



POSGRADOS

MAESTRÍA EN

ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

RPC-SO-19-No.277-2018

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

PROYECTO DE DESARROLLO

TEMA:

DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN INTERNET
INDUSTRIAL DE LAS COSAS PARA EL MONITOREO Y
CONTROL DE UN BANCO DE PRUEBAS DE
INTERCAMBIADORES DE CALOR.

AUTOR:

CARLOS HUGO LOZADA CABRERA

DIRECTOR:

OSWALDO ANDRÉS VANEGAS GUILLÉN

GUAYAQUIL-ECUADOR
2022

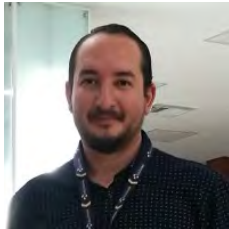
Autor:



Carlos Hugo Lozada Cabrera

Ingeniero Electrónico en Control y Automatización.
Candidato a Magister en Electrónica y Automatización,
Mención en Informática Industrial por la Universidad
Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.
clozadac1@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Oswaldo Andrés Vanegas Guillén

Ingeniero Electrónico.
Master Universitario en Ingeniería de la Energía.
Docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas
y Físicas de la Universidad de Guayaquil - Ecuador.
oswaldo.vanegasg@ug.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos e investigación por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2022 Universidad Politécnica Salesiana
GUAYAQUIL - ECUADOR - SUDAMÉRICA
CARLOS HUGO LOZADA CABRERA

***DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN INTERNET
INDUSTRIAL DE LAS COSAS PARA EL MONITOREO Y
CONTROL DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INTERCAMBI-
ADORES DE CALOR***

Índice general

Índice de Figuras	4
Índice de Tablas	7
Abstract	9
1. Introducción	11
1.1. Descripción general del problema	12
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo general	12
1.2.2. Objetivos específicos	12
1.3. Contribuciones	13
1.4. Organización del manuscrito	13
2. Estado del Arte	15
2.1. Internet Industrial de las Cosas en la Industria 4.0	16
2.2. Aplicaciones	17
2.3. Definiciones previas	18
2.4. Arquitectura del Internet Industrial de la Cosas (IIoT)	21
2.5. Elementos del IIOT	24
2.5.1. Identificación	24
2.5.2. Sensórica	26
2.5.3. Comunicación	26
2.5.4. Computación	26
2.5.5. Servicios	27
2.5.6. Semántica	27
2.6. Estándares del IIOT	27
2.7. Sistemas Embebidos	30
2.7.1. Definición	30
2.7.2. Hardware de Sistemas Embebidos	30

2.7.3. NI-MyRIO	31
2.8. Sistemas de Fluidos Térmicos	34
2.8.1. Esquema de un Sistema de Fluidos Térmicos	34
2.9. Intercambiadores de Calor	35
2.9.1. Modelos de intercambiadores	37
2.9.2. Transferencia de calor	38
2.9.3. Conducción de flujo	39
3. Metodología del Desarrollo del Sistema de Monitoreo y Control del Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor	41
3.1. Especificaciones de los Requerimientos del Sistema	42
3.1.1. Estructura del Banco de Pruebas del Intercambiadores de Calor	42
3.1.2. Descripción Funcional	42
3.1.3. Detalles Funcionales	47
3.1.4. Arquitectura del Sistema	53
3.2. Proceso de Ingeniería de Software	54
3.2.1. Especificaciones de los Requerimientos de Software	54
3.2.2. Diseño de la Arquitectura del Software	55
3.3. Implementación del Sistema	60
3.3.1. Implementación Cliente – Usuario Local	60
3.3.2. Dispositivo en Tiempo Real	64
3.3.3. Aplicación IoT ThingsBoard	68
3.4. Validación y Comprobación del Sistema	69
3.4.1. Validación del Software Cliente y Dispositivo RT	69
3.4.2. Validación del Sistema de Monitoreo por Internet Basado en ThingsBoard	73
3.4.3. Validación Modelado y Control de las Bombas del Sistema	73
4. Resultados	92
4.1. Resultados para determinar el Rendimiento de los Intercambiadores de Calor del Banco de Pruebas	93
4.1.1. Intercambiador Tipo Platos en configuración Contra Flujo	93
4.1.2. Intercambiador Tipo Tubo y Coraza en Contra Flujo	95
4.1.3. Intercambiador Tubo y Coraza Cobre	98
4.2. Resultados Obtenidos mediante la Aplicación ThingsBoard	100

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	3
5. Conclusiones y Trabajo Futuro	103
5.1. Conclusiones	103
5.2. Trabajo Futuro	104
Anexos	108

Índice de Figuras

2.1. Aplicaciones IIoT. Fuente: Elaboración Propia.	17
2.2. Conexión entre IoT, IIoT, Industria 4.0 y sistema CPS. Fuente: Elaboración Propia.	19
2.3. Modelo Funcional IIoT.	22
2.4. Arquitectura IIoT. Fuente: Elaboración Propia.	23
2.5. Elementos del IIoT. Fuente: Elaboración Propia.	24
2.6. Elementos del IoT. Fuente: Elaboración Propia.	25
2.7. Sensores IIoT Monitoreo de Estado de Maquina. Fuente: [https://ncd.io/]	26
2.8. NI-MyRIO 1900. Fuente: [https://www.ni.com]	32
2.9. Arquitectura NI-MyRIO. Fuente: Elaboración Propia.	32
2.10. Sistema de 4 tuberías. Fuente: Elaboración Propia.	35
2.11. Clasificación de intercambiadores. Fuente: [Çengel, 2007].	36
2.12. Tipos de flujo en los intercambiadores. Fuente: Elaboración Propia.	40
3.1. Estructura del Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor. Fuente: Elaboración Propia.	42
3.2. P&ID del Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor. Fuente: Elaboración Propia.	44
3.3. Arquitectura del Sistema de Control y Monitoreo basado en Sistemas Embebidos RT. Fuente: Elaboración Propia.	54
3.4. Arquitectura de Control y Monitoreo basado en IIoT para un Banco de Pruebas de Intercambiadores de calor. Fuente: Elaboración Propia.	55
3.5. Diagrama de Estados del Cliente PC. Fuente: Elaboración Propia.	57
3.6. Diagrama de Estados del Dispositivo en Tiempo Real. Fuente: Elaboración Propia.	59

