándar.

Las propiedades técnicas de los sensores internos aparecen en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2:** Datos técnicos sensor Veriteq SP-2000 [Elaboración Propia]

Variable	Unidad	Precisión	Maximo	Minimo
Temperatura	C°	$\pm 0.25$	85	-35
Humedad Relativa	%	$\pm 2$	100	0

### 2.1.3 Fluke

El sensor Fluke 1620 permite medir temperatura y humedad desde dos sensores externos diferentes, esto significa que hay un total de 4 valores (dos de temperatura y dos de humedad) que son medibles desde el sensor. Este se puede comunicar mediante RS232 serial, protocolo ethernet IP, o wireless. Para la comunicación serial el sensor recibe un comando de lectura con el sensor externo a medir, y devuelve los valores de temperatura y humedad leídos. En el laboratorio se tiene un fluke 1620 en la zona de Impedancia. Un ejemplo de un sensor fluke 1620 aparece en la figura 2.3.

**Figura 2.3:** Sensor Fluke. [6]

Las propiedades técnicas de los sensores internos aparecen en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3:** Datos técnicos sensor fluke 1620 [Elaboración Propia]

Variable	Unidad	Precisión	Maximo	Minimo
Temperatura	C°	0.5	50	0
Humedad Relativa	%	3	100	0

### 2.1.4 PM500

El sensor de schneider eletrctronics PM500 power logic es un medidor de potencia, en el laboratorio se utiliza para medir la tensión de línea que está recibiendo el lugar. El sensor contiene un módulo externo que le permite comunicarse mediante el protocolo Modbus mediante cable Rs485. El sensor recibe un comando de modbus para leer el registro que contiene el valor medido, y lo devuelve. Un ejemplo de un sensor PM500 aparece en la figura 2.4.



**Figura 2.4:** Sensor PM500. [7]

El laboratorio contiene dos PM500 activos en este momento, uno en el laboratorio de multifunción, y uno en el laboratorio de potencia y energía. Las propiedades técnicas de los sensores internos aparecen en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4:** Datos técnicos sensor PM500 [Elaboración Propia]

Variable	Unidad	Precisión	Maximo	Minimo
Tensión de Línea	V	0.5	480	140

## 2.2 Comunicación serial

La comunicación en serie se refiere a un método de enviar datos donde los bits se envían en orden, uno después del otro, por medio de una línea de conexión. Este tipo de comunicación se diferencia del sistema de comunicación paralelo al usar un solo canal a la vez, esta forma sencilla de comunicación por línea hace que sea más seguro a distancias mayores, tenga menos ruido magnético, y use menos cables [8].

La comunicación serial tiene dos formas comunes de enviar data, sincrónica o asincrónica. En la configuración asíncrona, los datos se envían en paquetes con bits de inicio y de parada, no requieren de una señal de reloj sincronizada en ambos lados, lo cual lo convierte en un sistema más sencillo de organizar. En la configuración sincrónica se necesita una marca del tiempo que maneje la comunicación entre ambos lados del sistema.

Entre los parámetros más importantes de una conexión serial están la velocidad de envío (baud rate), el número de bits por pieza de datos, los bits de parada, y el tipo de paridad. Estos parámetros ayudan a que ambos aparatos puedan entender los datos de igual manera [9].

### 2.2.1 Modbus

Modbus es un protocolo de comunicación diseñado para control y monitoreo de dispositivos industriales. Fue desarrollado por Modicon en 1979 y ha sido ampliamente adoptado en sistemas de monitoreo y control debido a su libertad, flexibilidad, facilidad de implementación y compatibilidad con distintos tipos de sensores y controladores.

El protocolo Modbus puede usar varios métodos para la comunicación, como sistemas seriales RS232 o RS485, o sistemas de protocolo IP, entre otros. La comunicación sigue un esquema maestro-esclavo, en el cual un solo dispositivo maestro inicia todas las consultas, y uno o más dispositivos esclavos responden [10].

El protocolo de comunicación Modbus se compone de formatos que indican los componentes que tienen los paquetes enviados por los dispositivos de modbus. Normalmente se incluyen secciones como un identificador de dispositivo, un código de función, los datos solicitados, y un código CRC para verificar la integridad del mensaje. Entre las posibles funciones se encuentra la lectura y escritura de registros, detección de errores y configuración de parámetros.

### 2.2.2 Conexión RS232 y RS485

RS232 y RS485 son estándares de configuración de cableado eléctrico para la transmisión de datos en comunicaciones seriales. Ambos fueron desarrollados por la Electronic Industries Alliance (EIA) para ayudar a normalizar la comunicación entre dispositivos electrónicos.

RS232 es un estándar que permite la comunicación entre un único emisor y receptor a través de niveles de voltaje negativos y positivos respecto a la tierra. Opera de forma asíncrona, y aunque es adecuado para distancias cortas (hasta 15 metros) y velocidades moderadas (hasta 115 kbps), es sensible al ruido eléctrico.

Por otro lado, RS485 es un estándar que permite que múltiples dispositivos en un mismo bus de datos se comuniquen. Utiliza señales diferenciales balanceadas, lo que mejora la inmunidad al ruido y permite distancias de hasta 1.2 km con velocidades de hasta 10 Mbps, dependiendo del cableado.

El uso de un tipo de cableado o el otro principalmente depende de las distancias, velocidades, y topología del sistema a implementar. En algunos casos con convertidores y adaptadores se pueden usar ambos cableados en partes distintas de un mismo sistema [11].

## 2.3 Labview

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es una plataforma de programación gráfica diseñada por National Instruments. Su principal uso es en el diseño de sistemas de medición, automatización y control. El lenguaje de programación gráfica G que utiliza se basa en bloques, bucles, y flujos de datos. Aparte de métodos puramente gráficos presenta conectividad con diversos programas y tipos de programación. Un programa de labview se compone de dos partes, un panel frontal que contiene la interacción con el usuario, y una zona posterior que maneja todo el código de la aplicación

LabVIEW permite la adquisición de datos en tiempo real desde una variedad de sensores e instrumentos, mediante protocolos seriales, modbus, USB, y Ethernet. También es posible realizar en labview el procesamiento y análisis de señales, la implementación de algoritmos de control, y la visualización de resultados [12].

## 2.4 Internet of Things

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a una red de dispositivos físicos interconectados que recopilan e intercambian datos mediante redes de comunicación. Cada dispositivo en la red puede ser un sensor, actuador, o cualquier otro objeto que esté equipado con tecnologías de identificación, procesamiento y conectividad.

Los sistemas IoT típicamente se componen de cuatro elementos clave: sensores/dispositivos, sistemas de comunicación, plataformas en la nube, y aplicaciones de visualización y control. Estos pueden estar más o menos presentes dependiendo de las distintas necesidades de cada proyecto de IoT.

### 2.4.1 Sharepoint

Microsoft SharePoint es una plataforma de gestión documental y colaboración empresarial basada en la web. Permite a los usuarios almacenar, organizar, compartir y acceder a información desde cualquier dispositivo conectado a la red corporativa o a internet.

Entre sus principales características destacan: bibliotecas de documentos, listas personalizables, flujos de trabajo automatizados, integración con Microsoft 365, y control de versiones y permisos. SharePoint también permite la creación de sitios de equipo y portales corporativos donde se puede centralizar la información operativa y facilitar la colaboración entre departamentos[13].

### 2.4.2 Power Automate

Power Automate (antes Microsoft Flow) es un servicio en línea capaz de automatizar e interconectar una gran variedad de servicios en la nube. El mecanismo que usa el servicio para automatizar un proceso se denomina "flujo"; cada flujo es una función independiente que se puede ejecutar por su cuenta. El idioma de programación que se utiliza es gráfico; cada flujo se compone de una acción inicial y una serie de acciones que se ejecutan secuencialmente, como en un diagrama de flujo.[14]. Las acciones iniciales posibles se agrupan en 3 tipos: el primero es de ejecución manual; en estos, la función se ejecuta cuando el usuario manualmente presiona un botón en el servicio de Power Automate o en la aplicación móvil. El segundo es de ejecución programada, en este caso la función corre cada cierta cantidad de tiempo, definido por el usuario. El último tipo es de detección, donde el flujo se ejecuta cada vez que cierta acción externa sucede. Un ejemplo de esto podría ser una función que se ejecuta cada vez que se crea un archivo nuevo en una carpeta.

El resto de las acciones de un flujo dependen de los servicios a los cuales se conectan. La gran mayoría de los servicios de Microsoft tienen conexiones, como SharePoint, OneDrive, Forms, y Outlook. A parte de las acciones externas, existen acciones internas que se usan para manejar variables, o para controlar la forma del flujo, como condicionales y bucles. Entre los principales usos que se les da al Power Automate está el movimiento automático de archivos, creación de respuestas automáticas, y correos recurrentes.

### 2.4.3 Power BI

Power BI es una plataforma de inteligencia empresarial (BI) desarrollada por Microsoft que permite transformar datos sin procesar en información visual e interactiva. La herramienta permite la conexión a múltiples fuentes de datos, tanto locales como en la nube, para su posterior modelado, análisis y presentación mediante dashboards dinámicos.

Sus principales componentes incluyen Power BI Desktop, y Power BI Service. La versión local permite tomar datos locales y visualizarlos de una mejor manera que sería posible

con otros sistemas, mientras que la versión de servicio en la nube permite mostrar reportes en línea a una gran variedad de usuarios en cualquier lugar[15].

## 2.5 Normativas

### 2.5.1 INTE ISO/IEC 17025:2005

Esta norma regula varios aspectos de relevancia para los laboratorios de ensayo y calibración. En el caso específico de este proyecto se rige el mantenimiento y medición de las variables ambientales del laboratorio. El control de estos valores es de alta importancia ya que pueden afectar las calibraciones realizadas. Entre los beneficios de aplicar la norma se encuentra: aumentar la confiabilidad de los resultados, mejorar la eficiencia de los procesos de calibración y ensayo, y garantizar el cumplimiento con estándares nacionales e internacionales de calidad y trazabilidad metrológica.

La empresa ICE tiene acceso a la norma, pero es confidencial para la empresa, por lo que en este apartado se resumirán algunos de los aspectos más relevantes encontrados en la sección 6.3 de la normativa.

- Entre las variables de influencia del laboratorio se encuentran las 4 tratadas actualmente: temperatura, humedad, presión atmosférica y tensión de línea. Además de otro grupo de variables que se podrían medir en un futuro: polvo, radiación, sonido y vibración.
- El laboratorio debe llevar registro de los datos ambientales presentes en el laboratorio.
- Se debe realizar una revisión periódica de las condiciones ambientales y del mecanismo de control y monitoreo de estos.

# Capítulo 3

## Metodología

Al ser un proyecto de diseño de una solución mecatrónica, se requiere una metodología sobre la cual basar la búsqueda y generación de la solución. En este caso se va a utilizar la metodología Ulrich Eppinger [16]. Esta se basa en una serie de fases con iteración constante, esto significa que, múltiples veces durante la metodología se debe volver a fases anteriores para actualizarlas con información aprendida en fases posteriores.

### 3.1 Definición de la metodología

Las distintas fases de la metodología se describen a continuación.

#### 3.1.1 Fase 0: Planteamiento del Problema

La primera fase corresponde a la etapa de planteamiento del problema, esta corresponde a un tipo de fase 0, donde se analizan detalles previos a empezar el diseño de la solución en si. Aquí se busca encontrar, mediante un análisis sistemático, las principales causas y características del problema a resolver. Esto con la intención de definir de la mejor manera posible el problema general o raíz. Para poder identificar este de manera correcta, se debe priorizar realizar un análisis sin sesgos de los datos y eventos relevantes.

#### 3.1.2 Fase 1: Determinación de las necesidades

La fase 1 corresponde a la determinación de las necesidades de la solución. En esta sección se buscan las características que requiere la solución para poder considerarse una respuesta válida a la problemática. Se inicia recolectando los datos del cliente, asegurándose de no agregar sesgos, para después extraer las necesidades de este de la manera más completa posible. Este proceso normalmente se realiza mediante una entrevista o encuestas. Una vez obtenidas las necesidades, se proceden a organizar en una jerarquía, y se le asigna

una importancia relativa a cada necesidad. Esto nos ayuda a encontrar la prioridad que se le debe aplicar a cada necesidad. Por ultimo, al igual que en todas las fases, se realiza una reflexión sobre el proceso y los resultados obtenidos.

### **3.1.3 Fase 2: Especificaciones**

La fase 2 hace referencia a las especificaciones del producto. Estas se pueden ver como los objetivos y necesidades previamente encontrados, pero convertidos en un formato medible físicamente. Se componen de dos partes, la primera parte es la métrica, la cual corresponde al atributo físico medible, mientras que la segunda parte es el valor objetivo, que corresponde al rango de valores de la métrica para la cual se cumple la necesidad. Para completar esta fase se debe realizar un análisis para determinar de manera eficiente los atributos físicos a medir, así como los valores objetivos y marginales de las especificaciones. Muchas veces se debe volver a consultar con los clientes, o volver a la fase de necesidades, para garantizar que estas métricas estén en línea con los objetivos del proyecto.

### **3.1.4 Fase 3: Conceptualización del diseño**

La fase 3 corresponde a la conceptualización o creación de las distintas propuestas de diseño. En esta sección se empieza realizando una descomposición del problema en una serie de sub-problemas interconectados. Esto permite crear conceptos de soluciones para cada parte de manera eficiente y sistemática, sin perder de vista la complejidad del problema general. Una vez dividido el problema, se realiza una búsqueda de información interna y externa, esta búsqueda tiene por objetivo examinar todas las posibles soluciones que se podrían tener para los distintos subproblemas. Por ultimo los conceptos se organizan y se combinan para generar las posibles soluciones que se analizarán posteriormente. Al igual que en todas las fases, al final se realiza una reflexión sobre el proceso y los resultados obtenidos.

### **3.1.5 Fase 4: Selección de Conceptos**

En la fase 4 se realiza la selección del Concepto final o ganador del proceso de diseño. Esta sección se divide en dos partes, la primera corresponde al proceso de filtrado, el cual representa una manera sistemática de analizar y elegir cuales de la gran cantidad de soluciones propuestas tienen el potencial de ser una solución final, y cuales no son viables. Una vez que se reduce la cantidad de posibles soluciones mediante el proceso de filtrado, se realiza el proceso de selección final del problema. Para esto se detalla de manera más específica como cada concepto logra cumplir con las necesidades del cliente. Al finalizar esta fase se tiene la solución final que se propone para el problema.

### 3.1.6 Fase 5: evaluación de conceptos

Por último se tiene la fase 5, donde se evalúa la solución ganadora de las fases anteriores. Para esto se realizan pruebas de validación, diseñadas para evaluar cada métrica individual y verificar el cumplimiento de estos. Normalmente para esto se realiza la creación de un prototipo funcional, al cual se le pueden realizar pruebas, y que busca responder a ellas de igual manera que lo haría el producto final.

## 3.2 Implementación de la metodología

En este capítulo queda descrita la forma en la que se realiza la metodología para este proyecto específico, acomodando el procedimiento a las necesidades específicas de este.

### 3.2.1 Fase 1: Determinación de las Necesidades

Dentro de la Fase 1, el método de Ulrich-Eppinger recomienda un proceso de 5 pasos para poder identificar correctamente las necesidades del cliente. Los primeros dos de estos hacen referencia a recopilar los datos sin procesar del cliente, y organizarlos en forma de necesidades puntuales que se pueden trabajar. Para esto, la metodología recomienda una variedad de procesos posibles que pueden ayudar a recopilar la información; en este caso, se eligió realizar varias entrevistas con los operadores del laboratorio, y analizar presencialmente el funcionamiento actual de los sensores y sistemas de almacenamiento de datos.

Las entrevistas fueron presenciales, durante estas se recorrió el laboratorio, y se realizaron preguntas sobre el funcionamiento de los sensores durante los procesos de calibración. También se discutieron las problemáticas principales de la computadora y programa de visualización actual, así como la dificultad de identificar cambios en las condiciones ambientales cuando no se encuentran operadores en el laboratorio. Las necesidades encontradas aparecen en la tabla 3.1.

Debido a que este representa una investigación inicial de las necesidades del cliente, se espera que estas necesidades se refinen con el avance del proyecto y con la identificación correcta de la importancia de cada necesidad.

El siguiente paso indicado en la metodología es la jerarquización de las necesidades en primarias y secundarias. Para esto se realiza un análisis de la similitud e importancia de las distintas necesidades. El resultado de esta jerarquización aparece en la tabla 3.2.

Una vez que se jerarquizaron las necesidades, se procede con la identificación de la importancia relativa de cada necesidad. Para esto, la metodología recomienda una encuesta dirigida al cliente, capaz de identificar sin sesgos cuales necesidades representan la mayor importancia para el cliente.

**Tabla 3.1:** Necesidades encontradas durante la fase 0 [Elaboración Propia]

Numero	Necesidad
1	El sistema mide las variables ambientales con una alta frecuencia.
2	El sistema mide las variables ambientales durante todo el día.
3	El sistema es modificable en cuanto a la cantidad de sensores en funcionamiento.
4	El sistema es robusto ante una falla en un sensor.
5	El sistema permite configurar los sensores desde la computadora local.
6	La transmisión de los datos a la computadora local es altamente confiable.
7	Los datos se guardan en un formato fácilmente transferido al Excel.
8	Los datos se almacenan en la computadora local.
9	Los datos tienen una visualización gráfica en la computadora local.
10	La visualización de los datos en la computadora local es configurable.
11	Los datos en la computadora local se actualizan en tiempo real.
12	El sistema es robusto ante una pérdida de potencia en el suministro de energía.
13	El sistema contiene principalmente activos ya disponibles para el laboratorio.
14	Los datos se almacenan en el sharepoint compartido del laboratorio.
15	Los datos tienen una visualización gráfica en el sharepoint.
16	La visualización de los datos en el sharepoint es configurable.
17	Los datos en el sharepoint se actualizan en tiempo real.
18	El sistema puede avisar a los operadores de algún error en el sistema mediante un mensaje.
19	Los parámetros ambientales o estructurales que generan alertas son configurables por el administrador.
20	Las visualizaciones son intuitivas para los operadores del laboratorio.
21	El sistema es cómodo de usar para los operadores del laboratorio.

La encuesta se compone de las necesidades previamente encontradas, se le pidió al cliente que definiera en una escala del 1 al 5 la importancia que tiene cada necesidad para la empresa. El significado de cada número en la escala aparecen a continuación:

1. La función es indeseable en el producto.
2. La función no es importante, pero no es indeseable.

3. La función podría ser benefisiosa, pero no es indispensable.
4. La función es altamente benefisiosa, pero no indispensable.
5. La función es de importancia crítica. Un producto sin esta función se consideraría incompleta.

Aparte de la importancia de cada necesidad específica, se agregó una sección para que el cliente pudiera dejar comentarios sobre la encuesta y el proceso de determinación de necesidades en general.

La importancia relativa de cada necesidad aparecen en la tabla 3.3.

El último proceso que se realiza en esta fase es realizar un análisis y reflexión de esta fase. El proceso se completó de manera satisfactoria, las necesidades son concisas y hacen referencia a las dificultades presentes en la empresa. La importancia relativa encontrada para las necesidades, es coherente con lo hablado y con lo identificado en el proyecto físico.

**Tabla 3.2:** Jerarquización de Necesidades [Elaboración Propia]

Necesidad primaria	Necesidad secundaria
El sistema mide las variables ambientales	El sistema mide las variables ambientales con una alta frecuencia.
	El sistema mide las variables ambientales durante todo el día.
	El sistema es modificable en cuanto a la cantidad de sensores en funcionamiento.
El sistema es confiable.	El sistema es robusto ante una falla en un sensor.
	El sistema es robusto ante una pérdida de potencia en el suministro de energía.
	La transmisión de los datos a la computadora local es altamente confiable.
Los datos se almacenan en la computadora local	Los datos se guardan en un formato fácilmente transferido al Excel.
	Los datos se almacenan en la computadora local.
	Los datos tienen una visualización gráfica en la computadora local.
	La visualización de los datos en la computadora local es configurable.
	Los datos en la computadora local se actualizan en tiempo real.
Los datos se almacenan en el sharepoint compartido del laboratorio	Los datos se almacenan en el sharepoint compartido del laboratorio
	Los datos tienen una visualización gráfica en el sharepoint
	La visualización de los datos en el sharepoint es configurable
	Los datos en el sharepoint se actualizan en tiempo real
El sistema es cómodo de usar para los operadores del laboratorio	El sistema puede avisar a los operadores de algún error en el sistema mediante un mensaje
	El sistema permite configurar los sensores desde la computadora local.
	El sistema contiene principalmente activos ya disponibles para el laboratorio.
	Los parámetros ambientales o estructurales que generan alertas son configurables por el administrador
	Las visualizaciones son intuitivas para los operadores del laboratorio
	El sistema es cómodo de usar para los operadores del laboratorio

**Tabla 3.3:** Importancia relativa de cada necesidad [Elaboración propia]

Necesidad	Importancia
1	4
2	5
3	4
4	5
5	5
6	5
7	4
8	5
9	3
10	3
11	5
12	5
13	5
14	5
15	5
16	4
17	4
18	5
19	4
20	4
21	4

### 3.2.2 Fase 2: Especificaciones

Para la fase dos se realizó la determinación de las especificaciones del proyecto. Esta sección se compone de dos partes, en la primera se realizó la determinación de las métricas del proyecto, estas responden a las necesidades y representan una conversión de las necesidades encontradas previamente, en algo medible de manera ingenieril. Durante este proceso hubo varias necesidades que representaban una necesidad de tener alguna característica binaria, normalmente estas necesidades no se escriben como métricas, ya que la existencia de esa parte o característica en la solución cuenta como el cumplimiento de la necesidad.

Las métricas determinadas durante este proceso aparecen en la tabla 3.4

**Tabla 3.4:** Métricas Identificadas [Elaboración propia]

Numero de métrica	Necesidad	Métrica
1	1	Frecuencia de medición
2	2	Porcentaje del día en funcionamiento
3	3	Cantidad de sensores conectables
4	4	Funcionamiento en caso de falla de sensor
5	5	Cantidad de sensores configurables desde la computadora
6	6	Confiablez de transmisión de datos
7	10	Variables visuales locales configurables
8	11	Frecuencia de actualización de los datos locales
9	12	Tiempo entre perdida de potencia y reinicio/aviso
10	13	Costo de material nuevo
11	16	Variables visuales en la nube configurables
12	17	Frecuencia de actualización de los datos en la nube
13	19	Cantidad de variables de alerta configurables
14	20,21	Tiempo de capacitación requerido para manejar las visualizaciones

El siguiente paso corresponde a especificar los valores objetivos para cada métrica. Para cada especificación se usaron varios métodos para determinar cuales valores marginales e ideales se establecerían. En algunos casos se buscó un valor en la literatura pre-existente que representa un valor común o normalizado. En otros casos se utilizó un proceso de consulta con el cliente para entender mejor las necesidades que se plantearon anteriormente. Este es un buen ejemplo de una parte del proceso donde se volvió a las encuestas con el cliente (una fase anterior) para entender mejor las necesidades exactas en términos de valores.

En la tabla 3.5 aparecen los valores marginales e ideales de las métricas encontradas.

**Tabla 3.5:** Valores Objetivo Elegidos [Elaboración propia]

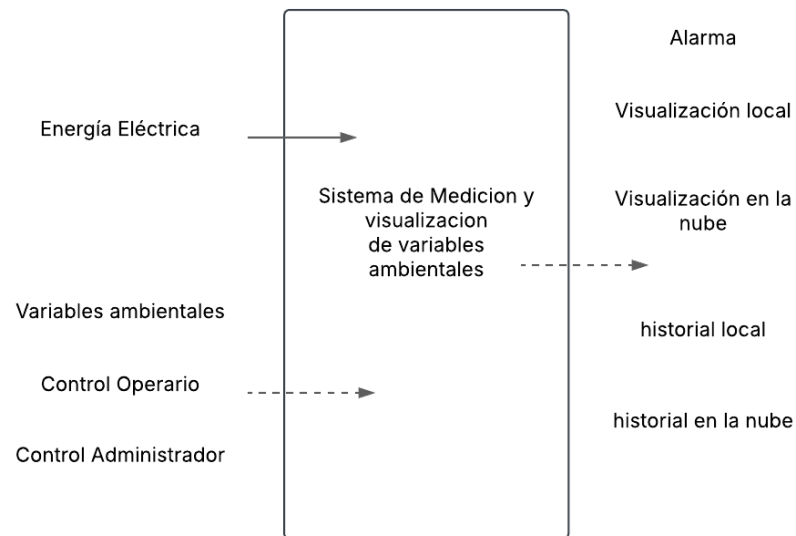
Numero	Métrica	Unidades	Valor marginal	Valor ideal
1	Frecuencia de medición	Hz	>1	>2
2	Porcentaje del día en funcionamiento	%	>90%	>95%
3	Cantidad de sensores conectables	Cantidad	>6	>10
4	Funcionamiento en caso de falla de sensor	Binario	Si	Si
5	Cantidad de sensores configurables desde la computadora	Cantidad	>=0	>3
6	Confiabilidad de transmisión de datos	%	>90%	>95%
7	Variables visuales locales configurables	Lista	*	*
8	Frecuencia de actualización de los datos locales	Hz	>1	>2
9	Tiempo entre perdida de potencia y reinicio/aviso	m	<30	<10
10	Costo de material nuevo	colones	<200000	<100000
11	Variables visuales en la nube configurables	Lista	*	*
12	Periodo de retraso de actualización de los datos en la nube	s	<120	<30
13	Cantidad de variables de alerta configurables	Lista	Max y min	Max y min
14	Tiempo de capacitación requerido para manejar las visualizaciones	h	<2	<1

\*: Marginal: Tiempo, Salidas del sensor, Promedio, Máximo, Mínimo. Ideal: Hora, Salidas del sensor, Promedio, Máximo, Mínimo, Fecha, Mediana,

### 3.2.3 Fase 3: Conceptualización del diseño

Esta fase inicia con la descomposición del problema en una serie de sub-problemas interconectados. Para esto se identificaron las entradas y salidas principales del sistema, y se realizó un proceso iterativo que tomaba cada problema o sub problema encontrado, e intentaba dividirlo en sub problemas más puntuales. Este proceso terminó cuando no se podía dividir los sub-problemas en versiones más sencillas

En la figura 3.1, se aprecian la división inicial de problemas que se realizó, aquí resaltan que hay dos tipos de entrada, energía y datos, representados con líneas de diferentes trazos, y un solo tipo de salida: datos.