3.7. Arquitectura ThingdBoard. Fuente: [ThingsBoard]	60
3.8. Interfaz de Usuario - LabVIEW.	61
3.9. Interfaz - Monitoreo de Gráficas de temperatura.	62
3.10. Interfaz - Control de Electroválvulas.	62
3.11. Interfaz - Control de Bombas.	63
3.12. Panel Frontal - MyRIO.	64
3.13. Ciclo de gestión de mensajes.	65
3.14. Ciclo de Adquisición de datos - Temperatura.	65
3.15. Ciclo de Adquisición de datos - Caudal.	66
3.16. Ciclo de Control E/S Digitales.	66
3.17. Ciclo de Control de Bombas.	67
3.18. Ciclo de Comunicaciones IoT.	67
3.19. Interfaz IIoT - ThingsBoard.	68
3.20. Monitoreo de la variable Temperatura - ThingsBoard.	69
3.21. Configuración Prueba de Intercambiador de Platos.	70
3.22. Configuración del Flujo.	70
3.23. Interfaz de temperaturas.	71
3.24. Gráfica TDMS.	72
3.25. Gráfica de curvas del intercambiador de platos.	72
3.26. Interfaz Monitoreo y Control en ThingsBoard.	73
3.27. Secuencia para la obtención del modelo del sistema. Fuente: Elaboración Propia.	74
3.28. Configuración de los Datos Medidos Intercambiador Platos.	76
3.29. Comparación de los Diferentes modelos planteados.	76
3.30. Respuesta sintonizada del sistema de control - Intercambiador Platos.	78
3.31. Datos Medidos Intercambiador Tubos Concéntricos.	79
3.32. Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real.	80
3.33. Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Tubos Concéntricos.	80
3.34. Datos Medidos Intercambiador Tubos concéntricos cobre.	81
3.35. Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real.	82
3.36. Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Tubos concéntricos cobre.	83
3.37. Datos Medidos Intercambiador Platos.	84
3.38. Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real Intercambiador Platos.	85
3.39. Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Platos.	85
3.40. Datos Medidos Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.	86

3.41. Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.	87
3.42. Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.	88
3.43. Datos Medidos Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.	89
3.44. Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.	90
3.45. Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.	90
4.1. Interfaz de temperaturas.	93
4.2. Curvas de temperatura - Platos.	94
4.3. Gráfica de comportamiento de las temperaturas - Platos.	94
4.4. Interfaz de temperaturas - Intercambiador Tubo y Coraza.	96
4.5. Curvas de temperatura - Tubo y Coraza.	96
4.6. Gráfica de comportamiento de las temperaturas - Tubo y Coraza.	97
4.7. Interfaz de temperaturas - Tubo y Coraza Cobre.	98
4.8. Curvas de temperatura - Tubo y Coraza Cobre.	99
4.9. Gráfica de comportamnio de las temperaturas - Tubo y Coraza Cobre.	99
4.10. Realización de la pruebas mediante la aplicación en ThingsBoard.	101
4.11. Realización de la pruebas mediante la aplicación en ThingsBoard.	101
5.1. Hoja de Especificaciones NI-MYRIO. Fuente:[NI-GuíaMyRIO]	110
5.2. Descripción General del Hardware. Fuente:[NI-GuíaMyRIO]	111
5.3. Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor.	112
5.4. Sistema Embebido en Tiempo Real	113
5.5. Sistema Integrado de Monitoreo y Control.	114
5.6. Verificación de los componentes de la Unidad de Control.	115
5.7. Verificación de los componentes de la Unidad de Servicio.	115
5.8. (a) Conexión con el Sistema Embebido NI-MyRIO.	116
5.9. (b) Pruebas Monitoreo y Control del Sistema.	116

Índice de Tablas

2.1. Comparación de los Sistemas IoT e IIoT. Fuente: [Sisinni et al., 2018]	16
2.2. Diferencias entre IIoT y M2M. Fuente: [Firouzi et al., 2020]	20
2.3. Estándares del IIoT. Fuente: Elaborada por el autor.	28
2.4. Descripción de los componentes de la arquitectura. Fuente: Elaborada por el autor.	33
2.5. Clasificación de intercambiadores según su principio funcional. Fuente: Tomado de [Çengel, 2007].	36
2.6. Modelos de intercambiadores. Fuente: Elaborada por el autor.	37
2.7. Tipos de flujos. Fuente: Elaborada por el autor.	39
3.1. Requerimientos del Sistema de la Unidad de Control. Fuente: Elaborada por el autor.	43
3.2. Requerimientos del Sistema de la Unidad de Servicio. Fuente: Elaborada por el autor.	45
3.3. Especificaciones funcionales de los dispositivos de la Unidad de Control. Fuente: Elaborada por el autor.	48
3.4. Especificaciones funcionales de los dispositivos de la Unidad de Servicio. Fuente: Elaborada por el autor.	50
3.5. Intercambiador de Platos.	69
3.6. Configuración de bombas. Fuente: Elaborada por el autor.	75
3.7. Modelo del sistema - Intercambiador Platos.	77
3.8. Sintonizando en Matlab - Intercambiador Platos.	77
3.9. Modelo del sistema Intercambiador Tubos Concéntricos.	79
3.10. Sintonizando en Matlab Intercambiador Tubos Concéntricos.	81
3.11. Modelo del sistema Intercambiador Tubos concéntricos cobre.	82
3.12. Sintonizando en Matlab 3	83
3.13. Modelo del sistema Intercambiador Platos.	84
3.14. Sintonizando en Matlab Intercambiador Platos.	86

3.15. Modelo del sistema Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.	87
3.16. Sintonizando en Matlab Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.	88
3.17. Modelo del sistema Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.	89
3.18. Sintonizando en Matlab Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.	91
4.1. Resultados de la prueba del Intercambiador de Platos. Fuente: Elaborada por el autor.	95
4.2. Resultados de la prueba del Intercambiador de Tubo y Coraza. Fuente: Elaborada por el autor.	97
4.3. Resultados de la prueba del Intercambiador Tubo y Coraza Cobre. Fuente: Elaborada por el autor.	100

Resumen

El Internet de las Cosas (IoT) está evolucionando mucho más rápido que cualquier otra tecnología. La estructura de IoT se puede describir como una colección de dispositivos inteligentes que se conectan a una web compartida para alcanzar un objetivo común. Los sistemas de IoT pueden utilizar diferentes arquitecturas, tecnologías y metodologías para la comunicación y el diseño de procesos.

El objetivo principal de este proyecto se centra en desarrollar un sistema remoto que incluya la arquitectura Internet Industrial de las Cosas (IIoT) con un sistema embebido para el monitoreo y control de un banco de pruebas de intercambiadores de calor. En sí se concluye que el sistema de IIoT propuesto para este estudio se basó en la identificación de los requerimientos del sistema el cual permitió integrar todos los dispositivos mediante una tarjeta embebida NI MyRIO para la obtención y envío de datos mediante el protocolo MQTT a la aplicación ThingsBoard permitiendo una escalabilidad de los datos en tiempo real y de forma remota, la implementación del sistema en esta tarjeta está basada en el módulo LabVIEW RT. Por lo tanto, en el sistema desarrollado se visualiza la implementación y funcionalidad de la plataforma basada en IIoT para el monitoreo y control en tiempo real de las variables tanto de temperatura como de caudal en la configuración en contra flujo aplicado al banco de pruebas de los intercambiadores de calor.

Palabras clave: IoT, IIoT, sistema embebido, sistema remoto, intercambiador de calor, monitoreo.

Abstract

The Internet of Things (IoT) is evolving much faster than any other technology. The IoT framework can be described as a collection of intelligent devices that connect to a shared web to achieve a common goal. IoT systems can use different architectures, technologies and methodologies for communication and process design.

The main objective of this project focuses on developing a remote system that includes the Industrial Internet of Things (IIoT) architecture with an embedded system for the monitoring and control of a heat exchanger test bench. In itself it is concluded that the IIoT system proposed for this study was based on the identification of the system requirements which allowed to integrate all the devices through an NI MyRIO embedded card for obtaining and sending data through the MQTT protocol to the ThingsBoard application allowing scalability of data in real time and remotely, the implementation of the system in this card is based on the LabVIEW RT module. Therefore, the developed system visualizes the implementation and functionality of the IIoT-based platform for real-time monitoring and control of both temperature and flow variables in the counter-flow configuration applied to the heat exchanger test bench.

Keywords: IoT, IIoT, embedded system, remote system, heat exchanger, monitoring.

Capítulo 1

Introducción

Las nuevas tecnologías industriales de Internet de las Cosas (IoT) están creando un ecosistema cada vez más rico de dispositivos, controladores y subsistemas conectados, desde sensores hasta la nube, lo que permite nuevos niveles de innovación digital. El Internet Industrial de las Cosas (IIoT) se refiere a la expansión y el uso del IoT en campos y aplicaciones industriales, como máquina a máquina (M2M), big data y aprendizaje automático. El IIoT permite a industrias y empresas tener mayor eficiencia y confiabilidad en sus operaciones. Tanto la Industria 4.0 como en IIoT, el enfoque se centra en la integración de las tecnologías existentes y en un mejor uso de ellas. En este sentido, la industria, las máquinas, los productos y las personas están todos conectados digitalmente, desde los sistemas embebidos hasta los sistemas inteligentes, compuestos por hardware y software que realizan tareas determinadas en tiempo real.

La necesidad de controlar procesos industriales sin las limitantes de la distancia y en tiempo real, exige el desarrollo de estas aplicaciones y dispositivos. Para llevar a la práctica esta tecnología es necesario considerar un sistema de control industrial, mediado por un sistema embebido. En este estudio, el sistema de monitoreo y control utiliza para la adquisición de datos un sistema embebido de tiempo real de la compañía NI, denominado MyRIO. Este sistema embebido es una puerta de enlace del sistema de IIoT facilitado por ThingsBoard, que es utilizado para monitorear y controlar en tiempo real un banco de pruebas de intercambiadores de calor. Los intercambiadores de calor tienen una amplia aplicación en las industrias, tales como las plantas de energía, las petroleras, industria de alimentos, en los sistemas de aire acondicionado y refrigeración, etc.

1.1. Descripción general del problema

Los intercambiadores de calor en diversas industrias pueden ser una de las principales causas de paralización de la productividad, lo que a menudo resulta en altos costos de mantenimiento, grandes pérdidas de producción y operaciones deficientes de la planta.

El rendimiento de los intercambiadores de calor se degrada con el tiempo debido al ensuciamiento o la deposición de material en la superficie de transferencia de calor. La contaminación de los intercambiadores críticos en las plantas de fabricación puede causar un impacto significativo en los costos en términos de pérdidas de producción, eficiencia energética y costos de mantenimiento.