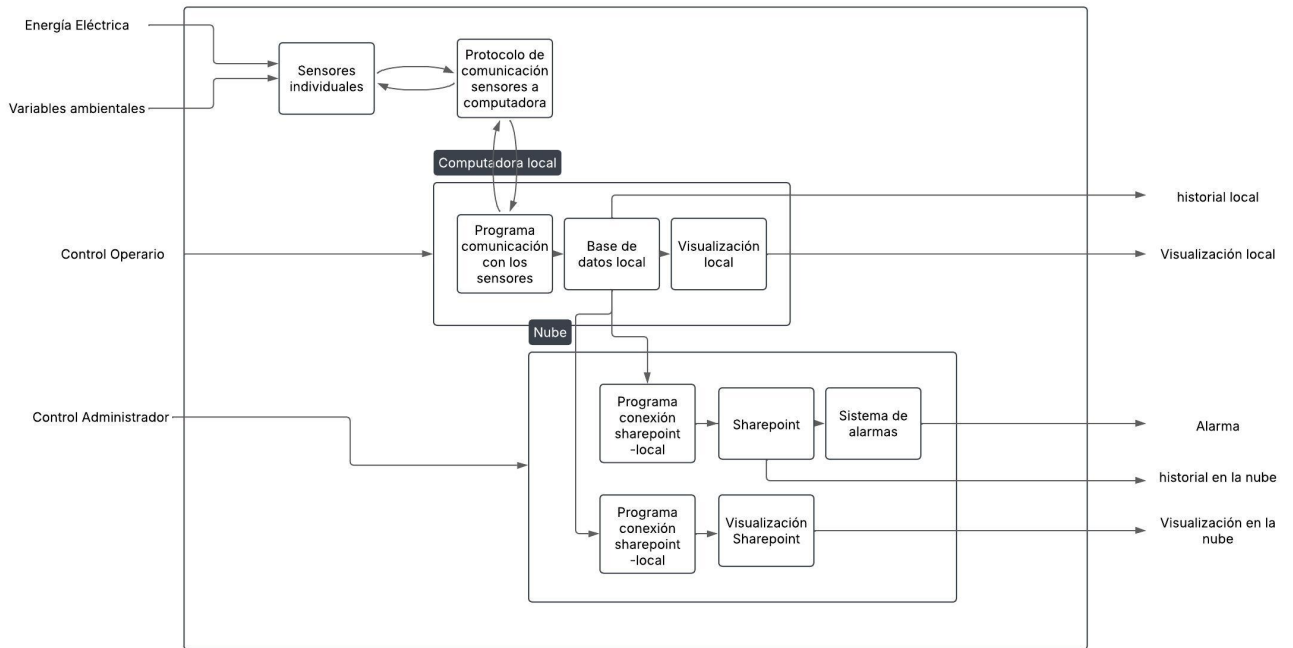


**Figura 3.1:** Salidas y entradas del sistema funcional.[Elaboración propia]

En la figura 3.2 se aprecia la descomposición funcional completa del sistema, Estos serán los sub-problemas que se trabajan en el resto de la fase 3. Entre los principales detalles del proceso se aprecia la división física de los sub problemas, en general los problemas se pueden separar en 3 secciones, sensores, local, y nube. Cada uno de estos tiene sus propios problemas a tratar, aunque también es de gran importancia la conexión entre ellos, razón por la cual varios sub-problemas hacen referencia al método de comunicación entre las partes.

Algo importante de comentar en este paso es un ejemplo de la naturaleza iterativa de la metodología. La segmentación del proceso de comunicación entre la computadora local y la nube, específicamente la comunicación de datos para almacenamiento, y la comunicación de datos para la visualización; no fue algo que se consideró inicialmente. Esto debido a que el análisis inicial de la conectividad de Sharepoint y Power Automate indicaban que una vez que el archivo de texto se encontrara en la nube, sería sencillo extraer los datos para la visualización. Una vez que se probó la comunicación en el laboratorio con los permisos y plan al cual la empresa ICE se encontraba suscrita para los

productos de microsoft, se volvió a la fase de sub-problemas para actualizar el diagrama de sub-funciones.



**Figura 3.2:** Descomposición completa en sub-problemas.[Elaboración propia]

El siguiente proceso a realizar en esta fase es la búsqueda de conceptos. Para esto se tomaron cada uno de los sub-problemas de la descomposición funcional, y se realizó una búsqueda exhaustiva de posibles soluciones. Se realizó una investigación interna, basada en el conocimiento previo ingenieril, y la lluvia de ideas como métodos. También se realizó una búsqueda externa de soluciones, investigando en sistemas de artículos científicos, y consultando con profesionales de la empresa que tenían experiencia previa en este tipo de proyectos.

Las distintas soluciones posibles aparecen en las tablas [3.6](#),[3.7](#),[3.8](#),[3.9](#),[3.10](#),[3.11](#),[3.12](#).

**Tabla 3.6:** Búsqueda de conceptos Sistema de conexión entre sensores y computadora local [Elaboración propia]

Sistema de conexión entre sensores y computadora local
Comunicación serial RS232
Modbus serial
Modbus IP
USB
Ethernet
WiFi

**Tabla 3.7:** Búsqueda de conceptos Base de datos local [Elaboración propia]

Base de datos local
Texto
Csv
Excel
Access
MYSQL

**Tabla 3.8:** Búsqueda de conceptos Visualización local [Elaboración propia]

Visualización local
Power Bi
Labview
Excel

Un detalle importante en la búsqueda de conceptos, es que el sub-problema de los sensores individuales aparece en el diagrama funcional para que este muestre de forma completa su funcionalidad, pero no aparece en la búsqueda de conceptos. Esto se debe a que aunque existe la posibilidad de conseguir sensores nuevos en un futuro lejano, por el momento se busca usar los cuatro tipos de sensores presentes actualmente en el laboratorio, por lo que la decisión de cuales sensores usar se encuentra fuera del alcance de este proyecto.

**Tabla 3.9:** Búsqueda de conceptos Sistema de conexión local-nube [Elaboración propia]

Sistema de conexión local-nube
Power automate
Python
One drive
azure

**Tabla 3.10:** Búsqueda de conceptos Visualización en la nube [Elaboración propia]

Visualización en la nube
Power Bi
Lista Sharepoint
Pagina web propia

**Tabla 3.11:** Búsqueda de conceptos Programa de polling en computadora local [Elaboración propia]

Programa de polling en computadora local
Labview
Python
Programas propios de los sensores

**Tabla 3.12:** Búsqueda de conceptos Sistema de alarmas [Elaboración propia]

Sistema de alarmas
Correo
Mensaje de texto
Whatsapp
Telegram
Local

Una vez que se tienen las posibles soluciones iniciales para cada sub-problema, se realiza el proceso de combinación de conceptos. Durante este apartado se realiza un análisis de cuales conceptos iniciales tienen mayor sentido para el proyecto, estos luego se combinan para generar las propuestas completas que se filtrarán y se seleccionarán.

Durante esta parte es muy importante realizar un análisis de cuales sub-problemas interactúan o se afectan directamente entre ellos. Esto es especialmente relevante en situaciones donde hay una cantidad alta de sub-problemas, o donde los sub-problemas no interactúan suficiente entre si como para crear complejidad que merita un análisis conjunto en vez de uno separado.

En el caso de la descomposición funcional de este proyecto, existe un grupo de sub-problemas que presentan una mayor interactividad entre ellos, mientras que los demás son por lo general independientes de las decisiones conceptuales de otros sub-problemas. La parte interconectada corresponde a las conexiones entre los sistemas locales, y los de la nube, ya que estas decisiones representan la compatibilidad y eficiencia de las visualizaciones y almacenamiento. Dos sub-problemas que se encuentran aislados de los demás son el sistema de polling, y la comunicación entre los sensores y la computadora local. Esto se debe a que la salida del sistema de polling a la base de datos local representa la única interacción entre el sistema físico sensorial, y el sistema de visualización y almacenamiento. También el sistema de alarmas funciona en paralelo al resto del proceso de comunicación, por lo que también se manejará por separado.

Los conceptos generados para realizar el proceso de filtrado y selección aparecen en la tabla 3.13.

A continuación se realiza una explicación más detallada de cada posible solución que se consideró suficientemente factible como para agregarla a la generación de conceptos:

- txt, xlsx, Access, SQL: Estas opciones hacen referencia al método de almacenamiento por el programa de polling local. Las opciones varían principalmente en complejidad, yendo desde la opción más sencilla de un archivo txt, hasta la opción más compleja de una base de datos local completa basada en SQL o MySQL.
- onedrive-API: Estas opciones hacen referencia al método en el que se transmite la información de la base de datos local, al sistema en la nube de sharepoint para almacenar datos. Las dos principales opciones son si utilizar el sistema de Power Automate, o si trabajar directamente con la API de sharepoint para guardar los archivos. Algo importante en cuanto a la comunicación local es el sistema de one drive, debido a su funcionamiento automático de actualización en la nube, permite una forma sencilla de subir datos a una nube, aunque no sea el destino final requerido por el proyecto.
- Quick graph y Power BI: Hay dos opciones principales y directas disponibles en el servicio de sharepoint pages. El sistema de quick graph es muy limitado, solo permite datos de sharepoint lists, y además solo permite gráficas de tipo barra.

**Tabla 3.13:** Conceptos Generados [Elaboración propia]

Solución	Base de datos local	conexión datos local - datos nube	Visualización nube	Conexión datos local - visualización de nube	Visualización local
A	xlsx	onedrive-power automate	Quick graph	Sharepoint lists +power automate	Powe Bi desktop
B	SQL	Programa local python + API	Power BI	Power automate	Matplotlib
C	txt	onedrive-power automate	Power BI	Azure	Excel
D	Access	Programa local python + API	Quick graph	Sharepoint lists +power automate	Matplotlib
E	SQL	onedrive-power automate	Quick graph +power BI	Sharepoint lists +power automate	Excel
F	txt	Programa local python + API	Power BI	Azure	Powe Bi desktop
G	xlsx	onedrive-power automate	Power BI	Power automate	Matplotlib
H	SQL	Programa local python + API	Quick graph	Sharepoint lists +power automate	Excel
I	txt	onedrive-power automate	Quick graph +power BI	Sharepoint lists +power automate	Powe Bi desktop
J	Access	Programa local python + API	Power BI	Power automate	Matplotlib
K	SQL	onedrive-power automate	Quick graph	Sharepoint lists +power automate	Excel
L	txt	Programa local python + API	Power BI	Power automate	Powe Bi desktop

Mientras tanto, los reportes de power BI tienen una mayor versatilidad, y mayor conexiones, pero tiene menor tasa de actualización.

- Sharepoint lists, power automate, azure. Para las opciones de visualización en la nube, se necesita algún mecanismo para posicionar los datos en un servicio de nube, de aquí el power BI o el Quick graph puede obtener los datos. Las opciones consideradas son las listas de sharepoint mencionadas previamente, actualizaciones directas mediante power automate, o el servicio de base de datos en la nube de microsoft Azure.
- Power Bi desktop, matplotlib, excel. Para la visualización local se tiene una mayor variedad de opciones debido al hecho de que no se necesita ningún sistema de conexión aparte de la posibilidad de realizar lectura de base de datos locales o archivos txt. Para esta elección se analiza la versatilidad y la usabilidad de los sistemas propuestos.

### 3.2.4 Fase 4: Selección de Conceptos

En la fase 4 se realiza el filtrado y la selección del concepto ganador, para esto, usamos los conceptos generados anteriormente. La fase de filtrado representa un análisis más genérico, y nos permite eliminar conceptos con faltas graves. El proceso de filtrado aparece en la tabla 3.14.

**Tabla 3.14:** Filtrado conceptos iniciales [Elaboración propia]

Criterios de Seleccion	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Frecuencia de medición	0	+	+	0	+	+	0	+	+	0	+	+
Porcentaje del día en funcionamiento	0	-	0	0	0	0	-	0	0	-	0	-
Variables visuales locales configurables	0	-	-	-	-	0	-	-	0	-	-	0
Frecuencia de actualización de los datos locales	0	+	0	+	0	0	+	0	0	+	0	0
Costo de las piezas nuevas del sistema	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	0	-
Variables visuales en la nube configurables	0	+	+	0	+	+	+	0	+	+	0	+
Frecuencia de actualización de los datos en la nube	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	0	-
Tiempo de capacitación requerido para manejar las visualizaciones	0	-	-	-	-	0	-	-	0	-	-	0
Suma +	0	3	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2
Suma 0	8	0	2	5	4	4	1	5	6	1	5	3
Suma -	0	5	4	2	2	2	5	2	0	5	2	3
Evaluacion neta	0	-2	-2	-1	0	0	-3	-1	2	-3	-1	-1
Lugar	2	9	9	5	2	2	11	5	1	11	5	5
Continuar	Si	No	No	No	Si	Si	No	No	Si	No	No	No

Una vez que se ha realizado el proceso de filtrado, se continúa con el proceso de selección. Este proceso es más preciso y permite elegir la solución final del proyecto. El método de selección aparece aplicado a los conceptos que pasaron el filtrado en la tabla 3.15.

Por último se debe encontrar la solución propuesta para los sub-problemas individuales. Para esto se analizan los posibles conceptos en base a las necesidades y métricas referentes. El razonamiento de estas elecciones se abordará en más detalle y de manera individual en el siguiente capítulo. Las elecciones realizadas para los sistemas individuales aparecen en la tabla 3.16

**Tabla 3.15:** Selección conceptos filtrados [Elaboración propia]

Criterios de Selección	Peso %	A		E		F		I	
		Cal	Cal Pond	Cal	Cal Pond	Cal	Cal Pond	Cal	Cal Pond
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frecuencia de medición	5	2	0.1	3	0.15	3	0.15	3	0.15
Porcentaje del día en funcionamiento	5	3	0.15	3	0.15	2	0.1	3	0.15
Variables visuales locales configurables	10	4	0.4	3	0.3	4	0.4	4	0.4
Frecuencia de actualización de los datos locales	5	3	0.15	3	0.15	2	0.1	3	0.15
Costo del sistema	20	4	0.8	4	0.8	3	0.6	4	0.8
Variables visuales en la nube configurables	15	2	0.3	4	0.6	4	0.6	4	0.6
Frecuencia de actualización de los datos en la nube	20	4	0.8	4	0.8	2	0.4	4	0.8
Tiempo de capacitación requerido para manejar las visualizaciones	20	3	0.6	3	0.6	4	0.8	4	0.8
	100								
Evaluación neta			3.3		3.55		3.15		3.85
Lugar			3		2		4		1

**Tabla 3.16:** Elección conceptos Individuales [Elaboración propia]

Sistema	Elección
Programa de polling en computadora local	LabView
Sistema de conexión entre sensores y computadora local	Serial+Modbus
Sistema de alarmas	Correo electrónico

# Capítulo 4

## Sistema de Medición y visualización de variables ambientales

En esta sección se detallan las distintas partes que componen la solución final elegida en el capítulo anterior. El capítulo se divide en dos secciones principales, la medición y almacenamiento de las variables ambientales, y la comunicación y visualización en la nube de los datos obtenidos.

### 4.1 Medicion de variables ambientales

Esta sección se divide en dos partes principales, siguiendo la división de los objetivos del proyecto. En una primera sección se trabaja la obtención de los datos; en una segunda se realiza el almacenamiento y la comunicación con la nube

#### 4.1.1 Comunicación sensores-Computadora

Los sensores que se utilizarán en el proyecto ya se encuentran definidos por el laboratorio, esto se debe al costo elevado que representa conseguir sensores nuevos cuando ya se cuenta con sistemas funcionales, aunque viejos. Esto genera una serie de problemas y consideraciones en el resto del proyecto.

Lo primero es la capacidad de encontrar información actualizada de estos sensores, varios ya se encuentran fuera de disponibilidad, han sido reemplazados por sistemas más recientes. Esto disminuye la posibilidad de encontrar información de los sensores, y representa una disminución en las capacidades de estos de comunicarse e interactuar con sistemas más recientes.

Debido a los sensores ya estando elegidos, los códigos y protocolos de comunicación tienen que adaptarse a estos, en vez de tener la posibilidad de elegir sensores basados en nuestros programas o protocolos de comunicación.

La comunicación entre los sensores y la computadora local se compone de dos partes, el cableado físico, y el protocolo de comunicación. Primero analizaremos el cableado físico.

### **Cableado físico**

El laboratorio está separado en cuatro laboratorios individuales, y una zona central. Para poder comunicarse entre los distintos laboratorios se tiene una red de cables de LAN de par trenzado, que en su momento se usaban para permitir la comunicación de sistemas telefónicos fijos, y para comunicarse mediante el protocolo de ethernet. Una vez que estos sistemas cayeron en desuso, se consideró usar estos cables para conectar los diversos sensores del laboratorio a la computadora local central.

En cuanto a la configuración técnica del cableado, se tienen dos tipos de conexiones. Cada cuarto separado en el laboratorio tiene al menos dos puertos cada uno de cable telefónico, y cable ethernet normal. El cable telefónico utiliza el estándar 6p4c, con conector RJ11, mientras que el cable ethernet es de tipo 8p8c con configuración T568B y conector RJ45. Ambos de estos cables contienen suficientes líneas paralelas como para poder reutilizarlos para el protocolo modbus o serial rs232.

Todos los puertos de los cables LAN llevan a un cuarto de red donde se realizan las conexiones mediante un panel de parcheo. Esto nos permite dirigir las conexiones entre los cuartos, conectando todos los puertos con sensores a la computadora local.

A la hora de realizar el proceso de diseño se consideraron otras opciones, como usar los pasajes o espacios que utiliza el cableado para pasar cables de tipo RS232 o Rs485, pero se determinó mediante pruebas en el laboratorio que el cableado de voz y de datos podía transportar de manera efectiva los datos de los sensores, por lo que se decidió utilizar estos cables preconfigurados para mandar la información entre laboratorios.

### **Protocolo de comunicación**

El siguiente punto de análisis fue el protocolo de comunicación a usar, debido a la variedad de sensores, si se elegía un solo protocolo de comunicación, se iba a requerir varios componentes electrónicos adicionales para poder comunicar todos los sensores.

Al analizar los protocolos posibles, las principales dos opciones eran de comunicación serial directa Rs232, o de comunicación serial modbus, usando una conexión de bus con cableado Rs485. La principal ventaja del modbus era la posibilidad de la conexión en bus de los sensores, existe una cantidad relativamente alta, en promedio 4, de conexiones entre cada sub laboratorio y el sublaboratorio de Potencia y energía, donde se encuentra la computadora local. Entonces todos los sensores actualmente presentes, e incluso los planeados, podrían comunicarse con la computadora local sin necesidad de un bus de conexiones.

Cuando se estaba realizando el análisis y el diseño del código de labview, se implementó un

sistema capaz de agregar sensores y de cambiar fácilmente qué tipo de sensor o protocolo se estaba usando para comunicar. Debido a esto, se decidió aumentar la complejidad del código, mediante más casos de protocolos que se deben manejar, pero reduciendo la complejidad del sistema físico, ya que no se requeriría convertir la comunicación de los sensores de rs232 a rs485, o viceversa, simplemente se utilizaría un solo convertidor para cada sensor del sistema preferido al usb de la compu.

### Diseño final sistema físico

Una vez determinados los protocolos y cableados físicos a utilizar, se procede a describir la conexión completa desde la computadora local, hasta los sensores.

Para el cableado del sensor se empieza desde el puerto de comunicación de la computadora local, en el caso más simple esto es un puerto USB sencillo. A este se le conecta un convertidor USB-RS232, o USB-RS485, dependiendo de cual es el sensor final. La otra opción disponible de conexión es el puerto serial RS-232 de la computadora local, que se puede usar para saltar la necesidad de un conector USB-Serial. Los conectores principales usados por el laboratorio son el manhattan PL-2303 y el Digitus 70157, que ofrecen conexión USB-Serial/Rs232, y el MWE820A, que ofrece conexión USB-Rs485.

Una vez se ha convertido al protocolo serial del sensor, se conecta al cable de voz o data, como no estamos usando el formato de ethernet, simplemente se conectan las líneas internas del cable RS485 o RS232, al conector RJ45 o RJ11, para que estos puedan enviar los datos entre los laboratorios. Una vez que la señal pasa por el cableado de voz o datos, sale en el laboratorio deseado y se le vuelven a conectar los cables Rs232 o Rs485 a los conectores RJ11 o RJ45 para devolverlo al formato serial que usan los sensores.

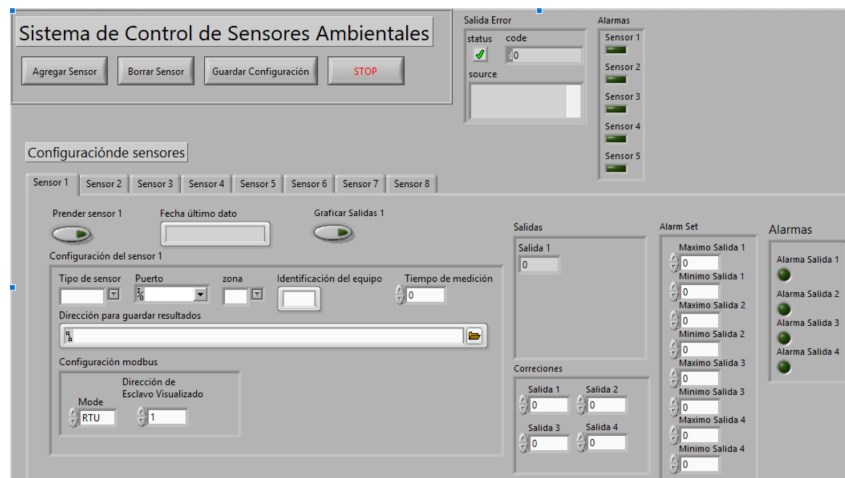
Hay algunos procesos de mejora posibles, por el momento no se están utilizando demasiados puertos USB de la computadora, entonces se usan algunos bancos de USB para poder comunicarse con todos los sensores. En el futuro se podría usar un banco de conexiones seriales proveniente de un solo usb, como el componente MP-084PD9MC/Combo.

### 4.1.2 Programa Labview

El código completo del programa se encuentra en el apéndice A. El programa de labview se utiliza principalmente para obtener la información de las mediciones de los sensores. Como fue mencionado en el marco teórico, el programa de labview se compone del código interno y el panel principal de la aplicación, el cual aparece en la figura 4.1.

El programa de labview realiza varias funciones, estas se describen en las próximas secciones.

Estas responden a las necesidades definidas en la metodología. Las funciones principales son las necesarias para cumplir las conexiones mostradas en el diagrama de sub-funciones, específicamente la medición de los sensores y el almacenamiento de los datos en la compu-



**Figura 4.1:** Ejemplo panel principal Labview. [Elaboración Propia]

tadora local.

En cuanto al flujo de ejecución se tienen dos tipos distintos. Por un lado existen funciones que se ejecutan una vez al iniciar el programa, estos incluyen el sistema de carga de configuración, y la inicialización de variables. Las demás funciones se ejecutan en un bucle de while, algunas siempre, y otras dependiendo de las condiciones y configuraciones.

Durante el proceso de diseño del código se siguieron varias buenas prácticas de la programación, estos eran especialmente relevantes para mejorar la flexibilidad del sistema ante cambios futuros. Uno de los principales problemas identificados con respecto a los códigos viejos que habían en el laboratorio es la dificultad de entender y modificar partes del código sin afectar el resto del sistema. Para remediar esto se utilizaron dos características de labview importantes:

- Sub Vi: El sistema de funciones internas del LabView. Para reducir la complejidad visual del código, y para reutilizar código en otras secciones, se pueden usar Sub Vis. Estos son programas de LabView normales a los que se les puede definir entradas y salidas, y que se pueden llamar en otros programas.

Esto permite mover todo el código que realiza alguna función particular a un archivo independiente, y solo definir las entradas y salidas del sistema. También debido a que es un archivo independiente este se puede llamar de múltiples lugares en múltiples instancias, permitiendo al sistema reutilizar código.

- Cluster: La mayoría de sistemas de programación tienen sistemas que permiten organizar una multitud de variables en una sola variable "contenedor". En el caso de LabView se tienen clusters, strings, y arrays. Los strings son grupos de específicamente caracteres, mientras que los arrays son grupos de algún tipo de variable específico, y los clusters son grupos de cualquier tipo de variable.

Al ser un sistema con alta cantidad de sensores, y alta cantidad de configuraciones, los clusters permiten organizar grupos de entradas, salidas, o variables, como un

solo cable. Esto es muy útil a la hora de usar Sub Vis, ya que permite crear un cluster de las entradas y de las salidas, para así simplificar visualmente el código. Otra ventaja es que permite crear grupos de botones o indicadores en la pantalla principal, los cuales se pueden duplicar fácilmente, y que visualmente indican una funcionalidad parecida.

A continuación se describen las funciones que realiza el programa.

## Configuraciones

Para facilitar la configuración de sensores, y para reducir la cantidad de tiempo de caída cuando se va la electricidad, se diseñó un mecanismo capaz de guardar la información de la configuración de los sensores en un archivo de config. Este utiliza un botón en la interfaz principal para guardar los datos actuales, y automáticamente se cargan cuando inicia el programa. En la figura 4.2 aparece un ejemplo de un archivo de configuración, con un sensor definido y los demás en su configuración inicial.

Este funcionamiento responde a las necesidades de tiempo de capacitación, tiempo perdido en caso de una pérdida de energía o reinicio de la computadora, y usabilidad general del programa. Esta función es ejecutada por dos Sub Vis, uno para la lectura del archivo de configuración y uno para la escritura del archivo.

El sub Vi de escritura se encuentra dentro del bucle principal del programa, este espera a que se presione el botón de guardar configuración, y se ejecuta una vez para cada sensor. El sub Vi de lectura se encuentra fuera del bucle principal, ya que solo se ejecuta al principio del programa para cargar los datos de configuración.

El sub Vi de escritura toma de entrada la configuración actual de algún sensor como cluster, y el nombre del sensor. El flujo de programación del Sub Vi es sencillo, simplemente extrae las configuraciones individuales del cluster de entrada, y utiliza la función predefinida por labview de "config:write\_key", para escribir cada configuración individualmente al archivo.

El sub Vi de lectura tiene de entrada el nombre del sensor, y el puerto de comunicación donde se encuentra el sensor, esto debido a que es el único valor que no se almacena en la configuración. La salida corresponde a la configuración del sensor extraída como un cluster. El flujo de programación de este sub vi es el inverso del anterior, usando "config:read\_key" para leer uno por uno los valores de la configuración, y juntando los como un cluster.

## Cantidad configurable de sensores

Respondiendo a la necesidad que indica que la cantidad de sensores en funcionamiento debe poder ser modificable, se diseña un sistema donde se puedan agregar o eliminar sensores fácilmente en el mismo programa.

```
[Sensor 1]
Tipo = "PM500"
zona = "MF"
id = "8364"
tiempo = 1.000000
Write = ""
Path = "C:\\Users\\andre\\Downloads\\General_12_6_25_v1"
mode = 0
direccion = 3
PuertoV = 1.000000

[Sensor 2]
Tipo = ""
zona = ""
id = ""
tiempo = 1.000000
Write = ""
Path = ""
mode = 0
direccion = 0
PuertoV = 1.000000

[Sensor 3]
Tipo = ""
zona = ""
id = ""
tiempo = 1.000000
Write = ""
Path = ""
mode = 0
direccion = 0
PuertoV = 1.000000
```

**Figura 4.2:** Ejemplo archivo de configuración [Elaboración Propia]

Para lograr esto se diseña un sistema donde la mayor parte posible del código de la escritura y almacenamiento de los sensores es genérica e independiente del tipo del sensor. Esto nos permite copiar y pegar el código múltiples veces para crear un total de 10 sensores de manera rápida que se pueden configurar individualmente en el programa ejecutable.

La configuración y salida de cada sensor se encuentra en una página diferente de una pieza tipo "tab control", esto significa que se puede ir entre un sensor y otro para configurar sus valores y alarmas. Un ejemplo de un tab con la configuración vacía de un sensor se encuentra en la figura 4.3.

Cada sensor se puede configurar, e iniciar la comunicación y medición de manera individual. Este funcionamiento se explica en la próxima sección. Para poder controlar cuáles sensores son visibles en el panel principal, se utilizan botones de agregar y borrar sensores, los cuales esconden o muestran pestañas con sensores. Esto se realiza mediante un array de valores booleanos que guardan la información de cuáles sensores existen actualmente. Esta información también se guarda en el archivo de configuración.



**Figura 4.3:** Panel de configuración de un sensor [Elaboración Propia]

## Lectura de los sensores

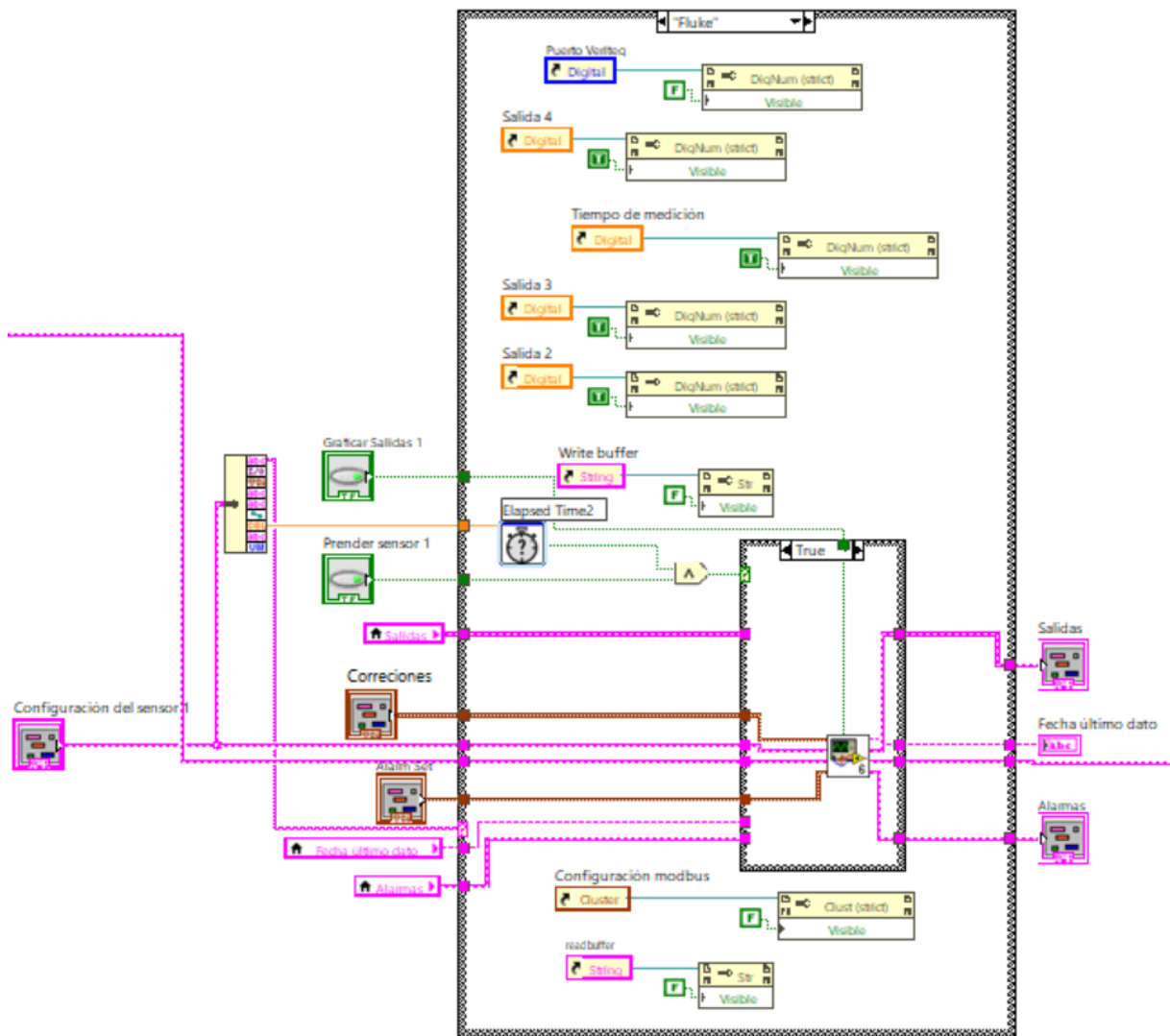
Cada configuración de sensor definida en las pestañas debe poder realizar lecturas de los 4 tipos de sensores encontrados en el laboratorio, dependiendo de qué sensor se define que se está leyendo. Para esto en el código se utiliza una estructura de selección, la cual ejecuta un Sub Vi diferente dependiendo del tipo de sensor que se define. Además se utiliza una estructura de "Elapsed Time" para solo realizar la medición cada cierta cantidad de tiempo.

Todos estos Sub Vis tienen estructuras parecidas, pero difieren en configuraciones para poder leer y almacenar la información de cada sensor de manera correcta. Aquí también se definen cuáles entradas y salidas son visibles para cada tipo de sensor, para que en el panel principal solo se muestren los valores relevantes al tipo de sensor. En la figura 4.4 aparece un ejemplo de una estructura de selección con un tipo de sensor elegido. Se puede visualizar a la izquierda y derecha de la estructura las entradas y salidas. También se puede apreciar abajo en el centro el sub Vi con el control de ejecución mediante el "Elapsed time".

El sub Vi de la figura 4.4 corresponde a "(Tipo de sensor)\_main". Este sub Vi realiza mediante otros Sub Vis la lectura en sí del sensor, la aplicación de correcciones, la verificación de los valores leídos, la creación de gráficas, el almacenamiento de valores en el archivo de texto, y el control de alarmas. En esta sección revisaremos la lectura de cada tipo de sensor, el resto de los sub Vis se describen en secciones específicas a continuación.

El código de lectura de los sensores ya existía parcialmente como pruebas de concepto de varios operarios del laboratorio y proyectos anteriores que construyeron sistemas para medir ciertos sensores.

Cada código de lectura de sensor está guardado como un Sub-vi distinto. Estos tienen una entrada, el puerto de comunicación en el que están conectados, y salidas dependiendo de la cantidad de variables que mide el sensor. A continuación se describe cada sub Vi de lectura.



**Figura 4.4:** Ejemplo Selección de Sensor en el código [Elaboración Propia]

- Vaisala: El sensor vaisala utiliza la comunicación Serial RS232, para realizar la lectura el programa labview abre el puerto de comunicación, y envía un string "SEND". Al recibir esto, el vaisala responde con los datos actuales. El programa realiza la lectura del buffer de entrada, y obtiene un string con los datos. Para extraer los valores de temperatura, humedad, y presión, se lee empezando desde las posiciones 40, 56, y 24, por una longitud de 5, 5, y 6 caracteres respectivamente.
- Veriteq: El sensor veriteq utiliza la comunicación Serial RS232, y una librería denominada Spectrum para poder realizar la lectura de los valores. Esta librería ya se tenía en el laboratorio, aunque no se tiene su código fuente. Empieza definiendo el address del logger como 0, luego envía comandos para leer los canales 0 y 1, correspondiendo a temperatura y humedad.
- PM500: El sensor PM500 utiliza la comunicación modbus por Bus RS485. Para realizar la lectura se ejecuta un función predefinida de LabView "MB Serial Master

Query”, el cual realiza un query de modbus para leer los registros del PM500. De estos registros se toma el primer valor y se divide por 100 para tener el voltaje leído.

- fluke: El sensor fluke utiliza la comunicación serial RS232. Parecido al vaisala, al sensor fluke se le envían comandos de READ?1 y READ?2, para despues leer el string devuelto, y obtener los valores en la posición 0 y 6 del string correspondiente a las mediciones de temperatura y humedad para cada sensor. El código de lectura del fluke aparece en la figura 4.5.

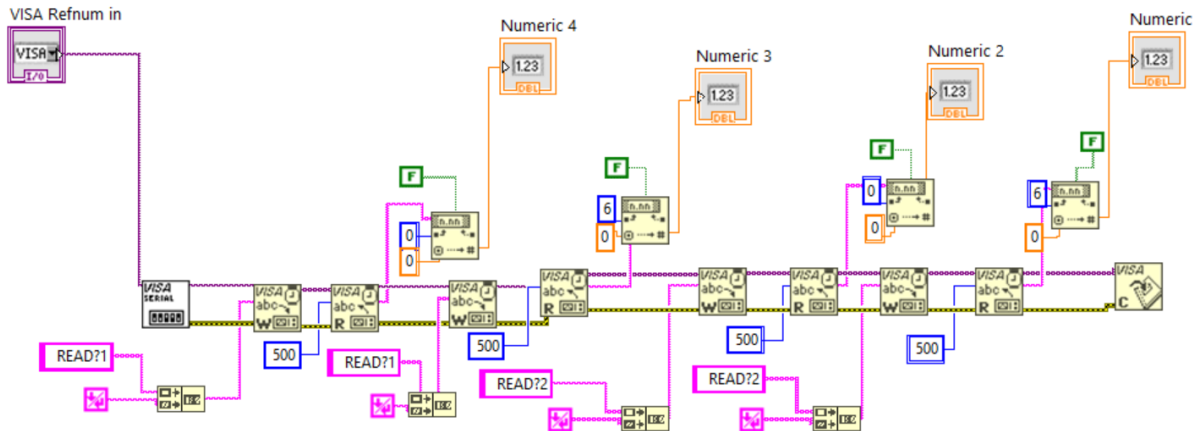


Figura 4.5: Código Lectura fluke [Elaboración Propia]

## Almacenamiento de los datos

El sub Vi encargado de almacenar los datos en un txt es idéntico para cada tipo de sensor, simplemente varía en qué salidas escribe al archivo dependiendo del tipo de sensor. Esta función genera dos archivos de texto, uno diario al que se le va agregando una fila cada vez que el sensor realiza una medición, y uno permanente que siempre tiene los últimos 100 valores medidos por el sensor. También tiene una entrada para las alarmas que le permite escribir un archivo de alarma cuando este sucede.

El flujo de código de este sub Vi tiene de entradas los datos necesarios para saber donde guardar el archivo según la configuración del panel principal, los datos a guardar, y un array de booleanos que indica cuales de esos datos se tienen que guardar, esto es lo que permite que un solo sub Vi se use para guardar la información de todos los sensores. El código inicia tomando los valores de las variables medidas y concatenando las como un string, con tabs de separación. También se le agrega la fecha y hora al dato. Después se agregan al archivo definido para almacenar los datos. Hay 3 documentos que se pueden producir, el documento diario incluye la fecha en el nombre del archivo, por lo que se genera uno nuevo cada día. El documento permanente no incluye la fecha, por lo que una vez que llega a una cierta cantidad de valores (100 en este caso), se empiezan a eliminar los datos más antiguos del archivo. El documento de alarmas solo se crea cuando hay

una alarma, e incluye la fecha en el nombre del archivo, por lo tanto cada día se crea a lo máximo un archivo de alarmas con los datos y las horas de las alarmas en su interior.

El formato de las filas es de spreadsheet separado por tabs, este permite una buena lectura a simple vista, pero también permite que el power BI y el microsoft access puedan leer el archivo fácilmente sin perder datos. Por último, al ser un tipo de texto separado por tabulaciones se puede importar sin problemas a un documento excel. Un ejemplo de un txt producido aparece en la figura 4.6.

```

31/05/25      23:59:55      23.17   890.08   47.03
01/06/25      00:00:00      23.14   890.09   46.80
01/06/25      00:00:05      23.11   890.08   46.61
01/06/25      00:00:10      23.09   890.08   46.58
01/06/25      00:00:15      23.06   890.08   46.36
01/06/25      00:00:20      23.03   890.08   45.99
01/06/25      00:00:25      22.98   890.08   45.79
01/06/25      00:00:30      22.98   890.08   45.83
01/06/25      00:00:35      22.93   890.08   45.63
01/06/25      00:00:40      22.92   890.08   45.50
01/06/25      00:00:45      22.88   890.07   45.64
01/06/25      00:00:50      22.85   890.08   45.48
01/06/25      00:00:55      22.81   890.08   45.54
01/06/25      00:01:00      22.78   890.07   45.06
01/06/25      00:01:05      22.75   890.07   45.00
01/06/25      00:01:11      22.73   890.07   44.63
01/06/25      00:01:15      22.70   890.07   44.61
01/06/25      00:01:20      22.66   890.07   44.54
01/06/25      00:01:25      22.65   890.07   45.54
01/06/25      00:01:30      22.62   890.07   47.03
01/06/25      00:01:35      22.63   890.07   48.57
01/06/25      00:01:40      22.62   890.07   49.10
01/06/25      00:01:45      22.62   890.07   49.52
01/06/25      00:01:50      22.61   890.07   49.54
01/06/25      00:01:55      22.64   890.06   49.59
01/06/25      00:02:00      22.67   890.06   49.84
01/06/25      00:02:05      22.71   890.07   50.37
01/06/25      00:02:15      22.73   890.07   50.42
01/06/25      00:02:20      22.76   890.07   50.56
01/06/25      00:02:25      22.80   890.07   49.63
01/06/25      00:02:30      22.82   890.07   49.69
01/06/25      00:02:35      22.83   890.07   49.91
01/06/25      00:02:40      22.87   890.07   49.95
01/06/25      00:02:45      22.88   890.07   50.08
01/06/25      00:02:50      22.90   890.07   51.14
01/06/25      00:02:55      22.93   890.06   51.14

```

**Figura 4.6:** Ejemplo salida txt de sensores. [Elaboración Propia]

## Generación de las gráficas

La generación de las gráficas es manejado por un sub-vi que puede crear copias paralelas de si mismo, y que se muestra en pantalla cuando es llamado por el código principal. Estas

gráficas aparecen como ventanas separadas del código principal, permitiendo al usuario acomodar las gráficas de los sensores dependiendo de sus prioridades. Un ejemplo de las gráficas generadas aparecen en la figura 4.7

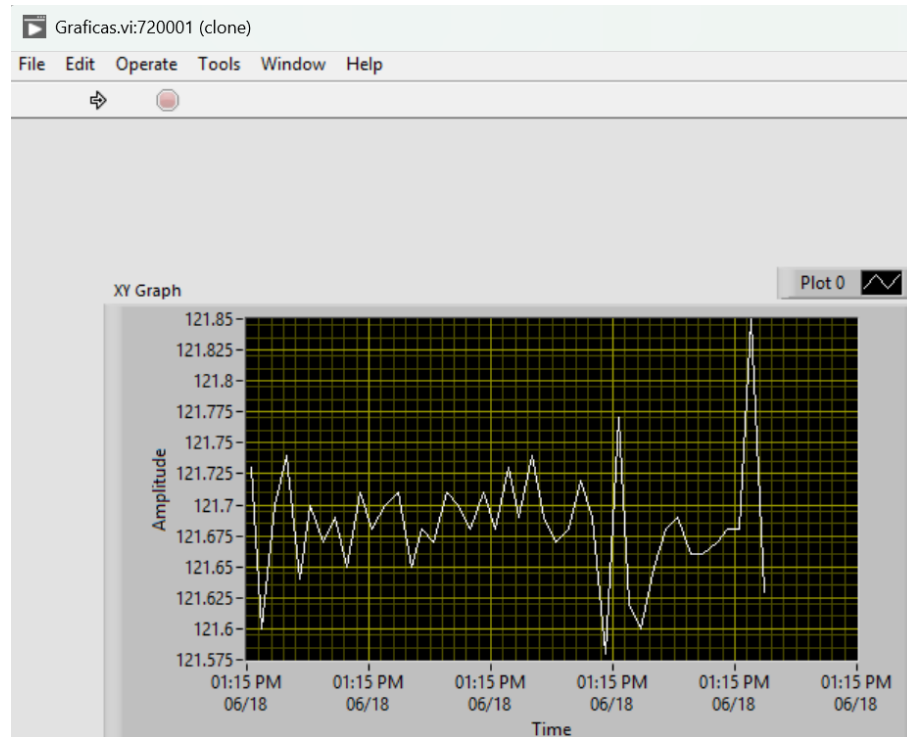


Figura 4.7: Ejemplo gráfica LabView [Elaboración Propia]

## Correcciones y Alarmas

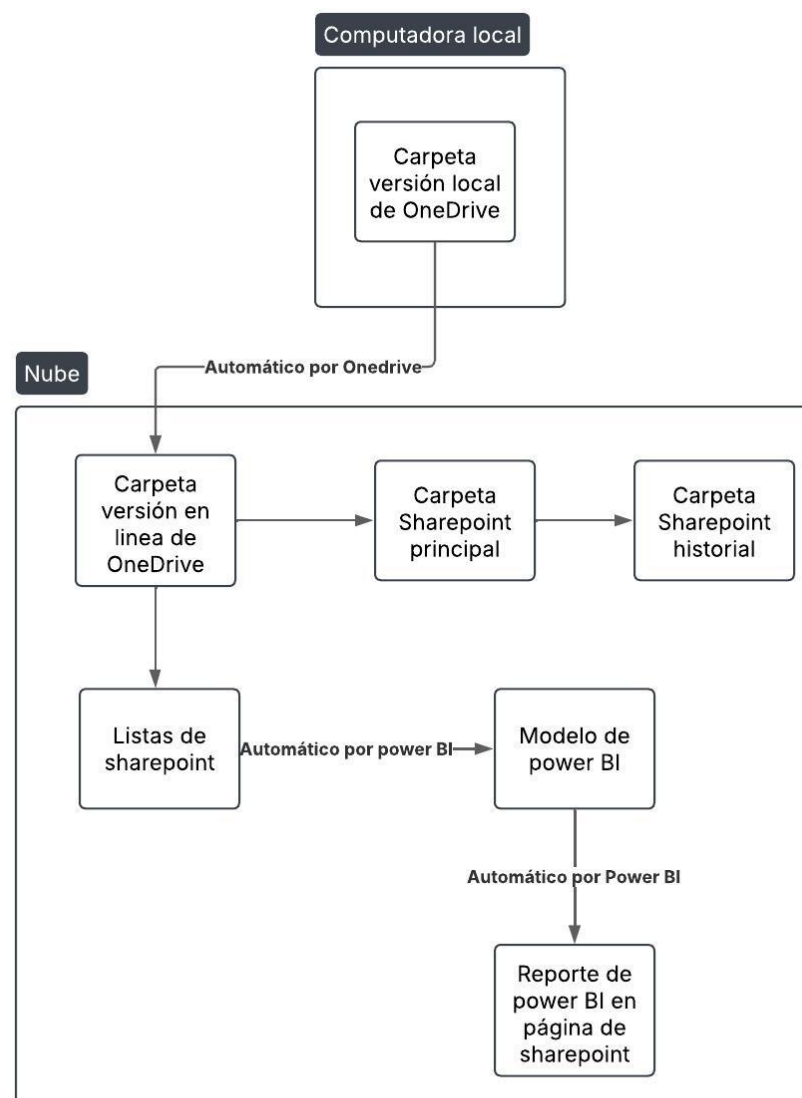
Las correcciones son un sub Vi pequeño que permite calibrar manualmente los valores de los sensores una vez se han leídos, estos se definen en el panel principal del labview y se agregan a los valores medidos por los sensores antes de ser analizados, almacenados, o graficados.

El sub-vi de las alarmas es configurable con límites máximos y mínimos. Cuando la salida del sensor a la cual se le configuraron las alarmas se sale de los bordes definidos, se genera un archivo txt con los datos de la alarma, y se prende un led en la pantalla principal del labview.

La lógica de control de este sistema es una simple comparación de los datos leídos versus los valores límites definidos en el panel principal por el usuario. Si algún valor se sale de lo permitido, se envía un booleano true al sub Vi de generación de archivos para que genere la alarma.

## 4.2 Comunicación local-nube

La comunicación local-nube es manejado por una variedad de programas del ambiente ejecutivo de microsoft. Debido a que el punto final de la visualización en la nube es el sharepoint, las decisiones de utilizar otros sistemas del ambiente de microsoft salieron relativamente forzadas, debido a la prioridad que microsoft le da a las conexiones con sus propios sistemas. La figura 4.8 muestra el movimiento de los archivos y los datos desde la computadora local hasta la nube. Todas las flechas que no están definidas se realizan mediante Power Automate. Importante mencionar que en la nube el camino superior es para los archivos con los datos, mientras que el camino inferior es para los datos de los archivos que se van a mostrar en la visualización en línea.



**Figura 4.8:** Diagrama conexiones local-nube [Elaboración Propia]

### 4.2.1 One drive

El primer programa que realiza la conexión con la nube es el onedrive. La carpeta de onedrive funciona como una carpeta en la nube con una copia local, y todo documento que se agregue a la carpeta local se manda a la carpeta en la nube, y viceversa.

Al hacer que el labview exporte los archivos de txt en la carpeta local del onedrive, el programa automáticamente los sube a la nube, sin necesidad de código adicional de parte nuestra. Un ejemplo de una carpeta con los archivos txt de un sensor aparece en la figura 4.9

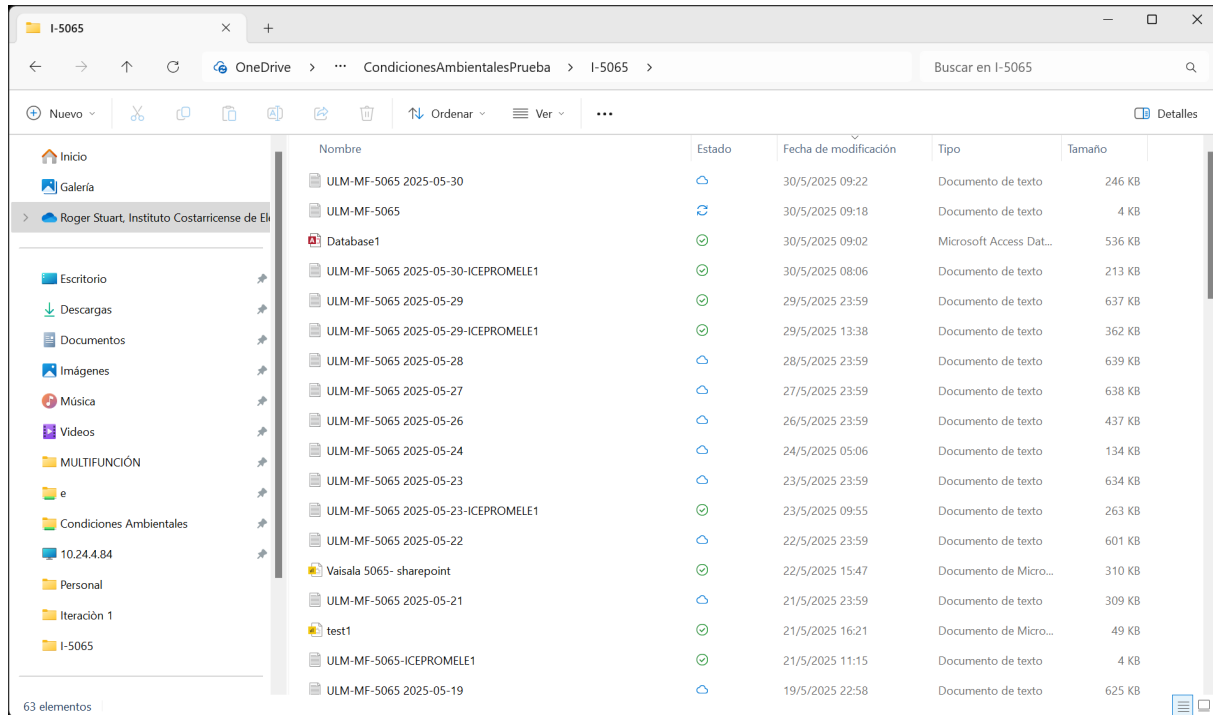


Figura 4.9: Ejemplo carpeta onedrive de un sensor. [Elaboración Propia]

### 4.2.2 Power Automate

Una vez que los documentos están en la nube del onedrive se deben pasar a su posición final en la nube de sharepoint. Para esto se utiliza el programa power automate, este permite configurar flujos que realizan acciones automáticamente después de algún trigger.

En esta parte del proyecto el power automate realiza dos acciones, primero mueve los archivos de la carpeta de onedrive a una carpeta de sharepoint, y luego, al final del día, mueve el archivo txt del día en el mismo sharepoint, a un folder de historial, dejando abierto espacio en la carpeta principal para el archivo del nuevo día. Los flujos actualmente funcionando en el laboratorio se aprecian en la figura 4.10, mientras que las carpeta de sharepoint aparecen en las figuras 4.11 y 4.12.