El monitoreo actual puede involucrar mediciones manuales especiales tomadas periódicamente. Este tipo de mediciones proporcionan una visión inconsistente y lenta de los errores, con una evaluación imprecisa solo basada en la experiencia del técnico. En la actualidad con la implementación de las nuevas tecnologías digitales, a través del Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y la integración de los sistemas embebidos se puede tener un monitoreo y un control continuo del proceso de los intercambiadores de calor y en tiempo real, enviando datos al servidor en la nube para luego ser analizados. El sistema de monitoreo y control basado en IIoT para un banco de pruebas de intercambiadores de calor propuesto en este estudio es capaz de monitorear y establecer parámetros del proceso asociados con las operaciones de los intercambiadores de calor.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo y control para un banco de pruebas de intercambiadores de calor basado en sistemas embebidos en tiempo real e Internet Industrial de las Cosas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos de diseño mediante un análisis del sistema para establecer las bases de implementación del proyecto.
- Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos basado en sistemas embebidos de tiempo real para adquirir las variables implícitas en el funcionamiento del banco de pruebas.

- Diseñar e implementar un sistema de control basado en acciones PID para establecer un correcto funcionamiento de los procesos que integran el banco de pruebas.
- Desarrollar una plataforma basada en Internet Industrial de las Cosas para el monitoreo de las variables de los intercambiadores de calor.
- Validar la funcionalidad y desempeño de los procesos mediante la ejecución de pruebas experimentales.

1.3. Contribuciones

Este proyecto aporta directamente al desarrollo de nuevas tecnologías que brindan capacidades que antes no estaban disponibles para la comunicación a través de Internet Industrial de las Cosas.

1. Diseño de sistema embebido para el control y monitoreo en tiempo real de un sistema térmico.
2. Monitoreo en tiempo real de un sistema térmico mediante Internet Industrial de las Cosas.
3. Integración de todos los equipos del sistema para la comunicación y procesamiento de datos en la nube (IIoT).

1.4. Organización del manuscrito

Este documento está organizado de la siguiente manera:

En el *capítulo uno*, se hace una introducción y descripción contextual del tema en cuanto a la Industria 4.0, el Internet de las Cosas (IoT) y a la necesidad de adaptarse a la funcionalidad de los sistemas integrados, para seguidamente presentar una descripción general del problema en función a implementar el sistema de monitoreo de unos intercambiadores de calor mediante el IIoT. Asimismo, se plantean los objetivos generales y específicos, a desarrollar durante el estudio, aunado a las contribuciones y/o aportes del estudio del proyecto; junto a la organización del manuscrito que responde a la estructura del documento físico final a presentar antes de la disertación.

En el *capítulo dos*, se describe sobre el estado del arte, el cual se relacionada específicamente con la Industria 4.0, su evolución, el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), los sistemas embebidos su naturaleza, enfoques, arquitecturas y aplicaciones y además es específica de los

intercambiadores de calor, tipos características, ventajas y desventajas de uso. Aunado a las definiciones previas necesarias para aclarar algunos términos.

El *capítulo tres*, se relaciona con la metodología del desarrollo del proyecto, donde se especifica los requerimientos del sistema, la validación de las pruebas experimentales, modelado y control de las bombas del sistema de los intercambiadores de calor.

El *capítulo cuatro*, trata del análisis de resultados del monitoreo y control de las variables como flujo y temperatura que intervienen en los intercambiadores de calor.

Y por último el *capítulo de Conclusiones y Trabajo Futuro*; más las *Bibliografías* consultadas y el apartado de *Anexos*.

Capítulo 2

Estado del Arte

El estudio de este capítulo tiene como fin reconocer, el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y los sistemas embebidos como un conjunto para sistemas de monitoreo en los sistemas de fluidos térmicos. Ya que estas son algunas de las claves que permitirán a las empresas y a las industrias mantenerse competitivas en el mercado.

2.1. Internet Industrial de las Cosas en la Industria 4.0

Los términos Industria 4.0 e Internet Industrial de las Cosas (IIoT) describen un nuevo modelo de organización y control de la cadena de valor a través del período de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación apoyándose siempre por las tecnologías de la información [Del Val Roman, 2016].

El Internet Industrial de las Cosas (IIoT) es un subgrupo del Internet de las Cosas (IoT), la diferencia entre las dos es que mientras el IoT está enfocado a servicios para los consumidores, el IIoT se concentra en aumentar la seguridad y la eficiencia en las aplicaciones Industriales [Sisinni et al., 2018]. En la Tabla 2.1, se muestra una comparación entre las tecnologías de IoT y el IIoT.

Tabla 2.1: Comparación de los Sistemas IoT e IIoT. Fuente: [Sisinni et al., 2018]

	IoT Orientado al Consumidor	IIoT Industrial
Impacto	Revolución	Evolución
Modelo basado en el Servicio	Centrado en el Humano	Orientado a la Máquina.
Estado Actual	Nuevos estándares y Servicios	Integrar dispositivos actuales y creación de nuevos estándares.
Conectividad	Ad Hoc (Nodos Móviles)	Estructurada (Nodos fijos, gestión de red centralizada).
Tiempo Real	No importante (Excluyendo aplicaciones médicas)	Aplicaciones Críticas (Temporización, confianza, seguridad, privacidad).
Volumen de Datos	Medianas a Altas	Altas a Muy Altas.

El IoT está definido por varias organizaciones como ITU-T, ETSI, IEEE, IETF, pero conceptualmente se puede definir como una infraestructura

global que proporciona servicios intelectuales mediante la convergencia de la inteligencia basada en la conciencia del contexto y la interacción autónomamente entre cosas autoconfiguradas y reconocidas sobre la información común la red.[Atzori et al., 2010].