A continuación aparece una descripción de cada flujo y su funcionamiento:

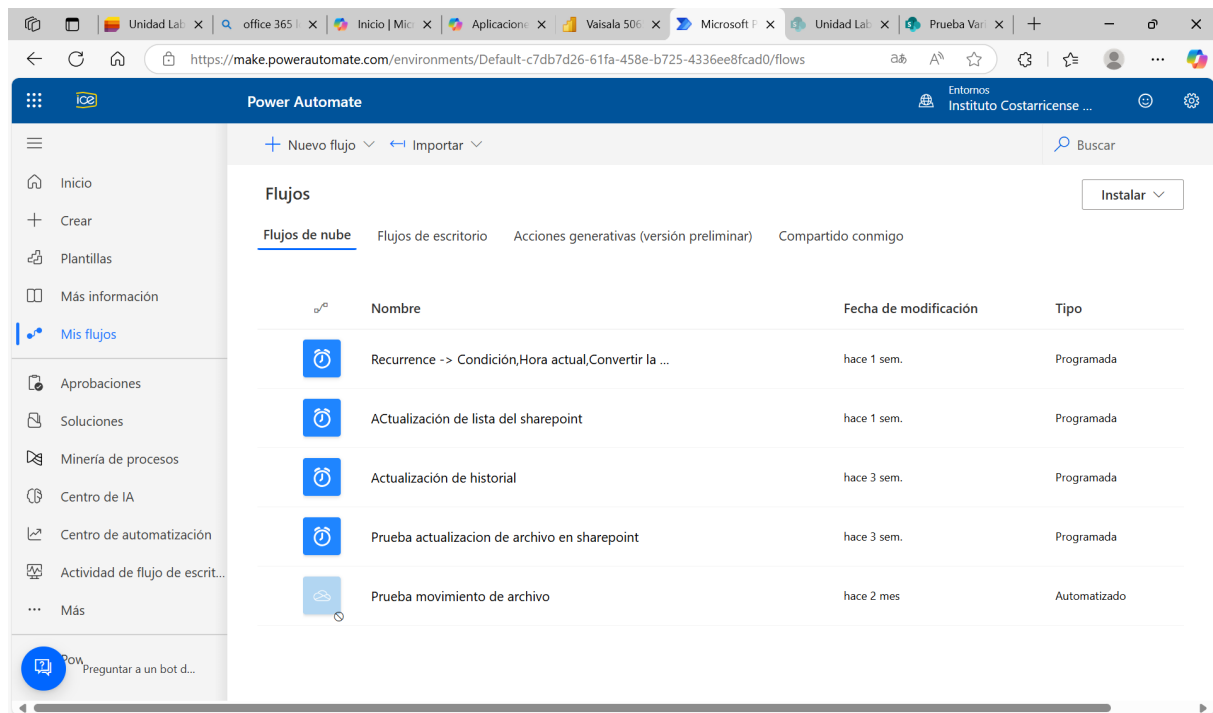


Figura 4.10: Flujos de power automate activos actualmente. [Elaboración Propia]

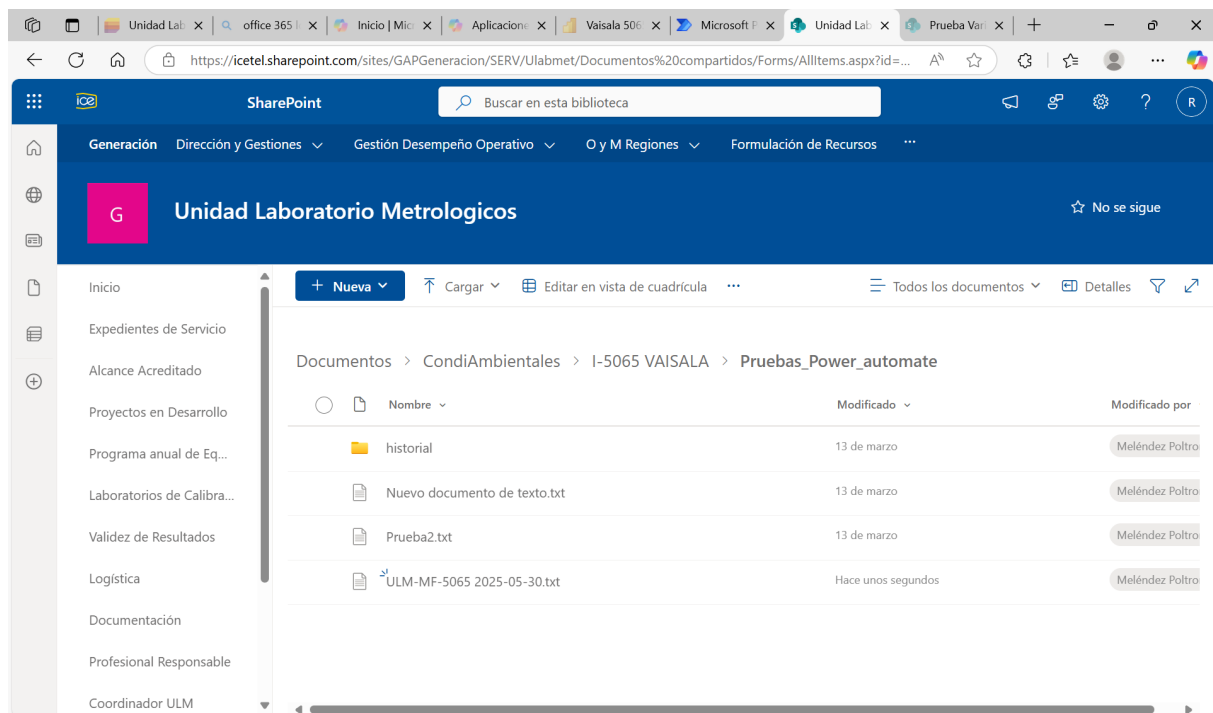
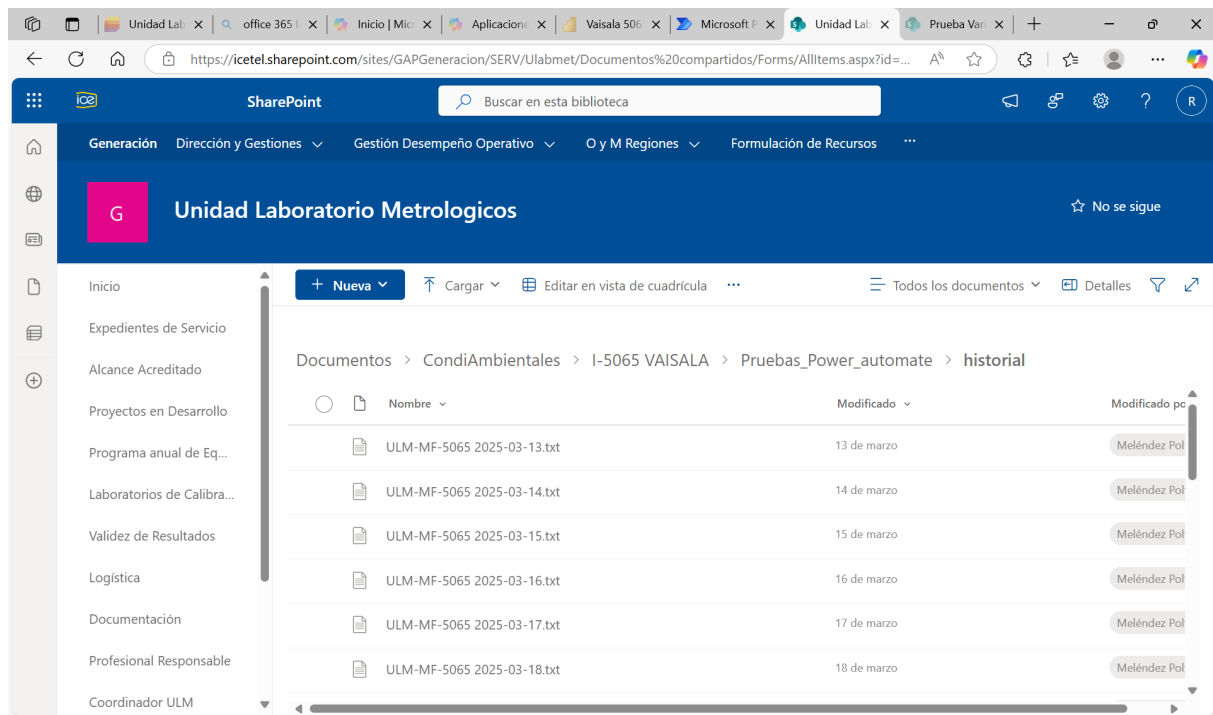


Figura 4.11: Carpeta datos sharepoint. [Elaboración Propia]

- Actualización de archivos en sharepoint: Este flujo mueve los archivos desde el onedrive al sharepoint. Para esto, primero identifica el archivo del día actual en el onedrive, luego extrae su contenido, para proceder a pegarlo en el archivo del sharepoint. Si este archivo no existe en el sharepoint se crea uno nuevo para después



**Figura 4.12:** Carpeta historial de datos en sharepoint. [Elaboración Propia]

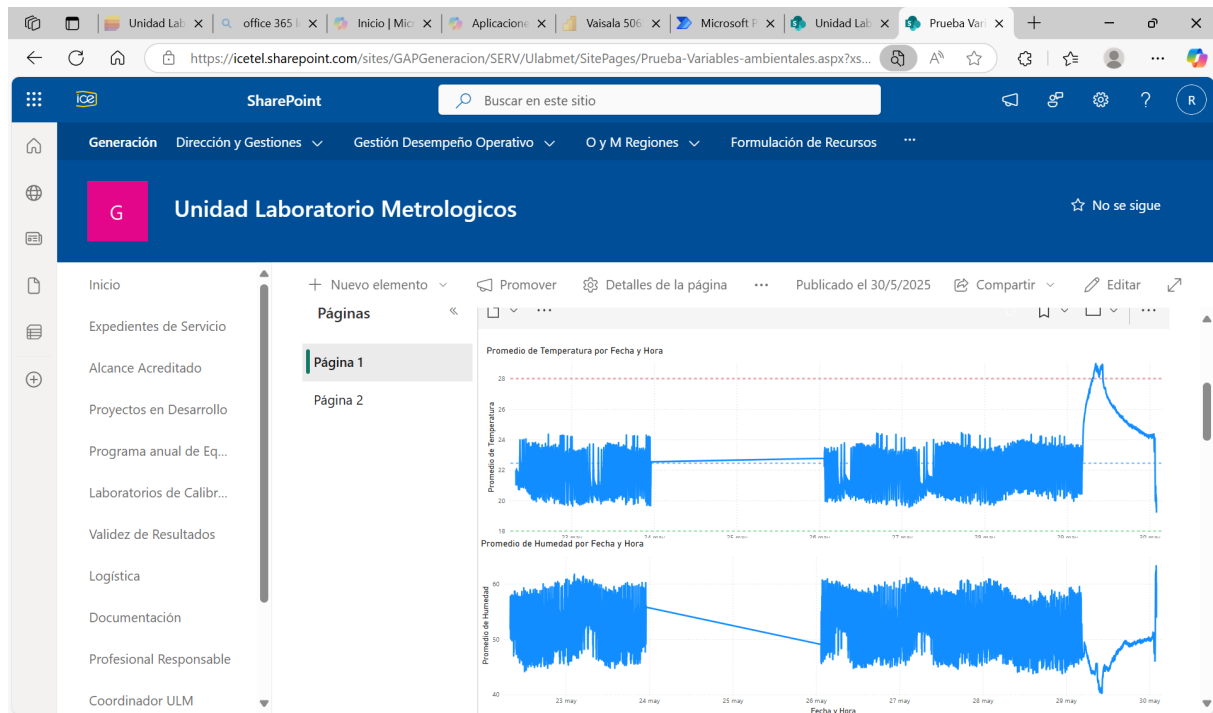
pegar la información.

- Actualización de historial en sharepoint: Este flujo al final del día identifica el archivo de sharepoint del día actual, y lo mueve a una carpeta denominada historial.
- Actualización de listas de sharepoint: Este flujo se ejecuta cada minuto, que es el valor máximo permitido con la licencia actual del ICE. Empieza tomando la línea final del archivo de onedrive de resultados del sensor, correspondiente al último dato. Una vez que este se obtiene como un string, se extraen los valores de los datos y el timestamp. Por último estos datos se usan para agregar una nueva línea en la lista del sensor en sharepoint.
- Actualización del Power BI: Este flujo se ejecuta periódicamente para actualizar el reporte del power BI, indicándole que debe volver a tomar los valores de la lista de sharepoint.

### 4.2.3 Power BI

Aparte de pasar el archivo a la carpeta de sharepoint, se necesita mostrar en una página del sharepoint los datos del sensor, para esto el sharepoint tiene pre-configurado una conexión con power BI. Este programa de visualización permite crear reportes dinámicos con datos en tiempo real e interactividad con el usuario. Una prueba inicial de la página del sharepoint con el reporte de power BI se aprecia en la figura 4.13. En esta gráfica se

puede notar un periodo de desconexión durante el fin de semana, y un evento de fallo en el sistema de enfriado que muestra un pico en la temperatura.



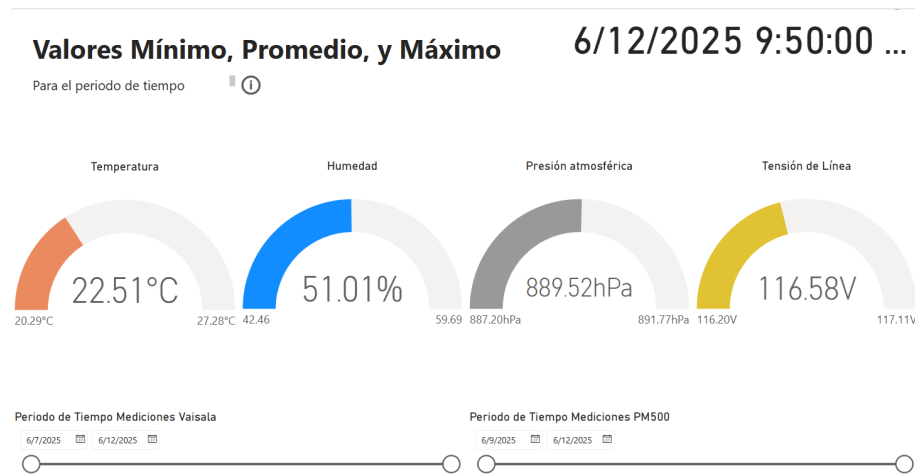
**Figura 4.13:** Pagina de sharepoint con reporte de Power BI. [Elaboración Propia]

Para la versión final de la página en línea del sharepoint se tomó en cuenta los valores y resultados más útiles para los operadores del laboratorio. También se enfocó en crear un sistema dinámico que se podría configurar para mostrar las gráficas en el periodo de tiempo donde se realizan las calibraciones. El resultado de esto aparece en las figuras 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17. Esta visualización corresponde al Vaisala y PM500 de la sección de multifunción.

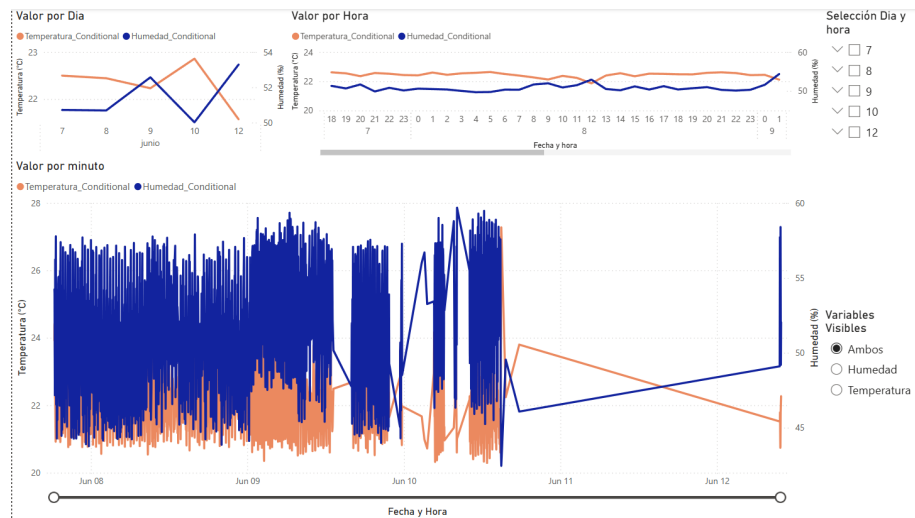
La página de dashboard ofrece una vista rápida a los promedios, mínimos, y máximos leídos por los sensores en el periodo de tiempo correspondiente. Con las barras de abajo de la pantalla se puede modificar el periodo de tiempo que el dashboard utiliza para calcular los valores.

En las demás páginas aparece una visualización gráfica de los datos. Hay gráficas de promedio diario, por horas, y por minuto. En todas las gráficas se puede seleccionar un periodo de tiempo para mostrar en todas las gráficas solo los valores correspondientes a ese periodo de tiempo. En la gráfica de temperatura y humedad se puede elegir mostrar ambas líneas o solo alguna de las dos.

El servicio de Power Bi se ejecuta en la nube, entonces se necesita de una manera para pasar los datos de la computadora local a un lugar en la nube donde el power BI pueda absorber estos valores.



**Figura 4.14:** Página de Dashboard Power BI [Elaboración Propia]



**Figura 4.15:** Página de Temperatura y humedad Power BI [Elaboración Propia]

#### 4.2.4 Sharepoint lists

La solución para el power BI es una combinación de power automate y sharepoint lists. Las listas de sharepoint es la solución a manejo de datos en la nube de microsoft, y mediante un flujo de power automate, se pueden tomar los últimos datos de los sensores que aparece en el archivo txt del onedrive, y subirlos a la lista correspondiente del sensor en la nube. Un ejemplo de una lista con datos de un sensor aparece en la figura 4.18.

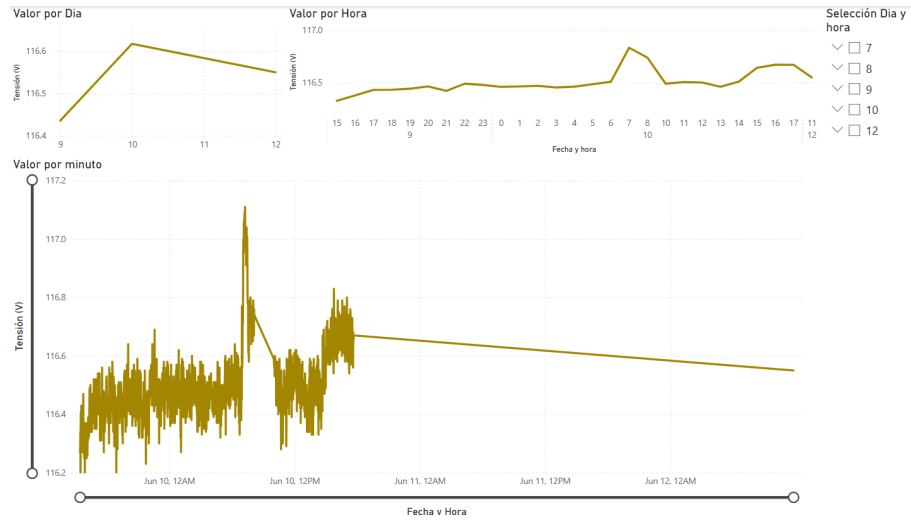


Figura 4.16: Página de tensión de línea Power BI [Elaboración Propia]

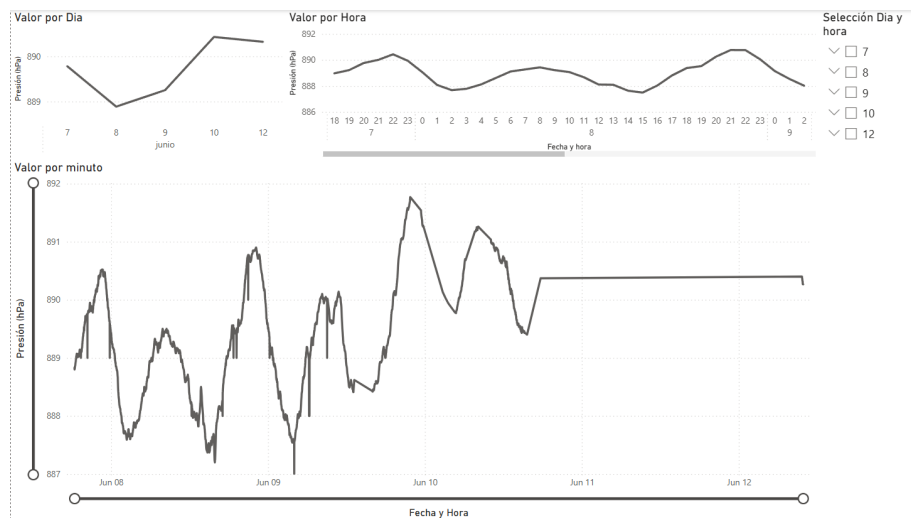
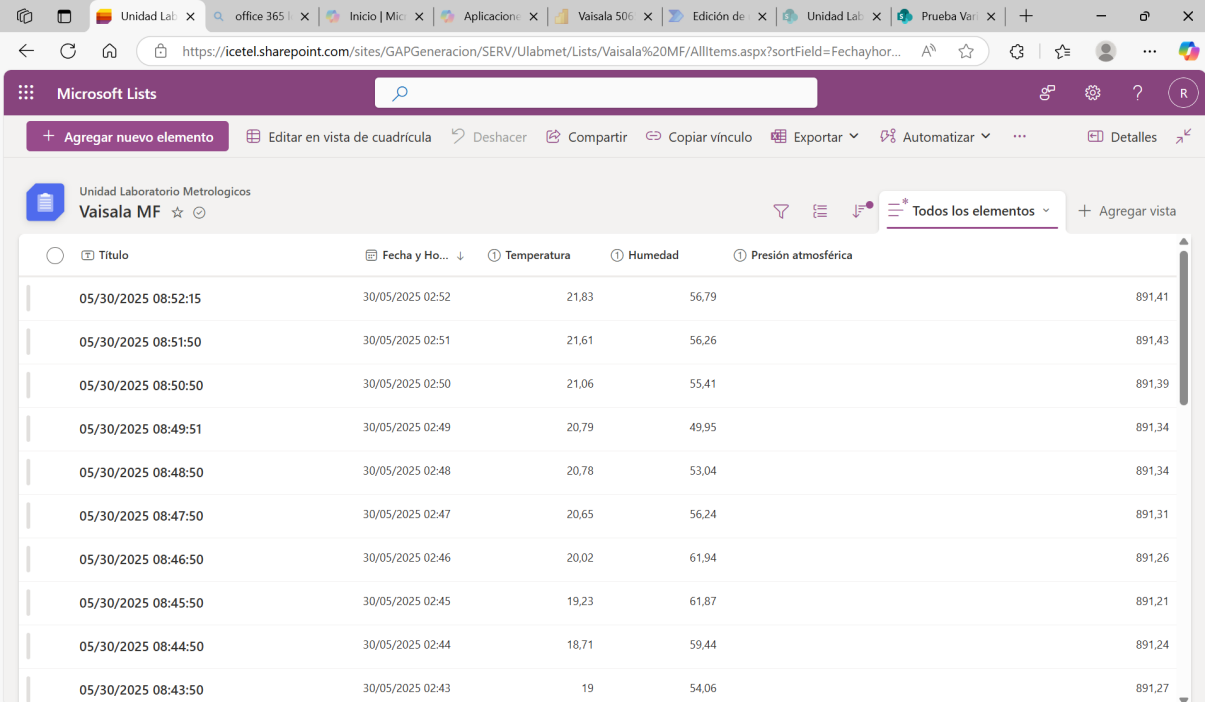


Figura 4.17: Página de Presión atmosférica Power BI [Elaboración Propia]



The screenshot shows a SharePoint list titled 'Vaisala MF' with the following columns: 'Titulo', 'Fecha y Ho...', 'Temperatura', 'Humedad', and 'Presión atmosférica'. The list contains 11 rows of data, sorted by 'Fecha y Ho...' in descending order. The data is as follows:

Titulo	Fecha y Ho...	Temperatura	Humedad	Presión atmosférica
05/30/2025 08:52:15	30/05/2025 02:52	21,83	56,79	891,41
05/30/2025 08:51:50	30/05/2025 02:51	21,61	56,26	891,43
05/30/2025 08:50:50	30/05/2025 02:50	21,06	55,41	891,39
05/30/2025 08:49:51	30/05/2025 02:49	20,79	49,95	891,34
05/30/2025 08:48:50	30/05/2025 02:48	20,78	53,04	891,34
05/30/2025 08:47:50	30/05/2025 02:47	20,65	56,24	891,31
05/30/2025 08:46:50	30/05/2025 02:46	20,02	61,94	891,26
05/30/2025 08:45:50	30/05/2025 02:45	19,23	61,87	891,21
05/30/2025 08:44:50	30/05/2025 02:44	18,71	59,44	891,24
05/30/2025 08:43:50	30/05/2025 02:43	19	54,06	891,27

**Figura 4.18:** Ejemplo de lista en sharepoint con datos del sensor. [Elaboración Propia]

# Capítulo 5

## Resultados y Análisis

### 5.1 Evaluaciones y Pruebas de Concepto

La última fase a realizar en este proyecto de la metodología de Ulrich-Eppinger corresponde a la evaluación y prueba del concepto implementado. Este paso nos permite verificar que la solución propuesta pueda cumplir con los objetivos y métricas que se plantearon al inicio del proceso.

Para esto, se definieron una serie de pruebas. Cada una responde a una o varias métricas, y se adapta a las condiciones y variables que se encuentran en el entorno del proyecto. Esta sección se realiza en tres partes; primero se definen las métricas a probar, los valores objetivo de estos, y los factores de influencia. Luego se definen las pruebas a realizar, y por último se realiza un análisis de los resultados.

#### 5.1.1 Variables de muestra y factores de influencia

Para las pruebas se busca medir todas las métricas que requieran de la puesta en práctica de un prototipo funcional para verificar su cumplimiento. En este caso, las métricas a medir hacen referencia a la confiabilidad y frecuencia de las mediciones tanto en el local como en la nube, además de una medida general de la usabilidad de las visualizaciones generadas. Un resumen de los valores a medir y sus factores de influencia aparece en la tabla 5.1. Para las variables de prueba se propone tomar en cuenta los distintos sensores, las frecuencias de lectura, y las distintas salidas del sensor en sí.

#### 5.1.2 Definición de Pruebas realizadas

Una vez definidas las variables a medir, se definen las pruebas específicas. Una característica importante que se debe de tomar en cuenta en las pruebas es la cantidad de mediciones a realizar. En este caso se usó la fórmula de Cochran para obtener el tamaño

**Tabla 5.1:** Objetivos, Variables de muestra, y factores de influencia a Evaluar [Elaboración Propia]

Objetivos	Variable de muestra	Factores de influencia
El sistema mide las variables ambientales con una alta frecuencia.	Frecuencia de medición	Sensores, Frecuencia programada
La transmisión de los datos a la computadora local es altamente confiable.	Confiabilidad de transmisión de datos	Sensores, Frecuencia programada, Salida
Los datos en el sharepoint se actualizan en tiempo real	Frecuencia de actualización de los datos en la nube	Sensores, Frecuencia programada, Salida
El sistema es cómodo de usar para los operadores del laboratorio	Tiempo de capacitación requerido para manejar las visualizaciones	

de muestra necesario para esta verificación. Esta fórmula funciona para poblaciones grandes, tirando a infinitas, lo que es congruente con la naturaleza de las mediciones de sensores ambientales. La formula correspondiente aparece en la ecuación 5.1.

$$n_0 = \frac{Z^2 * p * (p - 1)}{e^2} \quad (5.1)$$

Reemplazamos con los siguientes valores:

- Z corresponde al nivel de confianza requerido para la medición, expresado como un valor Z. En este caso tomamos 90%, este es un valor de confianza alto, pero no representa un proceso o medición crítico. El valor de Z correspondiente a 90% de confianza es de 1.645.
- p corresponde al porcentaje de la población que esperamos que tenga la característica. En casos como estos donde no se tiene información previa de estas medidas específicas se toma la medida más conservadora de 0.5.
- e corresponde al margen de error permitido, en este caso se busca un error máximo de 5%, correspondiente a 0.05.