El IIoT consiste en dispositivos tales como sensores, instrumentos y dispositivos autónomos Industriales conectados a Internet y plataformas de análisis que procesan los datos que se producen. El uso del IIoT dentro de la Industria 4.0 se da en cualquier actividad que se dedique a la producción y transporte, las ventajas de uso de estas nuevas tecnologías de la información permiten la creación de procesos eficientes en tareas operativas y permiten la creación de nuevos modelos de negocios.

2.2. Aplicaciones



Figura 2.1: Aplicaciones IIoT.

Fuente: Elaboración Propia.

Producción: Una de las oportunidades de la Industria 4.0 con IIoT es el mantenimiento predictivo, el cual permite el uso de los datos de monitoreo de condición para detectar anomalías en procesos de producción, equipos de manufactura y productos, y diagnosticar y pronosticar la evolución de estados anormales antes de una falla [Compare et al., 2019].

Cadena de Suministro: La gestión de inventario es una función importante en la industria. Las industrias pueden ser más eficientes cuando el inventario se gestiona de manera inteligente con inteligencia computacional y análisis predictivo, el IIoT recopila datos útiles de las máquinas y sensores que se pueden utilizar para la previsión de la demanda de la empresa y la automatización de la producción [Jayaram, 2017].

Gestión de edificios: Los edificios e infraestructura en la industria, tienen una amplia gama de requisitos de supervisión, gestión y optimización de recursos. Estos requisitos abarcan la gestión de la energía (incluida la iluminación), la videovigilancia, la gestión de acceso y la supervisión medioambiental, incluida la detección de incendios [Minoli et al., 2017] , por lo que la tecnología IIoT presenta grandes oportunidades para la gestión y monitoreo de esta infraestructura.

Cuidado de la salud: La atención médica y la asistencia sanitaria representan una de las áreas de aplicación para el IoT. El IIoT es una plataforma aplicable también a salud, tales como sistemas de salud remoto para el monitoreo en el cuidado de ancianos, seguimiento de enfermedades catastróficas, etc. [Islam et al., 2015]. En el IIoT, el registro y monitoreo de la actividad de los operarios es una aplicación importante en temas de seguridad industrial.

Tiendas Inteligentes: La tecnología IIoT tiene el potencial de hacer que la gestión de venta sea más eficiente, permitiendo tomar decisiones de ventas rápidas e inteligentes. Las bases de datos se actualizan automáticamente según el interés del mercado, proporcionando ventajas sobre los diferentes competidores.

2.3. Definiciones previas

En esta sección se resumirán algunos términos fundamentales y como ellos se relacionan con el IIoT, ver Fig.2.2.

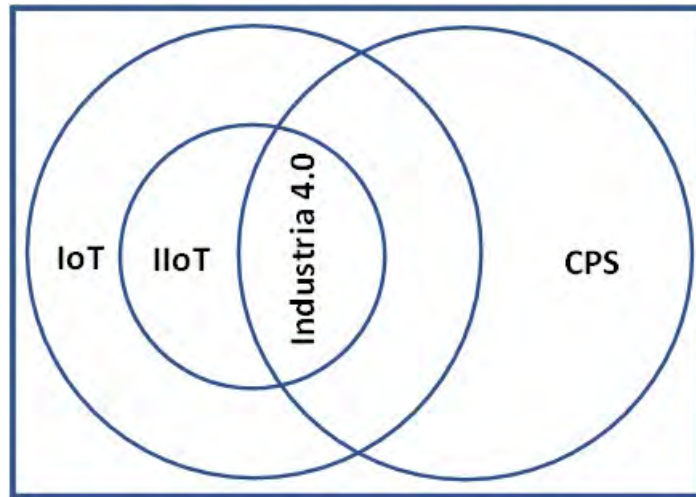


Figura 2.2: Conexión entre IoT, IIoT, Industria 4.0 y sistema CPS.
Fuente: Elaboración Propia.

Industria 4.0

Es un termino que engloba tecnologías y conceptos acerca de la cadena de valor en una organización [Hermann et al., 2016], entre los cuales esta IIoT, máquinas, computadoras y personas que permiten operaciones industriales inteligentes usando análisis de datos avanzados para la transformación de los negocios y personas por igual [Lin et al., 2015].

Sistemas Ciber-Físicos (CPS)

Los CPS son sistemas inteligentes que incluyen interacción entre redes de componentes físicos y computacionales. Estos sistemas proveen de nuevas funcionalidades para optimizar la calidad de vida de las personas y posibilitar ventajas tecnológicas en áreas críticas, como en la gestión de tráfico, fabricación inteligente, respuesta inmediata a los servicios de emergencia, protección, seguridad y gestión de los sistemas eléctricos. Aunque IIoT y M2M tienen términos relacionados, existen diferencias entre los mismos, en particular entre IIoT y CPS [Griffor, Greer, Wollman, Burns, et al., 2017]. Los sistemas CPS, por otro lado, consisten en componentes de computación y control estrechamente combinados con procesos físicos, lo que proporciona la base del IIoT y permite eficiencia y conectividad avanzadas entre dispositivos, sistemas y servicios en variadas áreas de aplicación.

Comunicación Maquina a Maquina (M2M)

El termino M2M es una red de comunicaciones entre dispositivos usando cualquier canal, usado en un contexto industrial. Si bien IIoT y M2M tienen conceptos parecidos, el primero se refiere a software que automatiza y gestiona la comunicación entre múltiples dispositivos, mientras el segundo se refiere a comunicación en gran escala de dispositivos [Firouzi et al., 2020]. En la Tabla 2.2 se observa las principales diferencias.