Al reemplazar estos valores en la función, obtenemos una cantidad de muestras recomendada de 271. Con este valor determinado se procede con la definición de las pruebas individuales.

### Prueba 1. Frecuencia de medición

La prueba se realizará en el laboratorio con la computadora local y el sistema de red conectados a los sensores a medir. Al poner a funcionar el código de labview, se guardarán

los datos medidos por el sensor en un archivo de texto. Se utilizarán los datos de tiempo que indica cada punto de dato para medir en promedio la frecuencia de medición, y la variabilidad de este. Los factores de influencia en esta prueba son: Los sensores que se usan y la frecuencia de medición nominal del programa. Se harán pruebas con los sensores veriteq, fluke, y PM500.

### **Prueba 2. Confiabilidad de transmisión**

La prueba se realizará en el laboratorio con la computadora local y el sistema de red conectados a los sensores a medir. Al poner a funcionar el código de labview, se guardarán los datos medidos por el sensor en un archivo de texto. Se utilizarán los datos de tiempo y valor que indica cada punto de dato para medir si ese punto de dato llegó correctamente a la computadora local. Los factores de influencia en esta prueba son: Los sensores que se usan, la variable a medir del sensor, y la frecuencia de medición nominal del programa. Se harán pruebas con los sensores veriteq, fluke, y PM500.

### **Prueba 3. Frecuencia de actualización de datos en la nube**

La prueba se realizará en el laboratorio con la computadora local y el sistema de red conectados a los sensores a medir. Estará funcionando el código de labview y los flujos de power automate que suben los datos a las listas de sharepoint. Se utilizarán los datos de tiempo que indica cada punto de dato para medir si ese punto de dato llegó correctamente a la nube. Los factores de influencia en esta prueba son: Los sensores que se usan y la variable a medir del sensor. Se harán pruebas con los sensores Vaisala y PM500.

### **Prueba 4. Usabilidad de las visualizaciones**

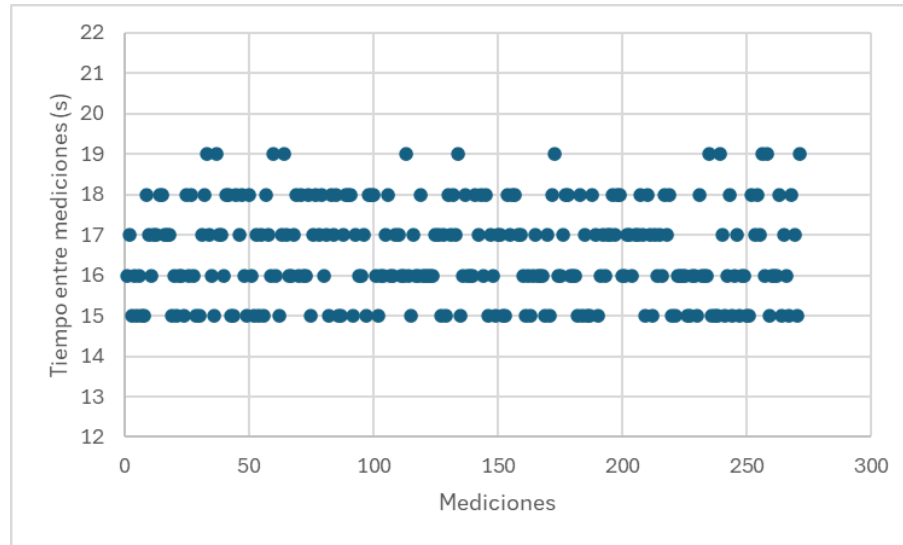
Para medir la facilidad de uso de las visualizaciones generadas se decidió usar la escala SUS (System usability Scale), que está estandarizada con respecto a la norma ISO 9241-11. Esta escala permite cuantificar la facilidad de uso de un sistema, mediante una serie de acciones que realizan los usuarios, y un cuestionario. Este cuestionario se respondió mediante el programa de google forms. Las visualizaciones a probar son del programa local Labview en el laboratorio, y del reporte de power BI en el sharepoint.

## **5.2 Resultados**

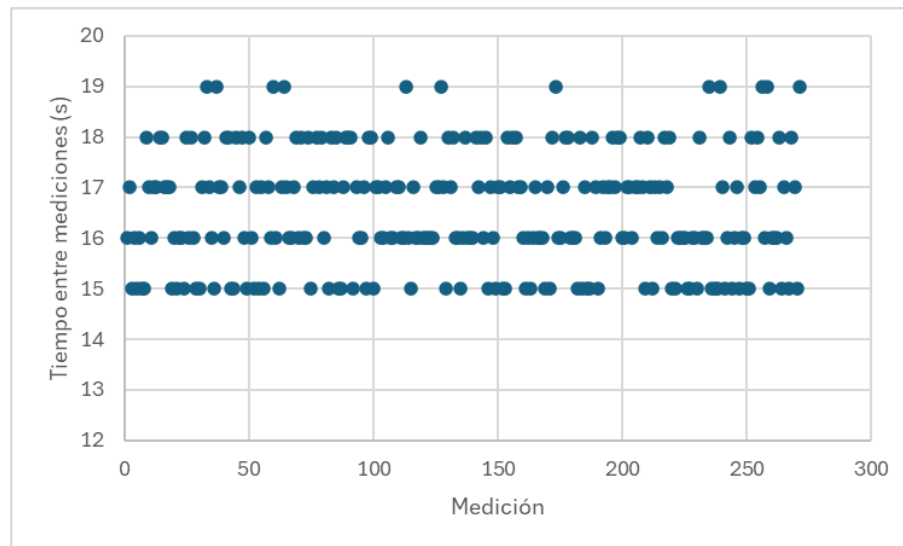
### **5.2.1 Prueba 1. Frecuencia de medición**

Los resultados obtenidos de esta prueba son los siguientes: Gráficas de dispersión de la cantidad de tiempo entre mediciones, promedio y desviación estándar de los tiempos entre

mediciones. Las gráficas aparecen en las figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4. La tabla con valores aparece en la tabla 5.2.

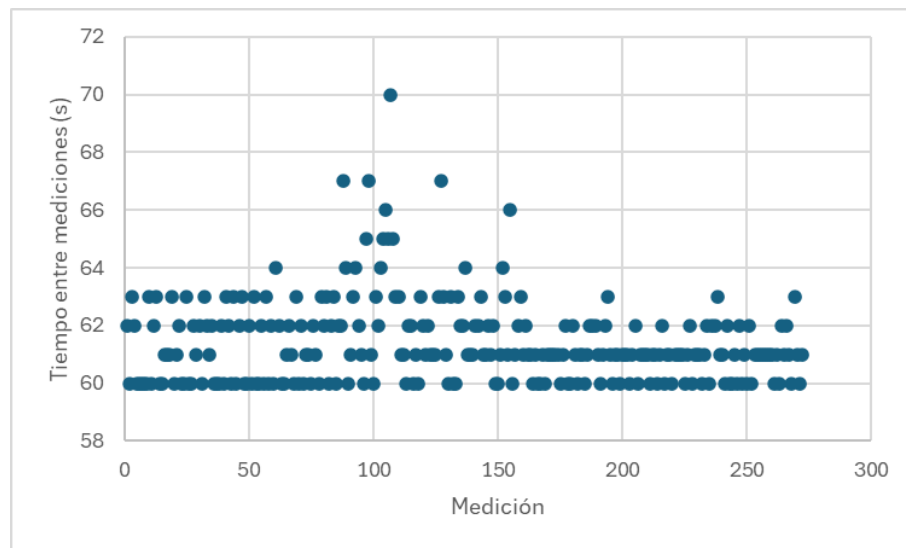


**Figura 5.1:** Tiempo entre mediciones del sensor Fluke con valor nominal 15 segundos [Elaboración Propia]

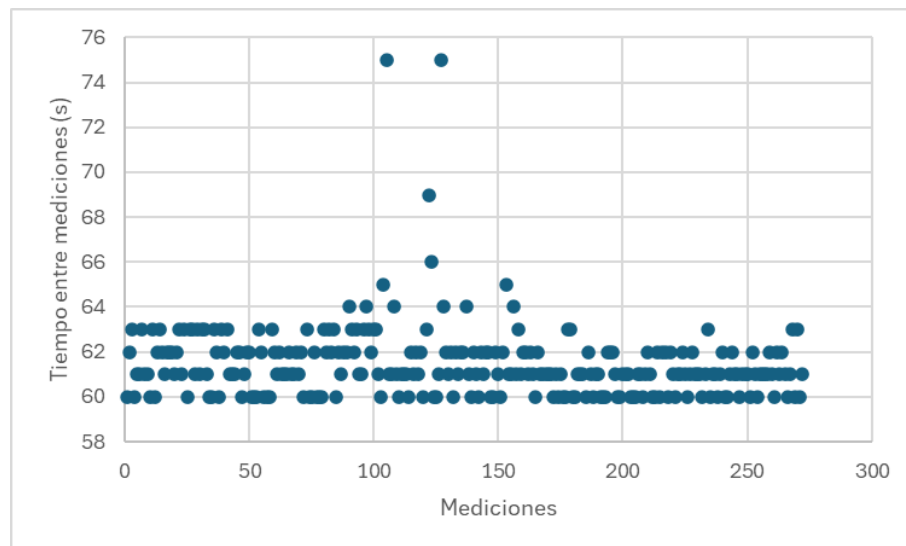


**Figura 5.2:** Tiempo entre mediciones del sensor PM500 con valor nominal 15 segundos [Elaboración Propia]

Al analizar los datos observamos una variabilidad bastante alta entre la cantidad de tiempo, sin importar el tiempo nominal entre mediciones, hay un desvío de cero a tres segundos habitualmente. Esto se ve evidenciado por la desviación estándar, y el promedio que tiende a estar 1.5 segundos por encima del valor nominal. Estas pruebas fueron realizadas con los 5 sensores actuales del laboratorio corriendo al mismo tiempo, y se sospechó que podría ser una consecuencia de eso. Para probarlo se realizaron pruebas con solo un sensor activo, y se fueron descartando sensores. En la figura 5.5, se aprecia



**Figura 5.3:** Tiempo entre mediciones del sensor PM500 con valor nominal 60 segundos [Elaboración Propia]



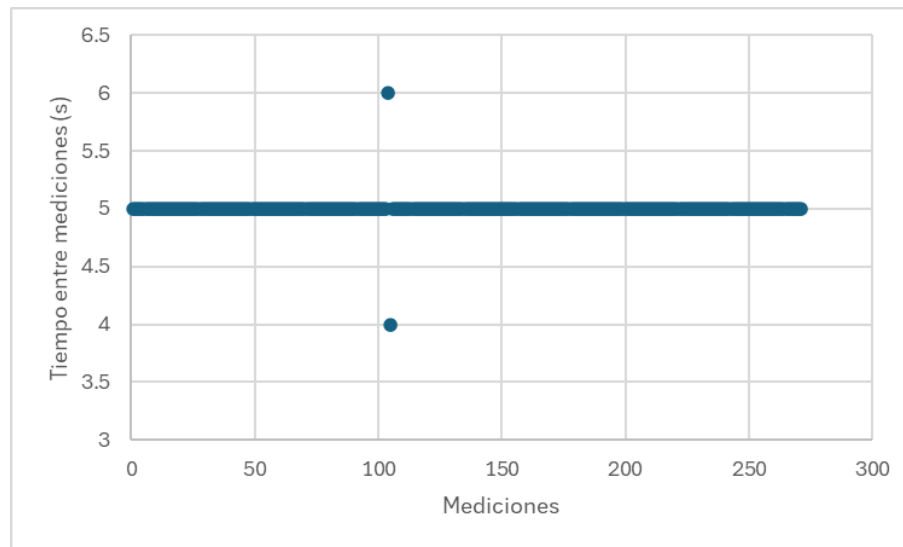
**Figura 5.4:** Tiempo entre mediciones del sensor Fluke con valor nominal 60 segundos [Elaboración Propia]

la gráfica de dispersión de tiempo entre mediciones de un sensor Veriteq cuando se están corriendo todos los sensores menos el Vaisala.

Para esta prueba el tiempo promedio fue de 5, y la desviación estándar fue de 0.086, un cambio drástico de las pruebas anteriores. Los demás sensores también presentaron resultados iguales mientras que el Vaisala no estuviera conectado. Al analizar mejor el funcionamiento del código y el sensor, se descubrió que el sensor Vaisala no se estaba leyendo correctamente en todos los ciclos. Esto causaba que el programa se retrasara ligeramente por unos cuantos segundos. Aún con el retraso de 1.5 segundos en promedio, este no presenta un problema grave para los operadores que tienden a grabar los datos en tiempos de un minuto o más.

**Tabla 5.2:** Resultados Prueba 1. [Elaboración Propia]

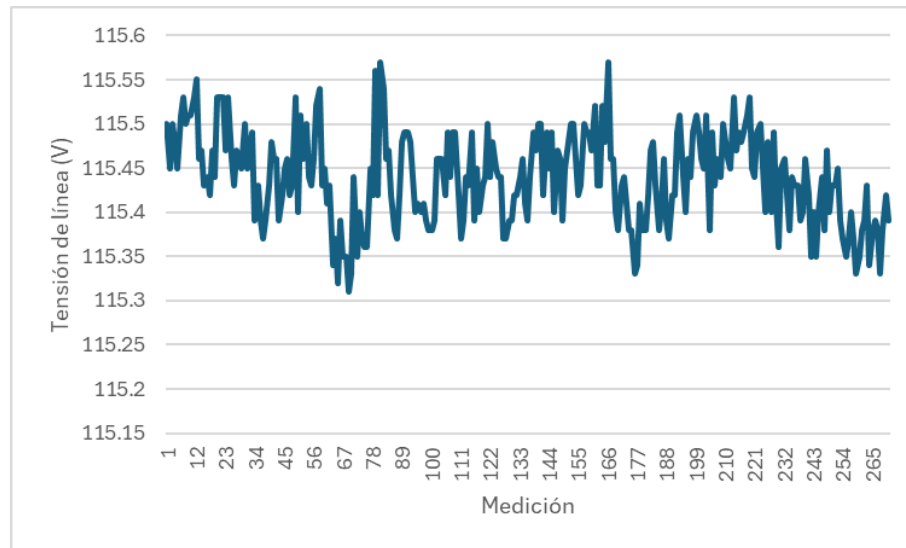
Sensor	Tiempo nominal	Promedio	Desviación Estándar
PM500	15	16.55	1.16
	60	61.37	1.46
Fluke	15	16.55	1.16
	60	61.46	1.69

**Figura 5.5:** Tiempo entre mediciones del sensor Veriteq con valor nominal 5 segundos [Elaboración Propia]

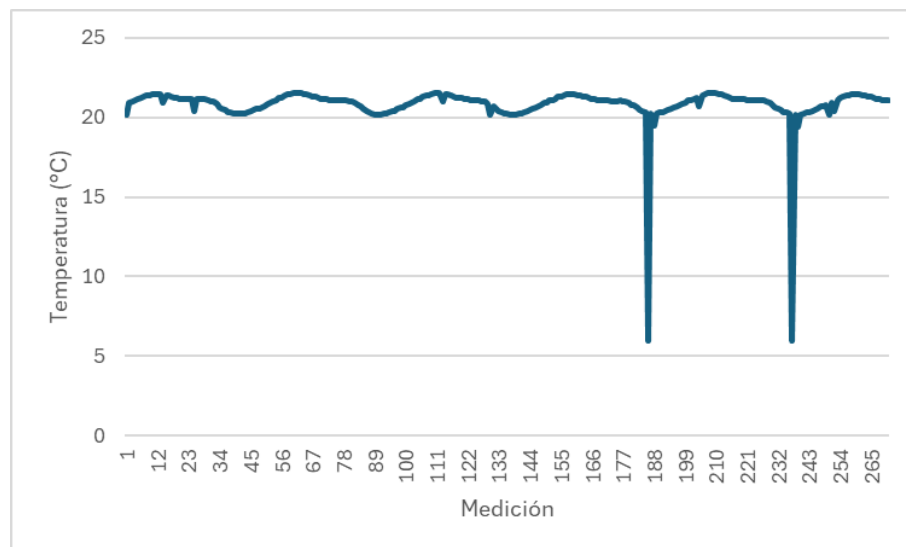
## 5.2.2 Prueba 2

Para la siguiente prueba se realizan gráficas de línea de los valores medidos en los sensores para analizar en qué puntos se realizaron mediciones incorrectas. Se tomaron mediciones de los sensores PM500 y Fluke, al mismo instante que las pruebas anteriores. En la figura 5.6 aparece la gráfica de tensión de línea, mientras que en 5.7 y 5.8 aparecen las gráficas de temperatura y humedad, respectivamente.

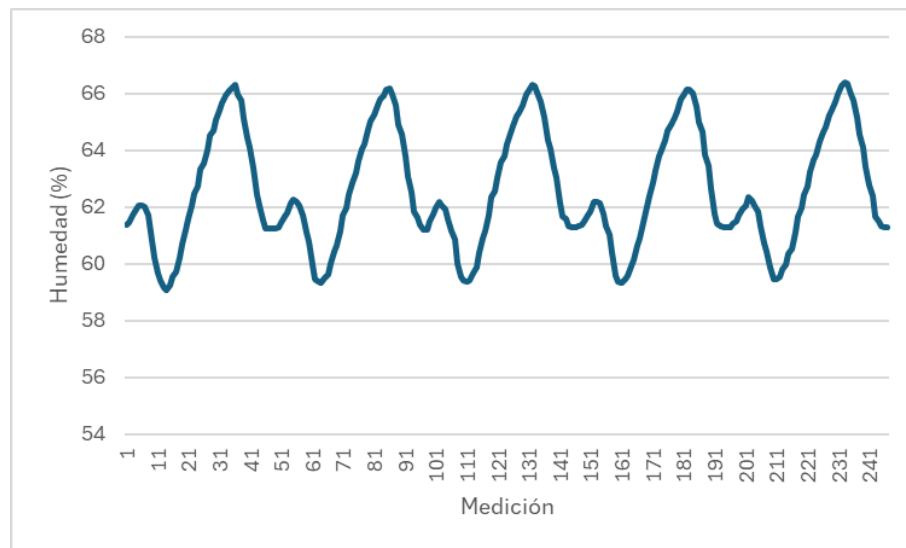
Al analizar estas gráficas se aprecian solo dos situaciones en las que el sensor fluke leyó un valor de temperatura incorrecto, y un total de 0 situaciones en las que se presentó un error de comunicación para las mediciones de tensión de línea y humedad. Al ser un total de 271 mediciones se tiene un porcentaje de comunicación efectiva de 99.26%. Este valor indica que el sistema pasa la prueba de forma correcta.



**Figura 5.6:** Tensión de Línea medida por PM500 MF [Elaboración Propia]



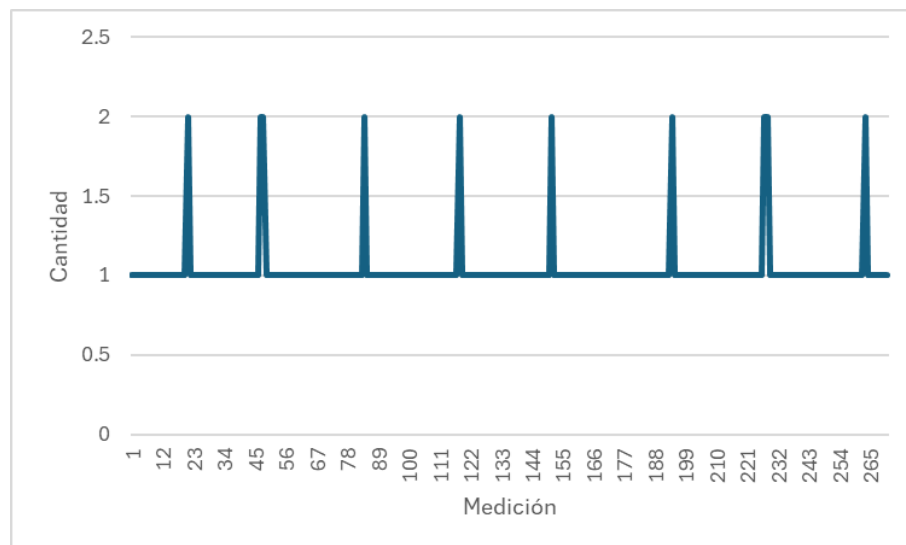
**Figura 5.7:** Temperatura medida por el sensor Fluke [Elaboración Propia]



**Figura 5.8:** Humedad medida por el sensor Fluke[Elaboración Propia]

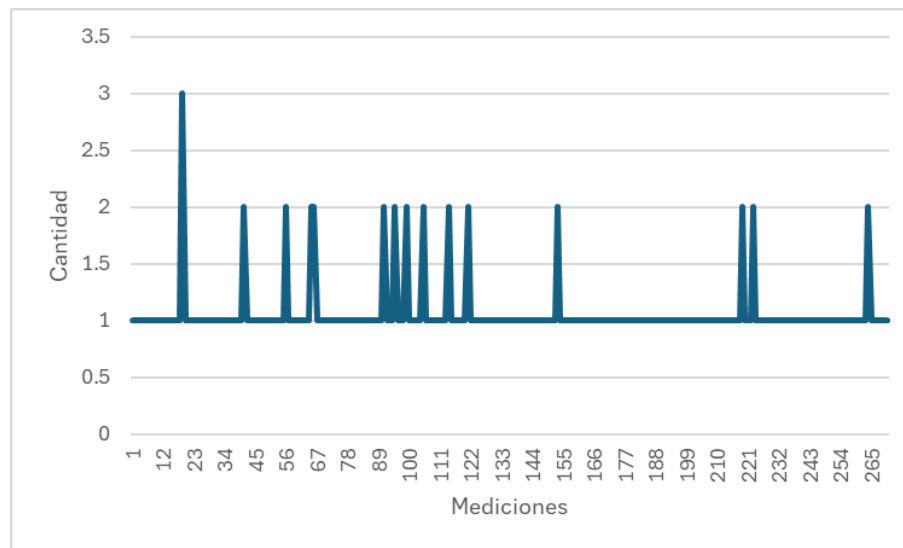
### 5.2.3 Prueba 3

Para esta prueba se analizaron varios indicadores para revisar la conexión entre los valores obtenidos de la visualización de la red, y los valores almacenados en la computadora local. Se buscaron situaciones en las que valores en la visualización de nube no coincidían con los valores locales, o situaciones donde los valores de la nube estaban repetidos, indicando que no se encontró un valor nuevo en el sistema local. En la figura 5.9 aparece una gráfica indicando la cantidad de veces que apareció un mismo tiempo en la visualización del PM500. Las situaciones en donde el valor es mayor a uno indican un valor repetido, y por ende, un valor incorrecto comunicado.



**Figura 5.9:** Cantidad de mediciones con Timestamps iguales en visualización del PM500

En la figura 5.10 aparece la misma gráfica pero con la medición de presión del vaisala.



**Figura 5.10:** Cantidad de mediciones con Timestamps iguales en visualización del Vaisala [Elaboración Propia]

Al analizar estas gráficas se identificaron 10 casos en la visualización del PM500, y 16 casos en la visualización del vaisala donde se presentaron errores. Cabe resaltar que en el vaisala al menos 3 de los casos fueron debidos a errores en la lectura del sensor que siguieron presentes en la visualización. Al ser un total de 271 mediciones se tiene un porcentaje de valores transmitidos correctamente de 96.31% y 94.1%. Estos valores son satisfactorios para la prueba.

#### 5.2.4 Prueba 4

Para la prueba de visualizaciones se obtuvieron las siguientes respuestas al cuestionario estandarizado. En las tablas 5.3 y 5.4 aparecen los resultados para la visualización en el sharepoint con Power BI, y del panel de control del programa de labview, respectivamente.

Al aplicar los cálculos para obtener la nota promedio en un rango del 0 al 100 se obtiene un valor de 91.7 para la visualización de power BI, y 92.5 para el panel de control de labview, lo que representa una usabilidad alta, y por ende satisfactorio para la prueba.

### 5.3 Validaciones Adicionales

Aparte de las pruebas anteriores, se realizaron pruebas de validación para comprobar el funcionamiento correcto y las características del sistema. Estas se describen a continuación.

**Tabla 5.3:** Resultados cuestionario visualización Power BI. [Elaboración Propia]

1. Creo que me gustaría usar este sistema con frecuencia.	5	5	5
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo.	2	2	2
3. Pensé que el sistema era fácil de usar.	5	5	5
4. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder usar este sistema.	1	2	1
5. Encontré que las diversas funciones del sistema estaban bien integradas	5	5	5
6. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.	1	1	1
7. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar este sistema muy rápidamente.	5	5	5
8. Encontré el sistema muy incómodo de usar.	1	2	1
9. Me sentí muy seguro(a) usando el sistema.	4	5	5
10. Necesité aprender muchas cosas antes de poder empezar a usar este sistema	2	2	3

**Tabla 5.4:** Resultados cuestionario Panel de control Labview. [Elaboración Propia]

1. Creo que me gustaría usar este sistema con frecuencia.	5	5	5
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo.	3	1	1
3. Pensé que el sistema era fácil de usar.	5	5	5
4. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder usar este sistema.	1	1	1
5. Encontré que las diversas funciones del sistema estaban bien integradas	4	5	5
6. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.	2	1	1
7. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar este sistema muy rápidamente.	5	5	5
8. Encontré el sistema muy incómodo de usar.	2	1	1
9. Me sentí muy seguro(a) usando el sistema.	5	5	5
10. Necesité aprender muchas cosas antes de poder empezar a usar este sistema	3	3	1

### 5.3.1 Accesos remotos del Sharepoint

Se accedió al sharepoint desde dos lugares distintos para comprobar la conectividad. Uno de estos fue en el mismo laboratorio, usando la red de internet del ICE, el otro fue desde San Sebastián San José. Las evidencias de esta validación aparecen en las gráficas 5.11 y 5.12 respectivamente.