Tabla 2.2: Diferencias entre IIoT y M2M. Fuente: [Firouzi et al., 2020]

IIoT	M2M
Dispositivos que se comunican usando redes IP, variando los protocolos de comunicación posible.	Comunicación Punto a Punto, embebido en el hardware en el lado del consumidor.
Distribución de datos se retrasmite a través de la capa media en la Nube.	Varios dispositivos usando el protocolo, sobre redes celulares o redes convencionales.
Se necesita una conexión de Internet Activa	No es necesario una conexión de Internet.
Las opciones de integración son variadas, pero es fundamental la gestión.	Opciones de integración limitada; dispositivos deben disponer estándares de comunicación .

Sistemas de Control y Automatización Industrial (IACS)

El entorno IACS es un término comúnmente utilizado para incorporar varios tipos de sistemas de control e instrumentación, incluidos dispositivos, sistemas, redes y controles utilizados para operar y automatizar sistemas de procesos industriales. [Boyes et al., 2018].

Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA)

Los SCADA se pueden describir como sistemas ampliamente distribuidos que permiten operarse desde un lugar central, como ejemplo de estos sistemas tenemos, oleoductos, centrales hidroeléctricas. Entre los varios procesos que

pueden realizar un SCADA, es realizar ajustes en controladores de proceso distantes, abrir o cerrar válvulas o interruptores, monitorear alarmas y recolectar información de los diferentes instrumentos de medición [Boyer, 2004].

Internet Industrial

Consta de dos componentes principales, que conectan sensores y actuadores de la maquinaria industrial al procesamiento de información local e Internet, que luego se conecta a otras grandes redes industriales que pueden crear valor de forma independiente. [Accenture and General Electric, 2015].

2.4. Arquitectura del Internet Industrial de la Cosas (IIoT)

Esta arquitectura debe describir la interoperabilidad y escalabilidad de los diferentes dispositivos que utilizan diferentes tecnologías. Las arquitecturas de IIoT se presentan con multi niveles, para describir servicios en cada nivel con respecto a la tecnología seleccionada, modelo de negocio y requerimientos técnicos [Rakas et al., 2021].

En IIoT se puede describir con una arquitectura de tres niveles, como se presenta en la Fig. 2.3, desde el punto de vista de sistemas industriales, la arquitectura planteada consiste en la Capa de Aplicación, Capa de Comunicación y Capa Física [Xu et al., 2018]. A continuación, se detalla una explicación de cada capa.

Capa de Aplicación: Consiste en varias aplicaciones industriales entre las cuales se incluye factorías inteligentes, plantas inteligentes, sistemas inteligentes de distribución entre otras. Estas aplicaciones industriales inteligentes están constituidas por una gran cantidad de sensores y actuadores por este motivo el monitoreo debe ser oportuno, control preciso y gestión eficiente.

Capa de Comunicación: En esta capa se integran las redes de comunicaciones de los diferentes dispositivos industriales, como por ejemplo redes de sensores y actuadores inalámbricos (WSANs), 5G, M2M, SDN. Una variedad de técnicas de red es necesaria para soportar la interconexión de un

volumen considerable de sensores y actuadores en aplicaciones de industria inteligente.

Capa Física: Esta capa está compuesta por una gran variedad de dispositivos físicos desplegados, como sensores, actuadores, equipos de manufactura y otros objetos relacionados a la automatización y control industrial.

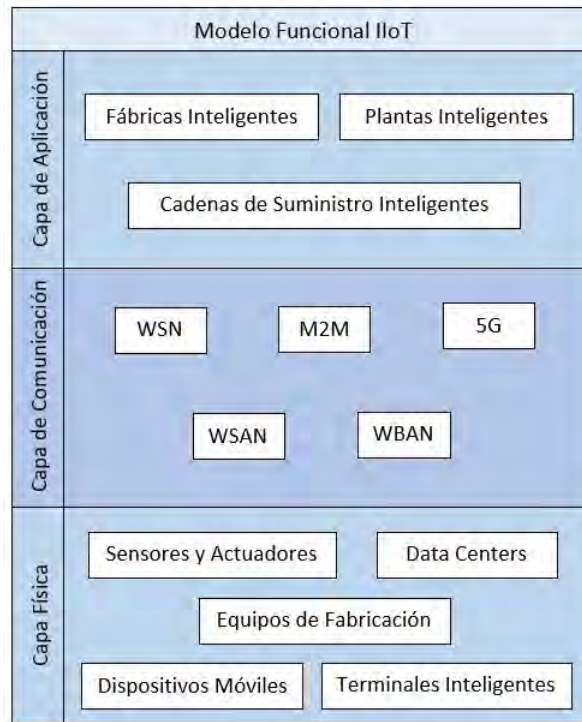


Figura 2.3: Modelo Funcional IIoT.

Fuente: Elaboración Propia.

El Consorcio de Internet de las Cosas Industrial (IIC) define una Arquitectura del sistema IIoT con tres niveles que son los de borde, plataforma y empresa. [Lin et al., 2017]. Esta arquitectura se muestra en la Fig. 2.4.