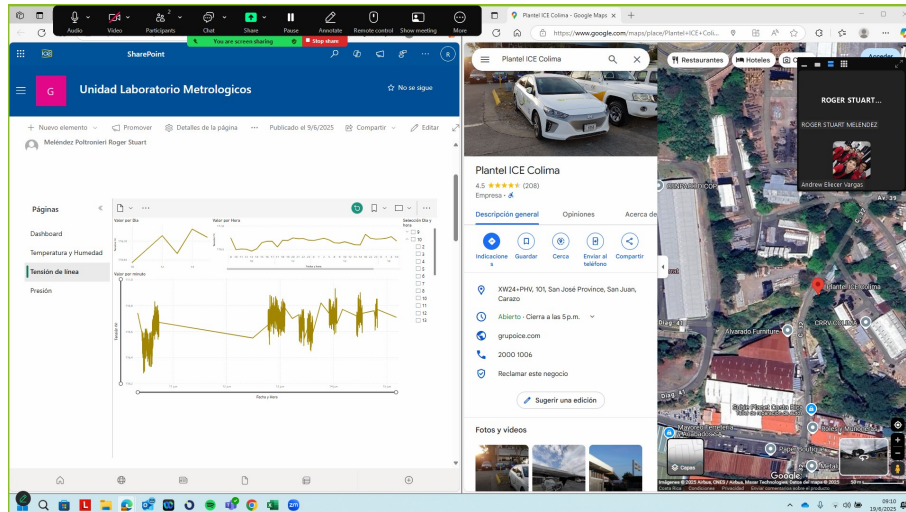


Figura 5.11: Conexión remota Plantel Colima [Elaboración Propia]

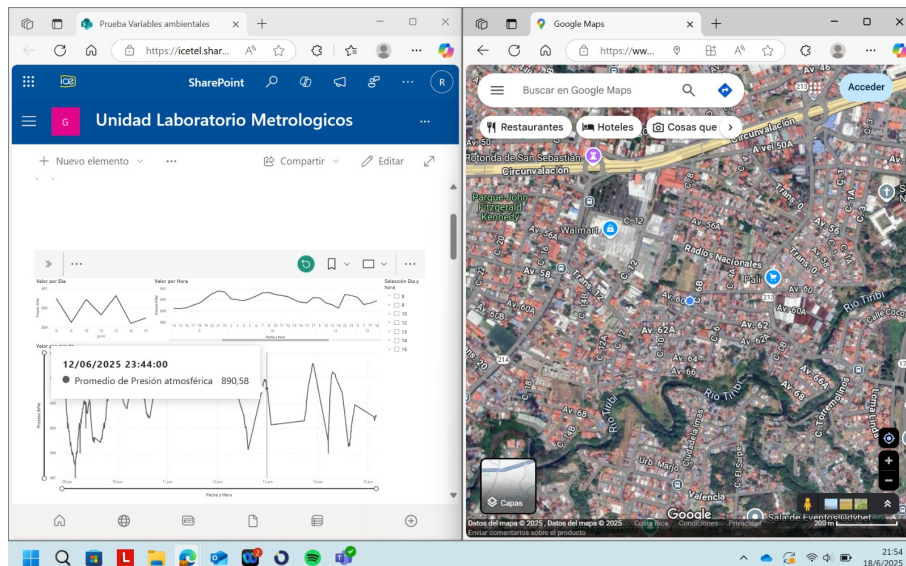


Figura 5.12: Conexión remota San Sebastián [Elaboración Propia]

### 5.3.2 Validaciones Visuales

Se realizaron varios videos para verificar el funcionamiento completo del sistema. En el primer video se muestra el sensor vaisala funcionando con la visualización local y en la nube, y comparando lo con el programa propietario del sensor <https://youtu.be/Z2Ko-DCp7Pk>.

En el segundo se compara el dato mostrado en la pantalla del sensor PM500, con la pantalla de la visualización local. Esto nos permite comprobar la velocidad de actualización del sistema <https://youtu.be/6qCGBaW10XA>.

## 5.4 Análisis económico

Se realizó un análisis económico tomando en cuenta los valores de inversión inicial y ganancia esperada anual. En la tabla 5.5 aparece la inversión inicial realizada, tomando en cuenta solo los componentes que no se encontraban disponibles ya en el laboratorio.

**Tabla 5.5:** Inversión Inicial Realizada. [Elaboración Propia]

Componente	Cantidad	Costo individual \$	Costo total \$
Conector USB-RS485	2	14.95	29.9
Conector USB-RS232	4	19.95	79.8
Mano de obra estudiantil (horas)	30	6	180
Mano de obra operario (horas)	10	22	220
		Inversión total \$	509.7

En la tabla 5.6 aparece la ganancia esperada por año, la mayoría de esto se debe a mediciones más rápidas, la eliminación de la necesidad de mover archivos mensualmente, y la prevención temprana de problemas debido a las alertas.

**Tabla 5.6:** Ganancia anual esperada. [Elaboración Propia]

Ganancias y Costos Continuos	Horas Anuales	Ganancia por hora (\$)	Ganancia (\$)/Año
Tiempo de operario	36	22	792
Mano de obra mantenimiento	12	-22	-264
		Ganancia total/Año (\$)	528

Por último, se realiza el cálculo del VAN (valor actual neto), el TIR (tasa interna de retorno) y el ID (Índice de deseabilidad), a un tiempo de 6 años. Estos valores se pueden utilizar para analizar la viabilidad de un proyecto. La descripción de estos valores aparece a continuación:

- El VAN muestra el valor actual de los ingresos futuros esperados, descontados a cierta tasa de interés.

- El TIR indica la tasa de rentabilidad que se espera tener de la inversión.
- El índice de deseabilidad representa la razón entre el valor VAN generado y la inversión inicial, permitiendo analizar los ingresos esperados para el costo de inversión.

Para el VAN se tomó en cuenta la tasa de descuento estándar que usa el ICE para proyectos de un 24%. Al realizar los cálculos, se obtienen los valores de la tabla 5.7.

**Tabla 5.7:** Calculo de VAN, TIR e ID a 6 Años [Elaboración Propia]

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	VAN	TIR	ID
Ingresos		792	792	792	792	792	792			
Egresos	-509.7	-264	-264	-264	-264	-264	-264			
flujo de caja	-509.7	528	528	528	528	528	528	\$1,085	102%	2.129

Para el análisis de los resultados económicos se tomó en cuenta los valores que usa el ICE para la determinación de la factibilidad de los proyectos. Específicamente, un mínimo de 24% de tasa interna de retorno para considerarse deseable. Como el proyecto se encuentra por encima de este valor, corresponde a un proyecto viable para la empresa. El valor del VAN positivo, y el índice de deseabilidad mayor a 1 también indican un proyecto económicamente rentable.

Aparte del ahorro cuantitativo generado por el proyecto, existe una mejora cualitativa definida por un mejor seguimiento de la norma INTE ISO/IEC 17025:2005. Entre las mejoras esperadas se encuentra:

- Una mayor precisión y confiabilidad de los resultados.
- Cumplimiento de la acreditación del laboratorio.
- Una mayor eficiencia al reducir la necesidad de repetir calibraciones debido al mejor manejo de las condiciones del laboratorio.

# Capítulo 6

## Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

- Se diseñó un sistema centralizado de medición de sensores ambientales, usando una red mixta de serial RS232 y RS485, y un programa de Labview.
- Se programó un sistema de power automate, onedrive, y sharepoint para almacenar los datos ambientales locales en la nube.
- Se crearon dos visualizaciones dinámicas mediante power BI y Labview, capaces de mostrar y controlar la información gráfica disponible para los operadores.
- Se diseñó un sistema de alarmas locales y en la nube que permiten avisar de situaciones imprevistas en un tiempo oportuno
- Se validó el funcionamiento de los sensores en conjunto, así como el almacenamiento correcto de los datos medidos en la nube y en la computadora local.
- Se comprobó la facilidad de uso y de entendimiento de las visualizaciones generadas por medio de los operadores del laboratorio.

### 6.2 Recomendaciones

- En el futuro con un aumento en la cantidad de sensores, se puede cambiar más partes del sistema al protocolo modbus, y utilizar los mismos programas con una ligera modificación en el código labview.
- Si se quisiera aumentar la velocidad de actualización del power BI en el sharepoint se puede considerar mejorar la suscripción disponible en el laboratorio a una que permita actualizaciones más amenudo.

- Las visualizaciones de Power BI son fáciles de editar, lo que permitiría una customización o aumento de la información disponible para el operario, si se llegara a ver como necesario.
- Se podría buscar interconectar el sistema actual de medición de variables ambientales al sistema de control de temperatura y humedad, para mejorar la eficiencia de este.

# Bibliografía

- [1] Grupo ICE, “Laboratorios metrológicos y químicos,” n.d., accessed: 2025-05-10. [En línea]. Disponible: <https://grupoice.com/wps/portal/ICE/electricidad/laboratorios/laboratorios-metrologicosyquimicos>
- [2] I. R. González-Barajas, “Diagnóstico del sistema de control de temperatura y humedad del laboratorio de metrología del cdt de gas, ubicado en el municipio de piedecuesta, santander y desarrollo de la metodología para la sintonización de un sistema de control de temperatura,” Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico), Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5519/digital\\_37243.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5519/digital_37243.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [3] J. A. Cajas Ochoa, “Aplicación de cartas de control en el análisis de temperatura y humedad relativa en el Área de presión del laboratorio de metrología del centro de investigaciones de ingeniería (cii) de la universidad san carlos de guatemala,” Master’s thesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala City, Guatemala, 2022. [En línea]. Disponible: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/20248/1/Jorge%20Alejandro%20Cajas%20Ochoa.pdf>
- [4] Instrumentation2000, “Vaisala ptu301 pressure, temperature and humidity transmitter,” <https://www.instrumentation2000.com/vaisala-ptu301.html>, n.d., accessed: 2025-05-15.
- [5] Seacom Systems Sdn Bhd, “DL2000 for gxp compliant continuous monitoring system (cms) – viewlinc,” <https://seacom.com.my/continuous-monitoring-system/36-temperature-and-rh-data-logger-dl2000-for-gxp-compliant-continuous-monitoring-system-cms.html>, 2024, accessed: 2025-06-14. Image of the DL2000 data logger from the product page.
- [6] Fluke Corporation, “Fluke calibration 1620a digital thermometer-hygrometer,” <https://www.fluke.com/en/product/calibration-tools/temperature-calibrators/fluke-calibration-1620a>, 2024, accessed: 2025-06-14. Product image from the official Fluke website.
- [7] 4A Engineering, *PM500 User Manual*, [http://www.4a-engineering.com/images/sub\\_1304828921/PM500%20user%20manual.pdf](http://www.4a-engineering.com/images/sub_1304828921/PM500%20user%20manual.pdf), 2024, accessed: 2025-06-14.

- [8] P. C. Leica Arteaga, “Diseño y construcción de un sistema para control a distancia, por medio de un solo par de hilos, de un conjunto de válvulas de un sistema de riego,” Quito, Ecuador, mayo 2003. [En línea]. Disponible: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11652/1/T2136.pdf>
- [9] H. A. Padilla Guamán, “La gestión documental como estructura en la eficiencia de las actividades en el sector público,” Magíster en Administración de Empresas (Sistemas Integrados de Gestión), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/138135b3-d781-415a-8070-d0d2d37cfef3/content>
- [10] J. C. Brizuela Jiménez, O. A. Rivas Pravía, and J. O. Ortega Acevedo, “Diseño de una aplicación gráfica para codificar y decodificación de variables de dispositivos con protocolo de comunicación modbus usando el software de labview,” Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua, Trabajo Monográfico, abril 2024, tutor: Ing. Jaime Álvarez Calero.
- [11] Raveon Technologies Corp., “An236: Serial communication basics,” Raveon Technologies Corp., Tech. Rep., 2019, accedido: 2025-05-05. [En línea]. Disponible: <https://www.raveon.com/wp-content/uploads/2019/01/AN236SerialComm.pdf>
- [12] National Instruments, “Labview tutorial,” <https://learn.ni.com/learn/article/labview-tutorial>, n.d., accessed: 2025-05-05.
- [13] Microsoft, “Introduction to sharepoint and onedrive in microsoft 365 for administrators,” <https://learn.microsoft.com/en-us/sharepoint/introduction>, accessed: 2025-05-05.
- [14] Microsoft, “Microsoft power automate,” <https://learn.microsoft.com/en-us/training/powerplatform/power-automate>, accessed: 2025-05-05.
- [15] Microsoft, “Power bi tutorial,” <https://learn.microsoft.com/en-us/training/powerplatform/power-bi>, accessed: 2025-05-05.
- [16] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, *Product design and development*. McGraw-hill, 2016.



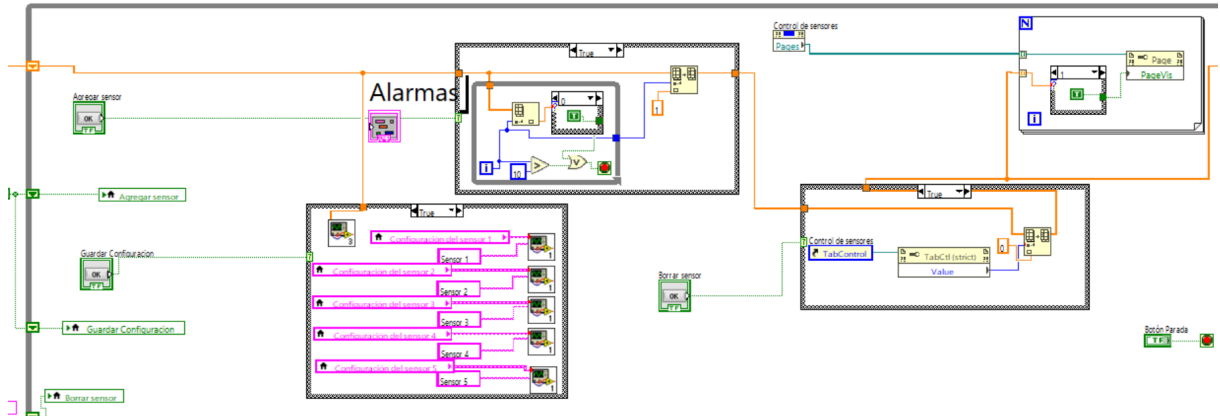


Figura A.2: Código principal: sistemas recurrentes

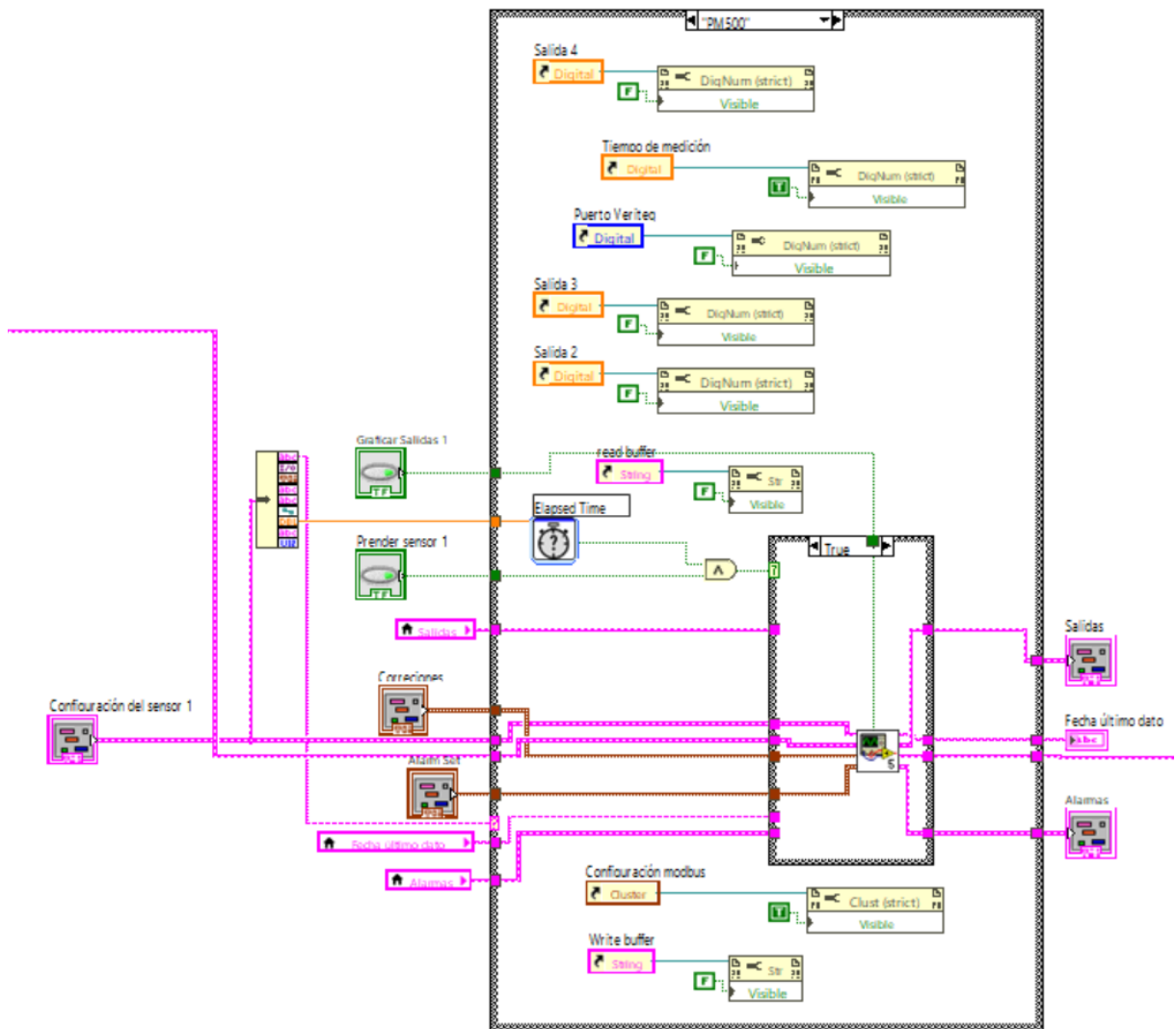


Figura A.3: Código principal: Lectura sensor caso PM500

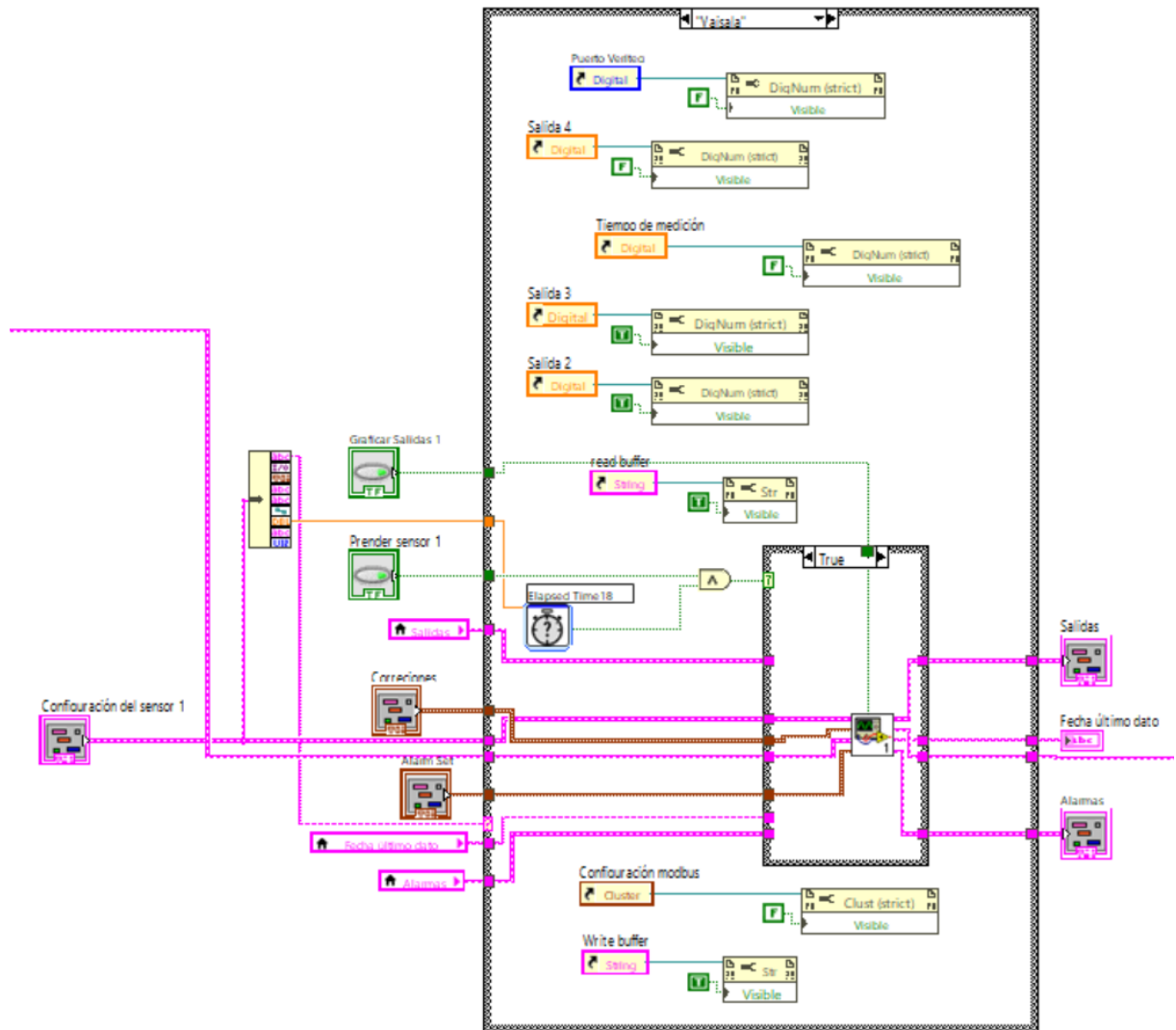


Figura A.4: Código principal: Lectura sensor caso Vaisala



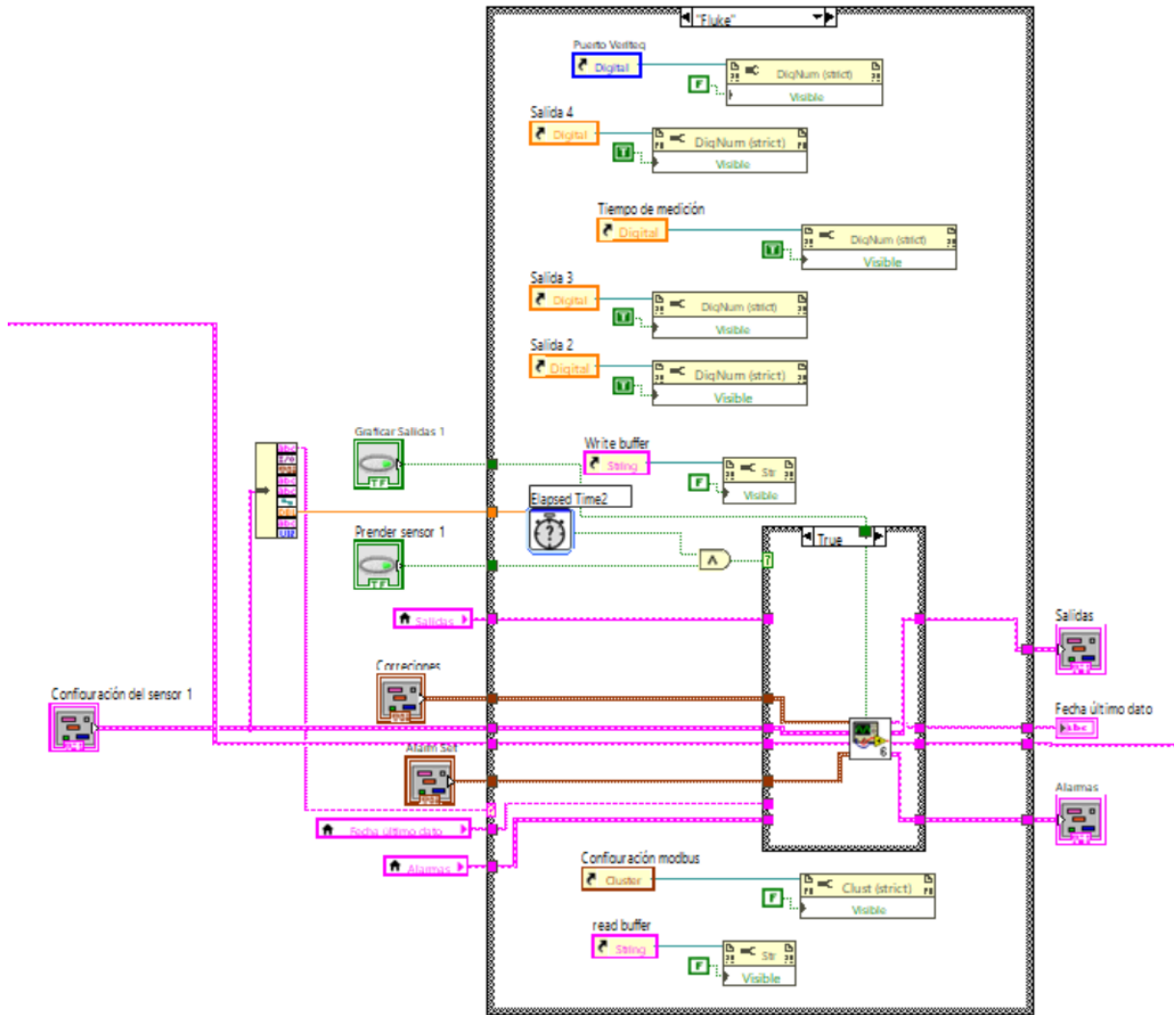


Figura A.6: Código principal: Lectura sensor caso Fluke

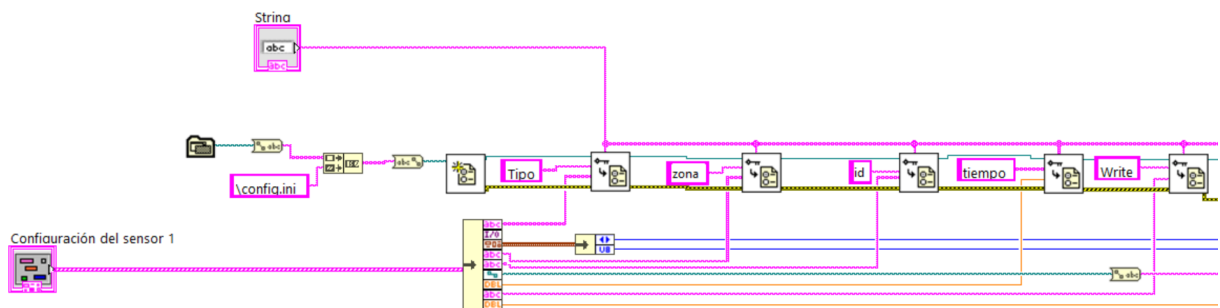


Figura A.7: Escribir Configuración parte 1

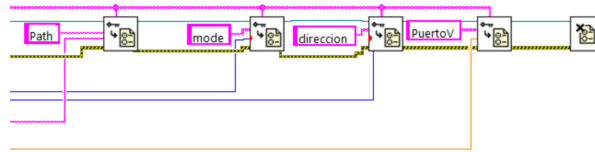


Figura A.8: Escribir Configuración Parte 2

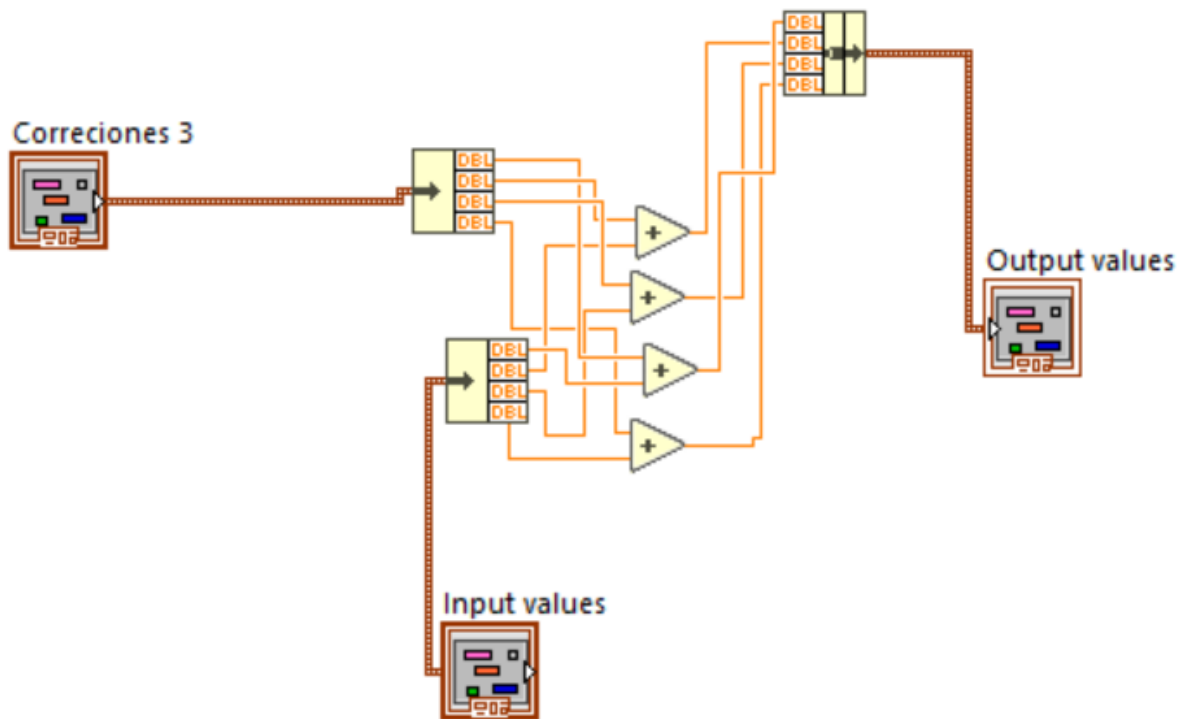


Figura A.9: Aplicar correcciones

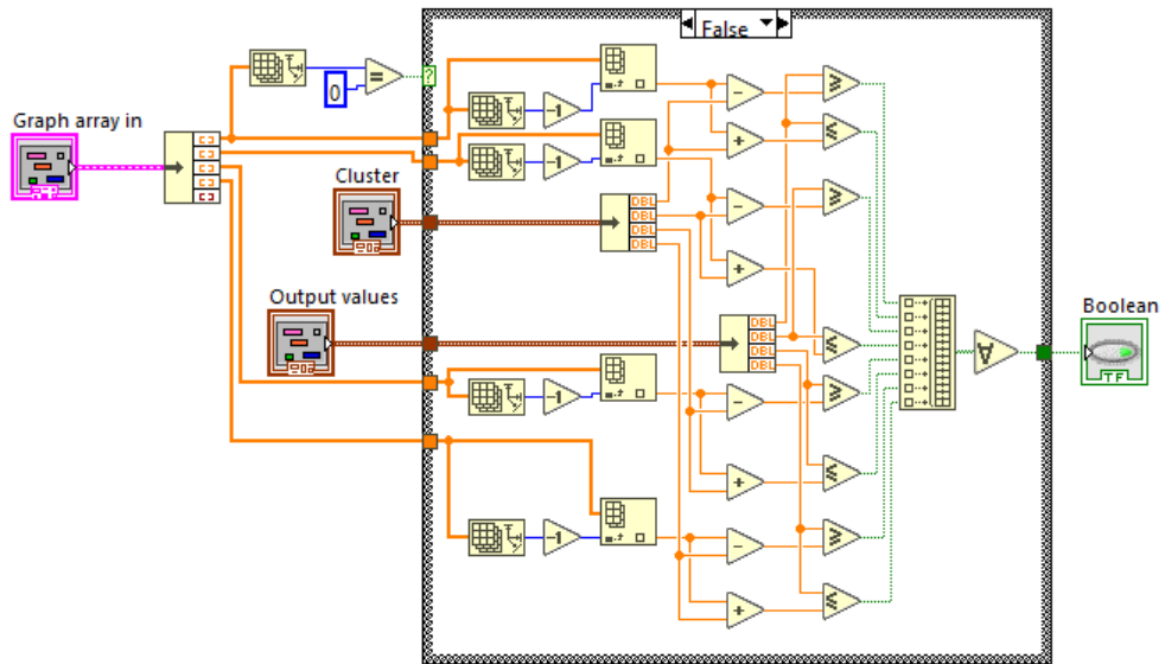


Figura A.10: Verificar Valores

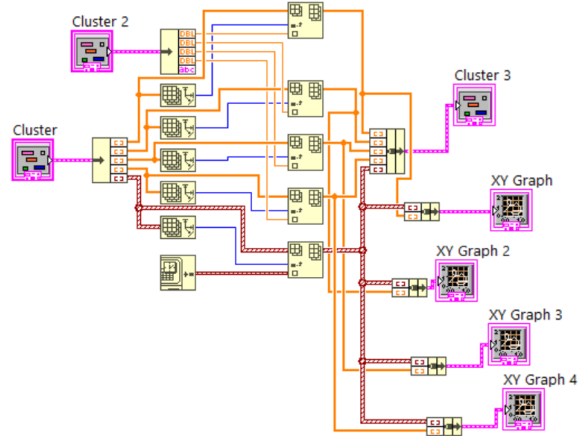


Figura A.11: Crear Gráficas

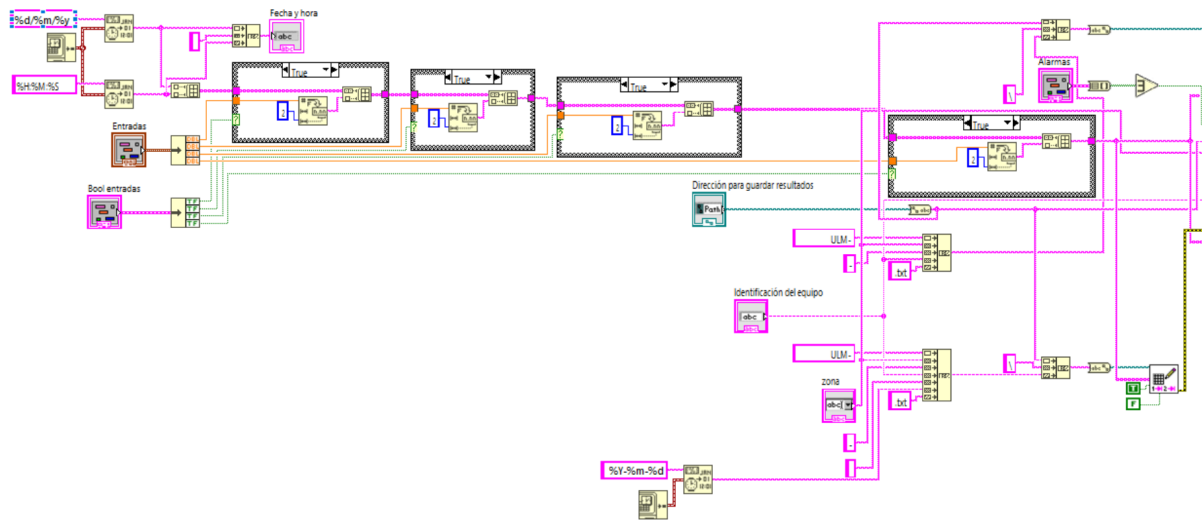


Figura A.12: Escritura Archivo parte 1

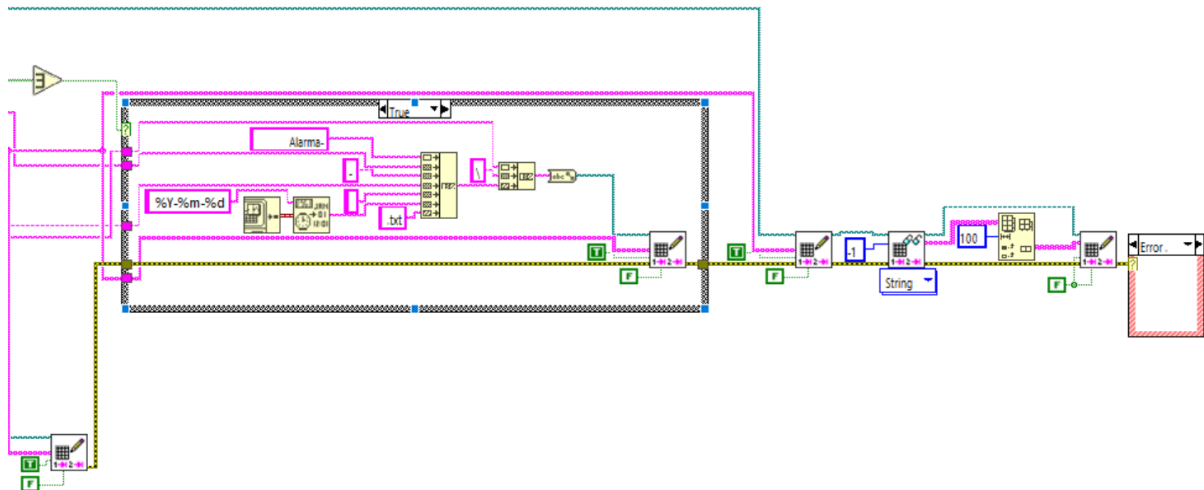


Figura A.13: Escritura archivo parte 2

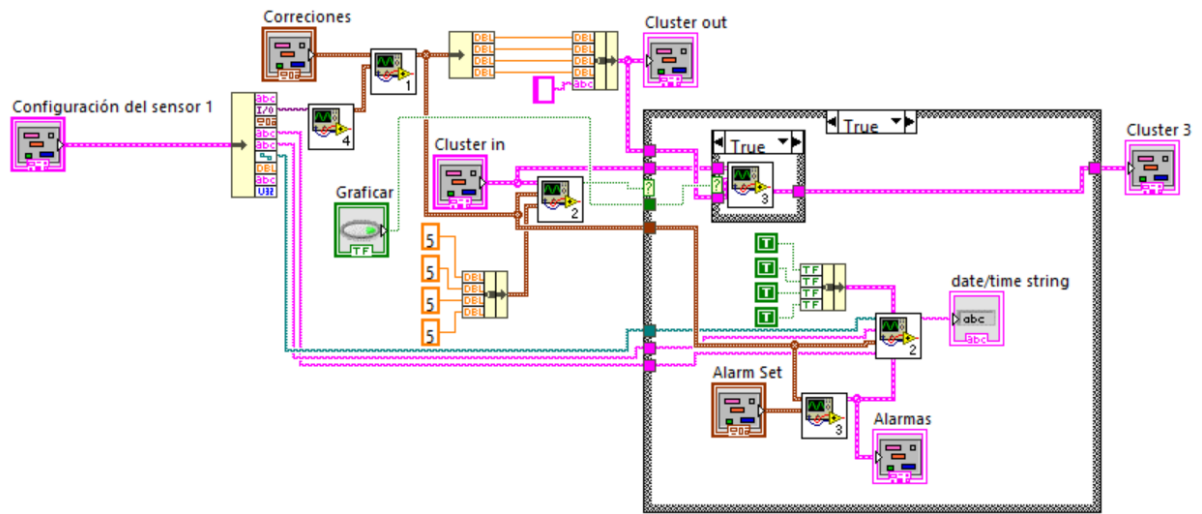


Figura A.14: Fluke main

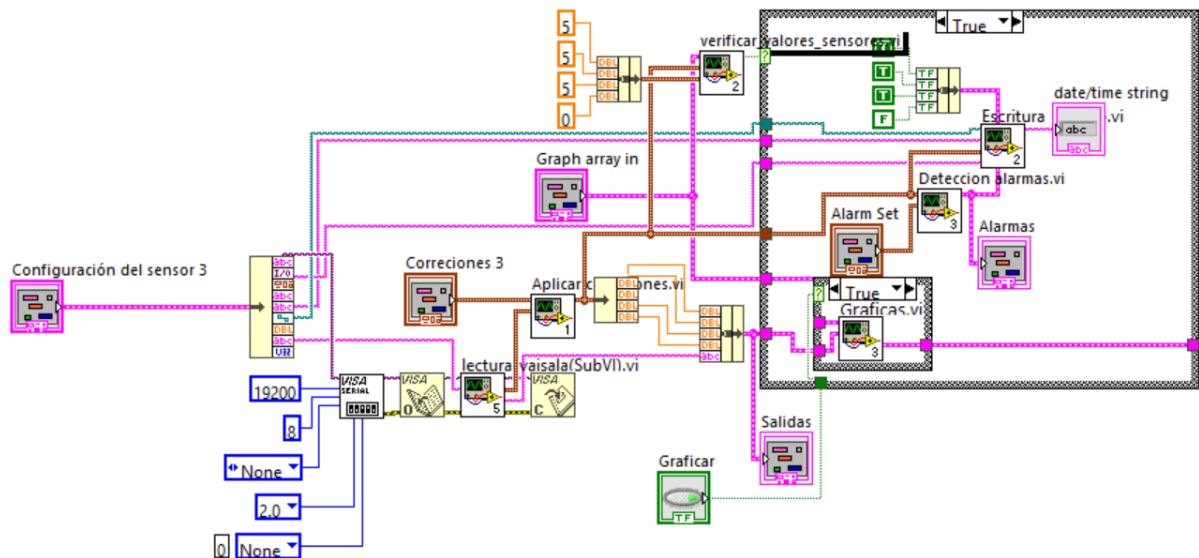


Figura A.15: Vaisala Main

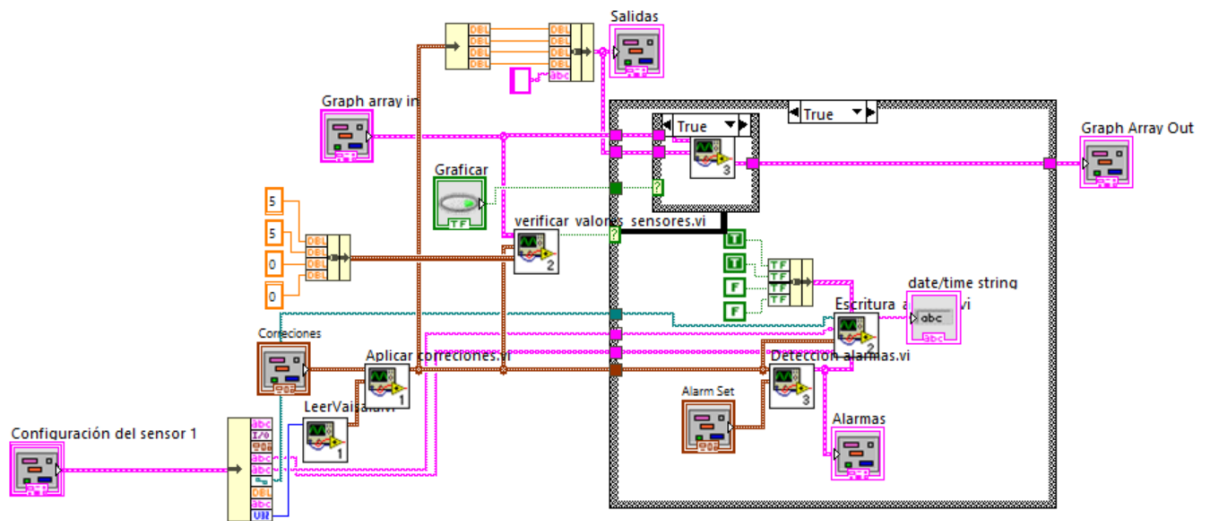


Figura A.16: Veriteq Main

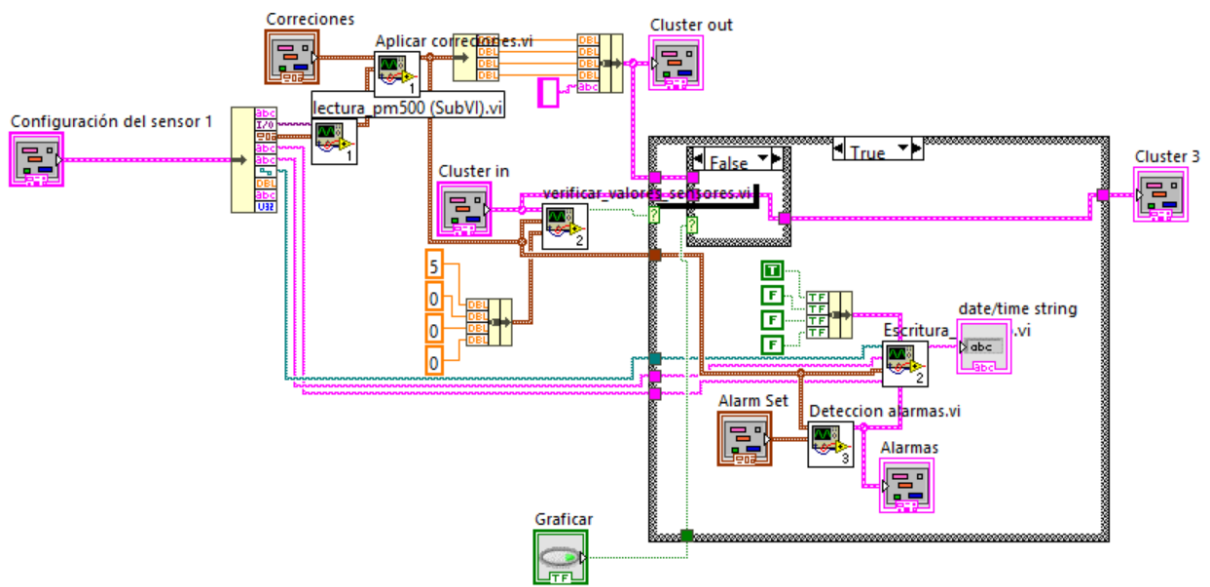


Figura A.17: PM500 Main

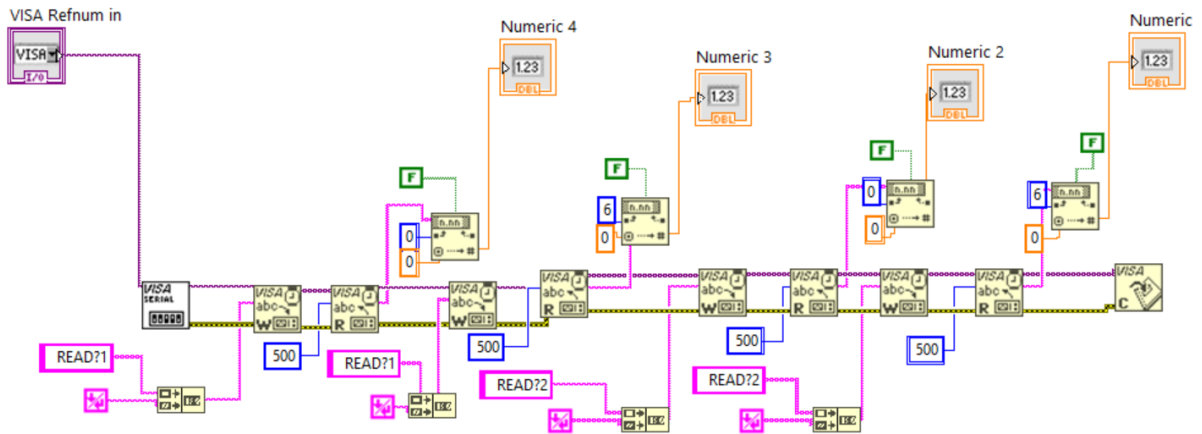


Figura A.18: Lectura fluke

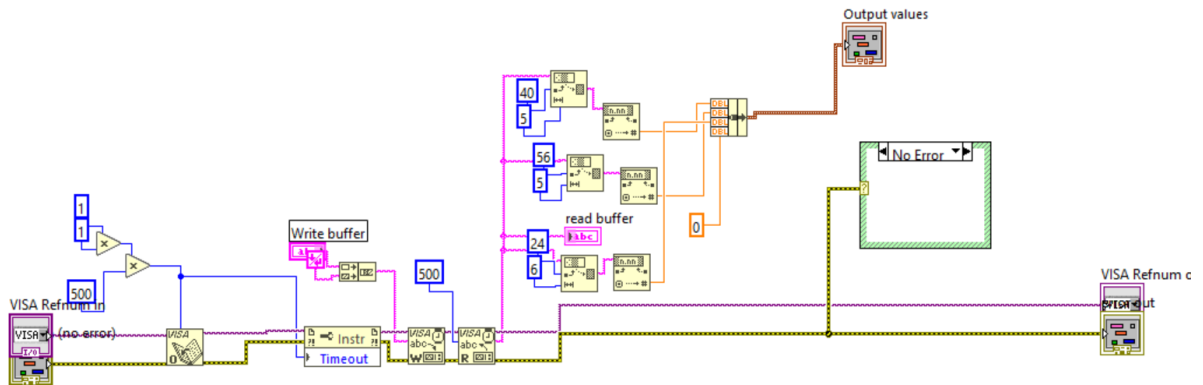


Figura A.19: Lectura Vaisala

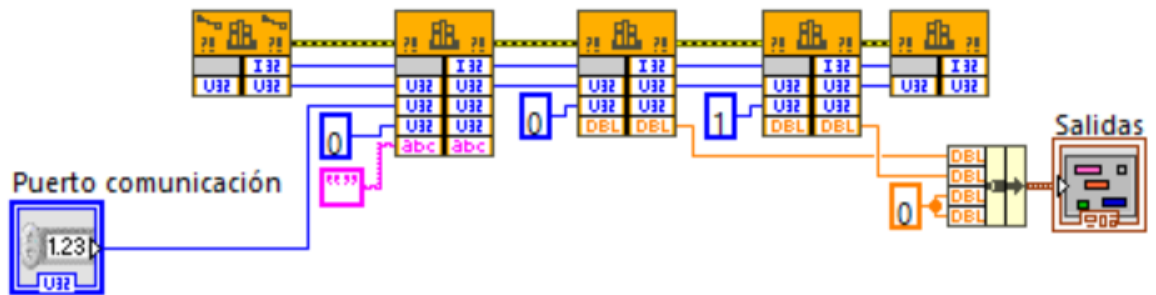


Figura A.20: Lectura Veriteq

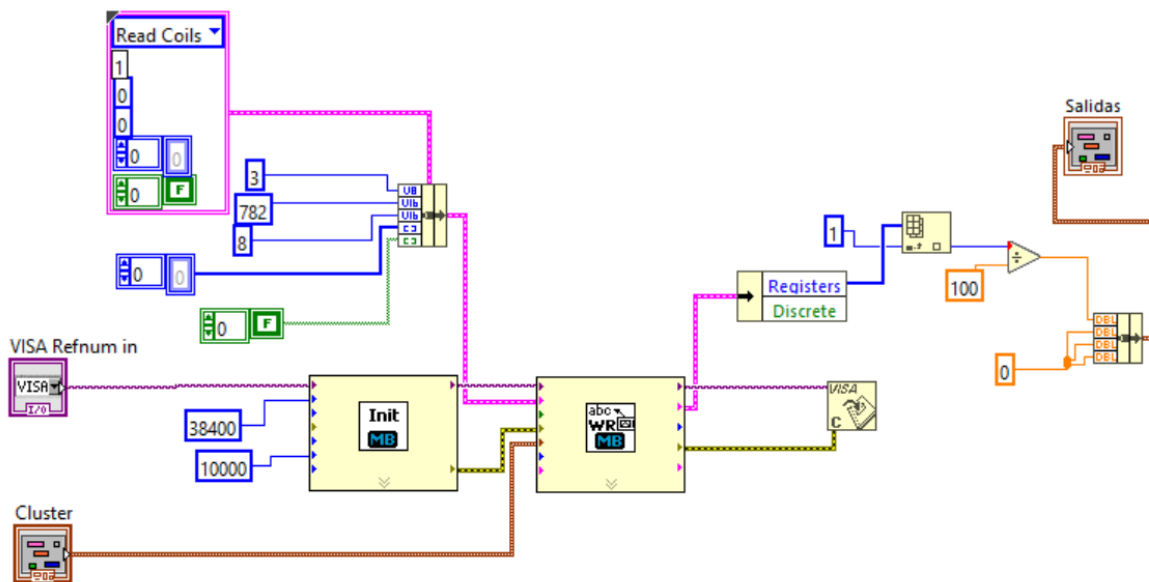


Figura A.21: Lectura PM500

# Apéndice B

## Resultados validaciones

### B.1 prueba 1 y 2

Listing B.1: Valores sensor fluke

03-06-25	0:00:09	20.11	2025	20.16	64.53
03-06-25	0:00:25	20.22	68.22	20.93	64.67
03-06-25	0:00:42	20.33	68.5	21.03	64.98
03-06-25	0:00:57	20.38	68.61	21.08	65.13
03-06-25	0:01:13	20.49	68.99	21.17	65.5
03-06-25	0:01:28	20.55	69.11	21.22	65.65
03-06-25	0:01:44	20.66	69.32	21.31	65.94
03-06-25	0:01:59	20.76	69.44	21.39	66.15
03-06-25	0:02:14	20.8	69.57	21.42	66.3
03-06-25	0:02:32	20.88	69.51	21.46	66.21
03-06-25	0:02:49	20.92	69.06	21.47	65.91
03-06-25	0:03:05	20.95	68.74	21.47	65.69
03-06-25	0:03:22	20.96	67.96	21.45	65.1
03-06-25	0:03:39	20.95	2025	20.94	64.54
03-06-25	0:03:57	20.91	66.77	21.4	64.22
03-06-25	0:04:15	20.84	65.58	21.35	63.34
03-06-25	0:04:32	20.75	64.75	21.28	62.63
03-06-25	0:04:49	20.65	64.01	21.22	61.97
03-06-25	0:05:06	20.61	63.81	21.2	61.77
03-06-25	0:05:21	20.54	63.47	21.18	61.35
03-06-25	0:05:37	20.51	63.42	21.17	61.27
03-06-25	0:05:52	20.47	63.42	21.15	61.23
03-06-25	0:06:08	20.46	63.48	21.14	61.23
03-06-25	0:06:24	20.43	63.64	21.13	61.27
03-06-25	0:06:39	6	63.88	20.42	61.39
03-06-25	0:06:57	20.42	64.03	21.12	61.45
03-06-25	0:07:13	20.43	64.42	21.12	61.7
03-06-25	0:07:31	20.43	64.77	21.12	61.94
03-06-25	0:07:47	20.44	64.93	21.12	62.07
03-06-25	0:08:02	20.42	65.05	21.07	62.05
03-06-25	0:08:17	20.4	65.03	21.04	62