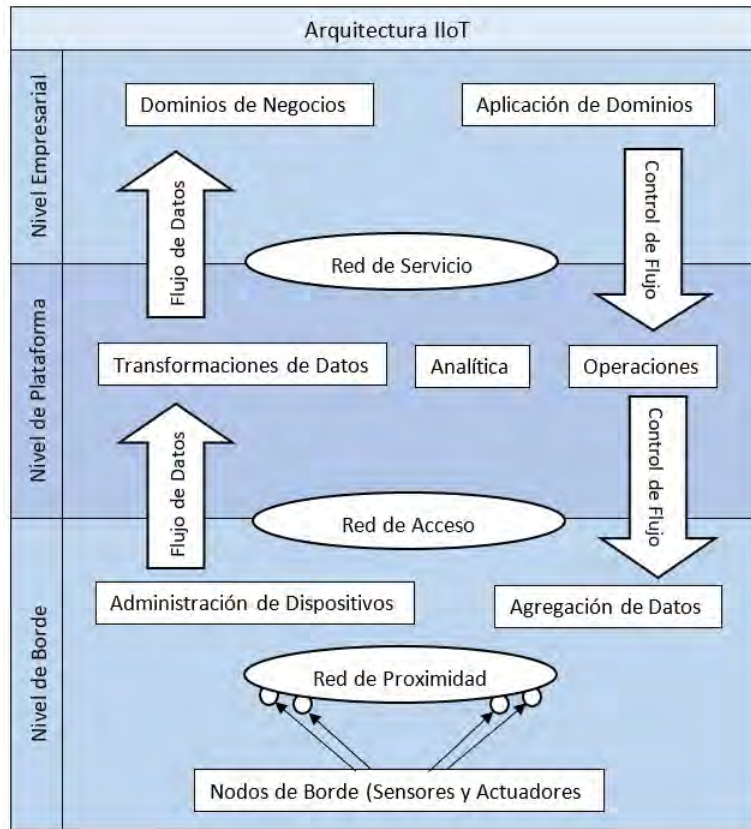


Figura 2.4: Arquitectura IIoT.

Fuente: Elaboración Propia.

Nivel de Borde: Consiste en nodos periféricos (sensores, actuadores y otros dispositivos) que interactúan entre sí y están conectados por redes de área local independientes con puertas de enlace externas que forman un puente hacia otras redes más grandes.

Nivel de Plataforma: Es responsable de recibir, procesar y reenviar los datos del nivel del borde al nivel empresarial (flujo de datos) y del nivel empresarial al nivel del borde (flujo de control). Realiza la recopilación y transformación de datos, así como el análisis de datos. Los niveles de plataforma y empresa están conectados mutuamente a través de una red de servicios.

Nivel Empresarial: más alto está formado por aplicaciones específicas de dominio e interfaces de usuario final.

2.5. Elementos del IIoT

Entender los componentes que constituyen el IIoT, permite obtener y entender el significado real y la funcionalidad de estos sistemas. A continuación, se describe los elementos necesarios que ofrecen la funcionalidad del IIoT, en la Fig. 2.5, se observa los elementos.

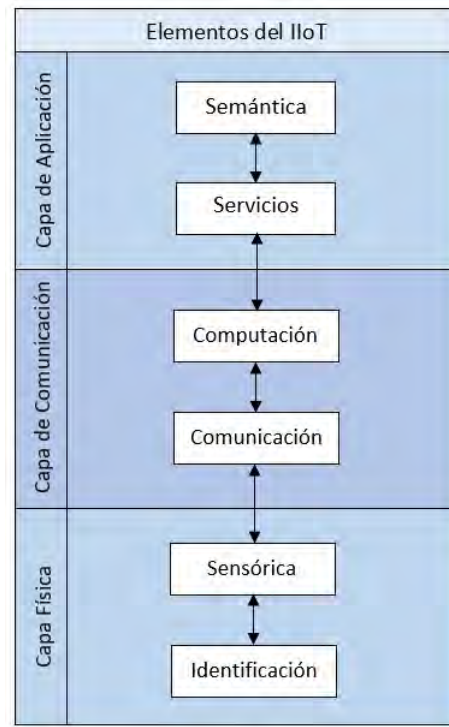


Figura 2.5: Elementos del IIoT.

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.1. Identificación

Se considera la primera prueba de identidad de cada objeto en IIoT. La identidad se usa generalmente para identificar a dispositivos o entidades en

particular. Además, se considera un factor clave para crear una conexión o relación entre las personas y es fundamental para el éxito del sistema IIoT. Esta información permite identificar miles de objetos heterogéneos y administrar objetos remotos a través de Internet. La identidad también asocia objetos con información relacionada con objetos que se puede recuperar del servidor. [Bkheet and Agbinya, 2021].

Permite que el objeto se comunique con otros objetos en Internet en el mismo ámbito o en un ámbito diferente.

La gestión de identidades es necesaria para tres partes principales: el usuario, las identidades de objeto y las relaciones, según ciertos principios que se aplican a la identidad de los objetos.

La identificación es importante para que el IIoT debido que esto permite que los objetos cotejen servicios con su alcance, los desafíos en cada aplicación de cada objeto con una identidad única, y la representación y almacenamiento de la información intercambiada. Es así que, la dirección de los objetos IoT es necesaria para distinguir el ID o nombre del objeto y su dirección, que se refiere a la dirección del objeto en la red de comunicación. Existen otras direcciones para objetos IoT que son IPv4, IPv6, 6LoWPAN, así como otros métodos antiguos pero que aún se utilizan como son los RFID, NFC, código de barras, Bluetooth, etc.

En la Fig.2.6 se mencionará algunos de los métodos de identificación anteriores en uso para identificar objetos IoT.



Figura 2.6: Elementos del IoT.

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.2. Sensórica

Sensórica es un concepto general que hace referencia a diferentes tipos de sensores. Los sensores recolectan datos de un proceso, luego envían esos datos al almacenamiento que son medios de bases de datos que se almacenan la nube. En la Fig. 2.7 se aprecia un sensor IIoT. Muchos dispositivos recopilan datos, como sensores, actuadores, etiquetas RFID, etc. La capacidad limitada de almacenamiento de datos de los dispositivos IIoT, hace que sea muy importante procesar los datos detectados. Los datos procesados se basan en el requisito de tomar las medidas adecuadas [Sisinni et al., 2018].