03-06-25	0:08:34	20.33	64.65	20.98	61.72
03-06-25	0:08:52	20.19	63.97	20.85	61.13
03-06-25	0:09:11	19.98	62.91	20.66	60.22
03-06-25	0:09:28	19.88	62.27	20.51	59.69
03-06-25	0:09:44	19.69	62.02	20.45	59.42
03-06-25	0:09:59	19.52	61.87	20.33	59.18
03-06-25	0:10:18	19.46	61.86	20.3	59.07
03-06-25	0:10:35	19.38	62.18	20.25	59.23
03-06-25	0:10:52	19.35	62.63	20.24	59.55
03-06-25	0:11:08	19.35	62.92	20.23	59.73
03-06-25	0:11:26	19.38	63.75	20.24	60.21
03-06-25	0:11:44	19.44	64.42	20.28	60.7
03-06-25	0:11:59	19.52	65.01	20.33	61.2
03-06-25	0:12:14	19.56	65.43	20.36	61.58
03-06-25	0:12:32	19.64	65.87	20.44	62.05
03-06-25	0:12:49	19.68	66.26	20.51	62.5
03-06-25	0:13:07	19.78	66.47	20.56	62.73
03-06-25	0:13:23	19.88	67.01	20.66	63.33
03-06-25	0:13:38	19.93	67.22	20.71	63.55
03-06-25	0:13:56	20.04	67.61	20.82	64
03-06-25	0:14:12	20.16	68.09	20.94	64.53
03-06-25	0:14:27	20.22	68.26	20.99	64.69
03-06-25	0:14:44	20.34	68.59	21.11	65.07
03-06-25	0:14:59	20.46	68.91	21.21	65.43
03-06-25	0:15:16	20.52	69.13	21.26	65.69
03-06-25	0:15:31	20.63	69.34	21.35	65.92
03-06-25	0:15:49	20.74	69.51	21.43	66.09
03-06-25	0:16:06	20.79	69.58	21.48	66.2
03-06-25	0:16:22	20.88	69.61	21.53	66.29
03-06-25	0:16:41	20.94	69.22	21.54	65.95
03-06-25	0:16:57	20.96	68.93	21.53	65.74
03-06-25	0:17:12	20.96	68.01	21.52	65.11
03-06-25	0:17:29	20.95	67.57	21.47	64.43
03-06-25	0:17:48	20.9	66.71	21.44	64.08
03-06-25	0:18:05	20.83	65.85	21.39	63.38
03-06-25	0:18:21	20.73	64.72	21.31	62.44
03-06-25	0:18:37	20.68	64.27	21.27	62.05
03-06-25	0:18:54	20.58	63.75	21.22	61.56
03-06-25	0:19:12	20.5	63.47	21.18	61.26
03-06-25	0:19:28	20.47	63.47	21.17	61.23
03-06-25	0:19:46	20.44	63.63	21.14	61.23
03-06-25	0:20:02	20.42	63.78	21.11	61.24
03-06-25	0:20:18	20.41	63.89	21.1	61.28
03-06-25	0:20:36	20.41	64.13	21.09	61.44
03-06-25	0:20:51	20.42	64.42	21.1	61.67
03-06-25	0:21:08	20.42	64.58	21.1	61.81
03-06-25	0:21:26	20.43	64.98	21.1	62.12
03-06-25	0:21:43	20.44	65.28	21.08	62.27
03-06-25	0:22:01	20.42	65.22	21.02	62.17
03-06-25	0:22:17	20.39	65.07	21	62.07
03-06-25	0:22:34	20.3	64.59	20.91	61.7
03-06-25	0:22:49	20.23	63.87	20.78	61.13

03-06-25	0:23:07	20.07	63.51	20.69	60.78
03-06-25	0:23:24	19.87	62.56	20.53	59.95
03-06-25	0:23:42	19.66	62	20.38	59.47
03-06-25	0:23:57	19.58	61.95	20.33	59.39
03-06-25	0:24:12	19.46	62.08	20.25	59.35
03-06-25	0:24:29	19.4	62.45	20.2	59.52
03-06-25	0:24:47	19.38	62.68	20.19	59.65
03-06-25	0:25:05	19.39	63.21	20.2	60
03-06-25	0:25:23	19.42	63.9	20.22	60.43
03-06-25	0:25:38	19.45	64.18	20.24	60.63
03-06-25	0:25:55	19.53	64.81	20.3	61.14
03-06-25	0:26:11	19.61	65.4	20.37	61.72
03-06-25	0:26:27	19.65	65.62	20.42	61.96
03-06-25	0:26:44	19.75	66.06	20.51	62.43
03-06-25	0:26:59	19.84	66.44	20.6	62.85
03-06-25	0:27:17	19.89	66.79	20.65	63.2
03-06-25	0:27:35	20	67.18	20.75	63.63
03-06-25	0:27:53	20.11	67.56	20.86	64.05
03-06-25	0:28:09	20.17	67.74	20.92	64.24
03-06-25	0:28:24	20.28	68.15	21.03	64.72
03-06-25	0:28:40	20.39	68.39	21.14	65.05
03-06-25	0:28:56	20.45	68.53	21.19	65.23
03-06-25	0:29:13	20.56	68.85	21.28	65.57
03-06-25	0:29:31	20.67	69.13	21.37	65.8
03-06-25	0:29:47	20.73	69.27	21.41	65.91
03-06-25	0:30:03	20.83	69.46	21.49	66.15
03-06-25	0:30:20	20.92	69.45	21.53	66.16
03-06-25	0:30:37	20.95	69.24	21.54	65.98
03-06-25	0:30:53	20.98	68.68	21.53	65.58
03-06-25	0:31:09	6	67.73	20.98	64.91
03-06-25	0:31:28	20.96	67.23	21.49	64.56
03-06-25	0:31:44	20.89	66.22	21.43	63.78
03-06-25	0:31:59	20.8	65.35	21.37	63.09
03-06-25	0:32:16	20.75	64.68	21.33	62.53
03-06-25	0:32:32	20.64	63.94	21.25	61.84
03-06-25	0:32:48	20.59	63.72	21.23	61.61
03-06-25	0:33:06	20.52	63.55	21.2	61.37
03-06-25	0:33:22	20.48	63.44	21.18	61.19
03-06-25	0:33:38	20.46	63.51	21.16	61.19
03-06-25	0:34:46	20.43	64.3	21.1	61.5
03-06-25	0:35:02	20.43	64.57	21.1	61.77
03-06-25	0:35:18	20.43	64.81	21.1	61.97
03-06-25	0:35:35	20.43	65.16	21.09	62.19
03-06-25	0:35:52	20.41	65.25	21.02	62.07
03-06-25	0:36:07	20.39	65.11	20.97	61.94
03-06-25	0:36:24	20.28	64.55	20.88	61.59
03-06-25	0:36:39	20.21	2025	20.14	61.18
03-06-25	0:36:57	20.06	63.69	20.71	60.86
03-06-25	0:37:14	19.86	62.65	20.56	60.01
03-06-25	0:37:32	19.67	62.19	20.41	59.53
03-06-25	0:37:49	19.6	62.23	20.31	59.41
03-06-25	0:38:08	19.49	62.32	20.27	59.38

03-06-25	0:38:23	19.44	62.68	20.21	59.41
03-06-25	0:38:39	19.44	63.2	20.18	59.69
03-06-25	0:38:57	19.44	63.45	20.17	59.89
03-06-25	0:39:13	19.48	64.12	20.19	60.41
03-06-25	0:39:29	19.51	64.39	20.23	60.92
03-06-25	0:39:45	19.58	64.91	20.26	61.18
03-06-25	0:40:03	19.65	65.4	20.33	61.72
03-06-25	0:40:20	19.74	66.01	20.41	62.35
03-06-25	0:40:38	19.79	66.2	20.46	62.58
03-06-25	0:40:54	19.88	66.55	20.55	63.02
03-06-25	0:41:12	19.98	67.05	20.65	63.6
03-06-25	0:41:27	20.02	67.24	20.7	63.81
03-06-25	0:41:44	20.13	67.57	20.81	64.24
03-06-25	0:42:00	20.23	67.9	20.91	64.6
03-06-25	0:42:15	20.28	68.15	20.96	64.87
03-06-25	0:42:32	20.39	68.43	21.05	65.19
03-06-25	0:42:49	20.44	68.58	21.1	65.34
03-06-25	0:43:04	20.54	68.83	21.19	65.59
03-06-25	0:43:19	20.65	69.16	21.29	65.95
03-06-25	0:43:37	20.7	69.27	21.34	66.11
03-06-25	0:43:54	20.8	69.45	21.42	66.31
03-06-25	0:44:12	20.88	69.4	21.46	66.28
03-06-25	0:44:30	20.93	68.94	21.47	65.93
03-06-25	0:44:47	20.95	68.64	21.47	65.71
03-06-25	0:45:04	20.94	67.85	21.44	65.14
03-06-25	0:45:20	20.9	66.79	21.4	64.36
03-06-25	0:45:35	20.87	66.41	21.38	64.05
03-06-25	0:45:51	20.79	65.59	21.32	63.38
03-06-25	0:46:06	20.75	65.16	21.28	63.02
03-06-25	0:46:22	20.64	64.13	21.21	62.12
03-06-25	0:46:39	20.55	63.7	21.15	61.69
03-06-25	0:46:55	20.52	63.63	21.14	61.59
03-06-25	0:47:11	20.47	63.49	21.11	61.34
03-06-25	0:47:27	20.44	63.5	21.1	61.29
03-06-25	0:47:42	20.41	63.56	21.09	61.27
03-06-25	0:47:59	20.4	63.79	21.08	61.35
03-06-25	0:48:14	20.4	63.99	21.07	61.38
03-06-25	0:48:32	20.4	64.28	21.04	61.51
03-06-25	0:48:51	20.41	64.53	21.04	61.71
03-06-25	0:49:07	20.41	64.7	21.04	61.84
03-06-25	0:49:23	20.42	65.08	21.05	62.17
03-06-25	0:49:40	20.41	65.16	21.01	62.17
03-06-25	0:49:58	20.39	65.06	20.99	62.12
03-06-25	0:50:16	20.32	64.67	20.91	61.76
03-06-25	0:50:32	20.23	64.22	20.81	61.32
03-06-25	0:50:48	20.17	63.93	20.74	61.05
03-06-25	0:51:04	20.03	63.23	20.59	60.38
03-06-25	0:51:19	19.94	62.27	20.45	59.57
03-06-25	0:51:37	19.74	62.01	20.4	59.39
03-06-25	0:51:52	19.59	61.98	20.33	59.33
03-06-25	0:52:09	19.53	62.23	6	59.45
03-06-25	0:52:24	19.47	62.46	20.27	59.59

03-06-25	0:52:39	6	63.04	19.45	59.93
03-06-25	0:52:57	19.46	63.37	20.27	60.12
03-06-25	0:53:14	19.5	64.17	20.3	60.66
03-06-25	0:53:29	19.53	64.5	20.32	60.92
03-06-25	0:53:45	19.61	65.14	20.39	61.47
03-06-25	0:54:02	19.71	65.71	20.46	62.01
03-06-25	0:54:18	19.76	66.14	20.51	62.4
03-06-25	0:54:35	19.86	66.56	20.6	62.85
03-06-25	0:54:52	19.96	66.88	20.69	63.27
03-06-25	0:55:10	20.06	67.35	20.8	63.81
03-06-25	0:55:27	20.11	67.5	20.85	64
03-06-25	0:55:45	20.22	67.8	20.96	64.36
03-06-25	0:56:03	20.33	68.13	21.05	64.68
03-06-25	0:56:19	20.38	68.34	21.09	64.89
03-06-25	0:56:35	20.48	68.6	21.17	65.14
03-06-25	0:56:52	20.58	68.84	21.25	65.38
03-06-25	0:57:09	20.64	2025	20.69	65.8
03-06-25	0:57:25	20.75	69.25	21.4	65.94
03-06-25	0:57:42	20.84	69.4	21.48	66.14
03-06-25	0:57:59	20.93	69.4	21.52	66.12
03-06-25	0:58:17	20.96	69.22	21.53	65.99
03-06-25	0:58:34	20.99	68.63	21.52	65.54
03-06-25	0:58:49	20.98	67.85	21.51	65
03-06-25	0:59:07	20.96	67.4	21.49	64.66
03-06-25	0:59:24	20.9	66.24	21.44	63.83
03-06-25	0:59:39	20.86	65.73	21.41	63.45
03-06-25	0:59:56	20.74	64.81	21.33	62.67
03-06-25	1:00:12	20.63	63.81	21.23	61.75
03-06-25	1:00:29	20.54	63.59	21.18	61.43
03-06-25	1:00:45	20.52	63.56	21.16	61.34
03-06-25	1:01:03	20.48	63.6	21.14	61.28
03-06-25	1:01:20	20.45	63.66	21.12	61.27
03-06-25	1:01:38	20.45	63.74	21.12	61.3
03-06-25	1:01:53	20.44	63.95	21.11	61.42
03-06-25	1:02:08	20.44	64.06	21.11	61.5
03-06-25	1:02:24	20.44	64.4	21.11	61.72
03-06-25	1:02:40	20.44	64.69	21.1	61.93
03-06-25	1:02:56	20.44	64.84	21.1	62.06
03-06-25	1:03:12	20.44	65.24	21.1	62.35
03-06-25	1:03:27	20.43	65.33	21.07	62.22
03-06-25	1:03:42	20.4	65.23	20.98	62.05
03-06-25	1:03:58	20.36	65.03	20.92	61.86
03-06-25	1:04:14	20.25	64.32	20.8	61.32
03-06-25	1:04:29	20.17	63.61	20.65	60.72
03-06-25	1:04:47	20	63.22	20.58	60.44
03-06-25	1:05:03	19.8	62.52	20.45	59.88
03-06-25	1:05:19	19.64	62.12	20.33	59.44
03-06-25	1:05:35	19.57	62.21	20.29	59.45
03-06-25	1:05:54	19.48	62.48	20.22	59.55
03-06-25	1:06:09	19.45	62.87	6	59.8
03-06-25	1:06:24	19.42	63.13	20.19	59.97
03-06-25	1:06:39	19.42	2025	19.43	60.34

03-06-25	1:06:58	19.45	64.02	20.2	60.54
03-06-25	1:07:15	19.51	64.75	20.24	61.11
03-06-25	1:07:30	19.58	65.36	20.31	61.68
03-06-25	1:07:46	19.63	65.64	20.35	61.95
03-06-25	1:08:04	19.72	66.08	20.43	62.42
03-06-25	1:08:19	19.75	66.39	20.47	62.75
03-06-25	1:08:35	19.85	66.79	20.57	63.25
03-06-25	1:08:52	19.94	67.2	20.67	63.69
03-06-25	1:09:07	19.99	67.36	20.72	63.85
03-06-25	1:09:23	20.09	67.8	20.81	64.31
03-06-25	1:09:39	20.14	2025	20.19	64.65
03-06-25	1:09:54	20.25	68.34	20.95	64.81
03-06-25	1:10:09	20.3	2025	20.36	65.26
03-06-25	1:10:27	20.41	68.87	21.1	65.42
03-06-25	1:10:44	20.52	69.09	21.21	65.71
03-06-25	1:11:02	20.62	69.31	21.3	65.98
03-06-25	1:11:19	20.72	69.55	21.37	66.26
03-06-25	1:11:38	20.77	69.66	21.41	66.39
03-06-25	1:11:54	20.86	69.65	21.46	66.33
03-06-25	1:12:13	20.91	69.15	21.47	65.97
03-06-25	1:12:28	20.92	68.83	21.47	65.76
03-06-25	1:12:44	20.91	68.03	21.45	65.17
03-06-25	1:13:00	20.88	67.24	21.42	64.56
03-06-25	1:13:16	20.86	66.61	21.39	64.08
03-06-25	1:13:34	20.79	65.8	21.34	63.42
03-06-25	1:13:49	20.75	64.98	21.27	62.76
03-06-25	1:14:06	20.65	64.56	21.22	62.38
03-06-25	1:14:22	20.55	63.8	21.14	61.66
03-06-25	1:14:37	20.52	63.64	21.12	61.49
03-06-25	1:14:55	20.46	63.53	21.09	61.33
03-06-25	1:15:12	20.43	63.58	21.06	61.27
03-06-25	1:15:27	20.42	63.66	21.05	61.27
03-06-25	1:15:46	20.4	63.84	21.03	61.32

Listing B.2: Valores sensor PM500

03-06-25	0:00:09	116.73
03-06-25	0:00:25	116.82
03-06-25	0:00:42	116.9
03-06-25	0:00:57	116.75
03-06-25	0:01:13	116.87
03-06-25	0:01:28	116.77
03-06-25	0:01:44	116.77
03-06-25	0:01:59	116.66
03-06-25	0:02:14	116.74
03-06-25	0:02:32	116.77
03-06-25	0:02:49	116.67
03-06-25	0:03:05	116.74
03-06-25	0:03:22	116.84
03-06-25	0:03:39	116.86
03-06-25	0:03:57	116.67
03-06-25	0:04:15	116.79

03-06-25	0:04:32	116.77
03-06-25	0:04:49	116.77
03-06-25	0:05:06	116.88
03-06-25	0:05:21	116.78
03-06-25	0:05:37	116.69
03-06-25	0:05:52	116.82
03-06-25	0:06:08	116.7
03-06-25	0:06:24	116.7
03-06-25	0:06:39	116.79
03-06-25	0:06:57	116.72
03-06-25	0:07:13	116.8
03-06-25	0:07:31	116.78
03-06-25	0:07:47	116.79
03-06-25	0:08:02	116.83
03-06-25	0:08:17	116.81
03-06-25	0:08:34	116.74
03-06-25	0:08:52	116.74
03-06-25	0:09:11	116.72
03-06-25	0:09:28	116.77
03-06-25	0:09:44	116.78
03-06-25	0:09:59	116.76
03-06-25	0:10:18	116.78
03-06-25	0:10:35	116.7
03-06-25	0:10:52	116.79
03-06-25	0:11:08	116.87
03-06-25	0:11:26	116.72
03-06-25	0:11:44	116.73
03-06-25	0:11:59	116.69
03-06-25	0:12:14	116.74
03-06-25	0:12:32	116.74
03-06-25	0:12:49	116.78
03-06-25	0:13:07	116.66
03-06-25	0:13:23	116.73
03-06-25	0:13:38	116.81
03-06-25	0:13:56	116.76
03-06-25	0:14:12	116.7
03-06-25	0:14:27	116.74
03-06-25	0:14:44	116.8
03-06-25	0:14:59	116.59
03-06-25	0:15:16	116.73
03-06-25	0:15:31	116.75
03-06-25	0:15:49	116.81
03-06-25	0:16:06	116.77
03-06-25	0:16:22	116.73
03-06-25	0:16:41	116.82
03-06-25	0:16:57	116.7
03-06-25	0:17:12	116.78
03-06-25	0:17:29	116.87
03-06-25	0:17:48	116.65
03-06-25	0:18:05	116.72
03-06-25	0:18:21	116.72
03-06-25	0:18:37	116.8

03-06-25	0:18:54	116.67
03-06-25	0:19:12	116.74
03-06-25	0:19:28	116.74
03-06-25	0:19:46	116.75
03-06-25	0:20:02	116.69
03-06-25	0:20:18	116.71
03-06-25	0:20:36	116.69
03-06-25	0:20:51	116.66
03-06-25	0:21:08	116.7
03-06-25	0:21:26	116.69
03-06-25	0:21:43	116.71
03-06-25	0:22:01	116.8
03-06-25	0:22:17	116.81
03-06-25	0:22:34	116.79
03-06-25	0:22:49	116.73
03-06-25	0:23:07	116.63
03-06-25	0:23:24	116.75
03-06-25	0:23:42	116.71
03-06-25	0:23:57	116.7
03-06-25	0:24:12	116.79
03-06-25	0:24:29	116.8
03-06-25	0:24:47	116.8
03-06-25	0:25:05	116.78
03-06-25	0:25:23	116.73
03-06-25	0:25:38	116.66
03-06-25	0:25:55	116.73
03-06-25	0:26:11	116.78
03-06-25	0:26:27	116.79
03-06-25	0:26:44	116.75
03-06-25	0:26:59	116.74
03-06-25	0:27:17	116.75
03-06-25	0:27:35	116.79
03-06-25	0:27:50	116.64
03-06-25	0:28:07	116.73
03-06-25	0:28:24	116.71
03-06-25	0:28:40	116.72
03-06-25	0:28:56	116.76
03-06-25	0:29:13	116.8
03-06-25	0:29:31	116.75
03-06-25	0:29:47	116.73
03-06-25	0:30:03	116.76
03-06-25	0:30:20	116.68
03-06-25	0:30:37	116.67
03-06-25	0:30:53	116.79
03-06-25	0:31:09	116.63
03-06-25	0:31:28	116.77
03-06-25	0:31:44	116.78
03-06-25	0:31:59	116.7
03-06-25	0:32:16	116.63
03-06-25	0:32:32	116.76
03-06-25	0:32:48	116.74
03-06-25	0:33:06	116.74

03-06-25	0:33:22	116.73
03-06-25	0:33:38	116.75
03-06-25	0:34:46	116.82
03-06-25	0:35:02	116.74
03-06-25	0:35:18	116.78
03-06-25	0:35:35	116.78
03-06-25	0:35:52	116.87
03-06-25	0:36:11	116.72
03-06-25	0:36:28	116.78
03-06-25	0:36:43	116.85
03-06-25	0:37:01	116.85
03-06-25	0:37:18	116.73
03-06-25	0:37:36	116.75
03-06-25	0:37:52	116.72
03-06-25	0:38:08	116.71
03-06-25	0:38:23	116.69
03-06-25	0:38:39	116.75
03-06-25	0:38:57	116.76
03-06-25	0:39:13	116.69
03-06-25	0:39:29	116.82
03-06-25	0:39:45	116.71
03-06-25	0:40:03	116.79
03-06-25	0:40:20	116.76
03-06-25	0:40:38	116.79
03-06-25	0:40:54	116.89
03-06-25	0:41:12	116.75
03-06-25	0:41:27	116.75
03-06-25	0:41:44	116.73
03-06-25	0:42:00	116.75
03-06-25	0:42:15	116.76
03-06-25	0:42:32	116.79
03-06-25	0:42:49	116.86
03-06-25	0:43:04	116.8
03-06-25	0:43:19	116.72
03-06-25	0:43:37	116.78
03-06-25	0:43:54	116.8
03-06-25	0:44:12	116.8
03-06-25	0:44:30	116.81
03-06-25	0:44:47	116.75
03-06-25	0:45:04	116.69
03-06-25	0:45:20	116.82
03-06-25	0:45:35	116.74
03-06-25	0:45:51	116.79
03-06-25	0:46:06	116.82
03-06-25	0:46:22	116.78
03-06-25	0:46:39	116.72
03-06-25	0:46:55	116.7
03-06-25	0:47:11	116.79
03-06-25	0:47:27	116.81
03-06-25	0:47:42	116.76
03-06-25	0:47:59	116.81
03-06-25	0:48:14	116.85

03-06-25	0:48:32	116.71
03-06-25	0:48:51	116.73
03-06-25	0:49:07	116.69
03-06-25	0:49:23	116.7
03-06-25	0:49:40	116.82
03-06-25	0:49:58	116.71
03-06-25	0:50:16	116.67
03-06-25	0:50:32	116.71
03-06-25	0:50:48	116.78
03-06-25	0:51:04	116.77
03-06-25	0:51:19	116.75
03-06-25	0:51:37	116.78
03-06-25	0:51:52	116.8
03-06-25	0:52:09	116.66
03-06-25	0:52:24	116.8
03-06-25	0:52:39	116.74
03-06-25	0:52:57	116.77
03-06-25	0:53:14	116.84
03-06-25	0:53:29	116.72
03-06-25	0:53:45	116.81
03-06-25	0:54:02	116.74
03-06-25	0:54:18	116.83
03-06-25	0:54:35	116.81
03-06-25	0:54:52	116.79
03-06-25	0:55:10	116.73
03-06-25	0:55:27	116.71
03-06-25	0:55:45	116.75
03-06-25	0:56:03	116.83
03-06-25	0:56:19	116.74
03-06-25	0:56:35	116.72
03-06-25	0:56:52	116.8
03-06-25	0:57:09	116.73
03-06-25	0:57:25	116.79
03-06-25	0:57:42	116.8
03-06-25	0:57:59	116.81
03-06-25	0:58:17	116.78
03-06-25	0:58:34	116.84
03-06-25	0:58:49	116.84
03-06-25	0:59:07	116.85
03-06-25	0:59:24	116.67
03-06-25	0:59:39	116.82
03-06-25	0:59:56	116.76
03-06-25	1:00:12	116.76
03-06-25	1:00:29	116.68
03-06-25	1:00:45	116.77
03-06-25	1:01:03	116.8
03-06-25	1:01:20	116.83
03-06-25	1:01:38	116.82
03-06-25	1:01:53	116.82
03-06-25	1:02:08	116.8
03-06-25	1:02:24	116.74
03-06-25	1:02:40	116.81

03-06-25	1:02:56	116.7
03-06-25	1:03:12	116.77
03-06-25	1:03:27	116.81
03-06-25	1:03:42	116.8
03-06-25	1:03:58	116.69
03-06-25	1:04:14	116.61
03-06-25	1:04:29	116.75
03-06-25	1:04:47	116.74
03-06-25	1:05:03	116.77
03-06-25	1:05:19	116.78
03-06-25	1:05:35	116.79
03-06-25	1:05:54	116.67
03-06-25	1:06:09	116.75
03-06-25	1:06:24	116.68
03-06-25	1:06:39	116.71
03-06-25	1:06:58	116.62
03-06-25	1:07:15	116.7
03-06-25	1:07:30	116.67
03-06-25	1:07:46	116.73
03-06-25	1:08:04	116.73
03-06-25	1:08:19	116.83
03-06-25	1:08:35	116.76
03-06-25	1:08:52	116.6
03-06-25	1:09:07	116.66
03-06-25	1:09:23	116.7
03-06-25	1:09:39	116.72
03-06-25	1:09:54	116.71
03-06-25	1:10:09	116.65
03-06-25	1:10:27	116.65
03-06-25	1:10:44	116.63
03-06-25	1:11:02	116.73
03-06-25	1:11:19	116.63
03-06-25	1:11:38	116.52
03-06-25	1:11:54	116.65
03-06-25	1:12:13	116.63
03-06-25	1:12:28	116.67
03-06-25	1:12:44	116.69
03-06-25	1:13:00	116.75
03-06-25	1:13:16	116.63
03-06-25	1:13:34	116.68
03-06-25	1:13:49	116.63
03-06-25	1:14:06	116.71
03-06-25	1:14:22	116.73
03-06-25	1:14:37	116.75
03-06-25	1:14:55	116.73
03-06-25	1:15:12	116.73
03-06-25	1:15:27	116.74
03-06-25	1:15:46	116.7