Figura 2.7: Sensores IIoT Monitoreo de Estado de Maquina.

Fuente: [<https://ncd.io/>]

2.5.3. Comunicación

La conexión entre un largo número de objetos heterogéneos y el intercambio de información para proveer algún servicio es un problema importante.

Siendo así la comunicación entre dispositivos en IIoT es una parte esencial, pero es permanentemente restringida debido a características de los objetos, como el tiempo de vida de batería o un rango limitado de transmisión de datos. Entre ellas se tiene el Wi-Fi, las etiquetas RFID, el Bluetooth, NFC, IEEE 802.15.4, zigbee, LTE, entre otras.

2.5.4. Computación

La información recopilada por varios cosas en aplicaciones de IIoT se pasa a un proceso. Se filtra lo útil y se desecha lo innecesario. Estas tareas son realizadas por diferentes plataformas de hardware, tales como: Raspberry Pi, Friendly ARM, WiSense, Mule, Arduino, etc y software como: Android,

Lite OS, Tiny OS. Estos sistemas operativos son aptos para diseñar entornos IIoT. Además, la nube se considera como una parte primordial del IIoT. Ya que provee facilidades durante el procesamiento de Big Data en tiempo real, beneficiando así a los usuarios finales del conocimiento extraído.

2.5.5. Servicios

Las aplicaciones IIoT proveen principalmente cuatro servicios; Relacionados a la identidad ocupado de objetos de información identitaria. De agregación de información que recolecta, resume y procesa toda la información de objetos y los devuelve a la aplicación. De conciencia colaborativa usado para convertir la información recolectada en decisiones y enviar respuestas apropiadas a dispositivos. Y por último, de servicios ubicuos responsables de proveer a los servicios antes mencionados al que lo requiera en cualquier lugar y tiempo.

2.5.6. Semántica

Se considera como el corazón de IIoT , se utiliza para extraer conocimiento de forma inteligente de los dispositivos para tomar decisiones adecuadas y crear servicios. Descubre y utiliza la información y los recursos del modelo. Ejemplos son RFID y OWL.

2.6. Estándares del IIOT

Los modelos, procesos y principios de gobierno que se siguen en el desarrollo de estándares pueden variar de una organización a otra. La interoperabilidad y escalabilidad entre sistemas, dispositivos, máquinas y aplicaciones en cadenas de valor, dominios y países son la base del IIoT. Los estándares permiten esta interoperabilidad y garantizan que las tecnologías funcionen juntas de manera transparente y confiable[Koch and Blind, 2021].

Los estándares actúan como un canal para la transferencia de conocimiento e información y garantizan la interoperabilidad y escalabilidad del sistema [Koch and Blind, 2021].

En la Tabla 2.3, proporciona una descripción general de los estándares del IIoT.

Tabla 2.3: Estándares del IIoT. Fuente: Elaborada por el autor.

Nombre / Autor	Descripción	Dominio de Aplicación / Dependencia
DDS / Object Management Group	Por sus siglas (Data Distribution Service) es un framework de conectividad que permite interoperabilidad, dispositivos móviles y sistemas empresariales. Puede ser propagado en dispositivos de bajo consumo hasta dispositivos en la nube. Provee un sistema flexible de integración en tiempo real así como una analítica global.	IIoT y en aplicaciones de consumidor a gran escala. Dependencia: UDP TCP
OPC-UA / OPC Foundation	Es una arquitectura de comunicación industrial, de plataforma independiente, alto desempeño, seguro e interoperable entre sensores, dispositivos de campo, aplicaciones y controladores a nivel de piso y la nube empresarial en tiempo real	Automatización en manufactura, control de procesos y energía. Dependencia: TCP HTTP TLS

oneM2M Varios	/	Provee un servicio común de capa entre aplicaciones y el transporte de conectividad. Ofrece capacidades que son expuestas a aplicaciones mediante APIs RESTful, que suelen utilizar las industrias. Se compone de tres capas: aplicaciones, servicios middleware y redes. Permite una comunicación óptima entre extremos.	IIoT y en aplicaciones de consumidor a gran escala. Dependencia: CoAP . HTTP MQTT WebSockets
HTTP IETF W3C	/ Y	Es el conector de transporte del internet. Es usado en este caso para exponer interfaces de aplicación de servidor como servicios web.	World Wide Web, interfases de usuario y aplicaciones de hipermedia colaborativos. Dependencia: TCP . TLS
CoAP IETF	/	Por sus siglas (Constrained Application Protocol) es un protocolo web de transferencia específico para el uso en nodos y redes encogidas en IoT.	Escenarios donde los dispositivos sean muy limitados en recursos sea memoria, procesamiento o ambos. Y donde se requiera la interoperabilidad entre la web y los dispositivos. Dependencia: UDP TCP . WebSockets
MQTT OASIS	/	Es un conector de transporte para comunicación máquina a máquina ligera. Utiliza un broker cantralizado donde se envía y reciben mensajes publish-subscribe.	Escenarios donde exista bajo consumo de código y ancho de banda. Dependencia: TCP . UDP TLS

2.7. Sistemas Embebidos

2.7.1. Definición

Son regularmente definidos como el software implementado en hardware para realizar tareas específicas en tiempo real. Entre los dispositivos más conocidos, se encuentra: FPGAs, DSPs, ASICs y microcontroladores, cada uno con sus características propias [Chen et al., 2006].

Poseen menos poder de cómputo y memoria limitada, siendo más fáciles de diseñar y financiar. No dependen de un sistema operativo formal como tal. El termino embebido es también aplicado a la unión de varias tecnologías.

2.7.2. Hardware de Sistemas Embebidos

Los sistemas embebidos utilizan una arquitectura que los hace fácilmente configurables para adaptarse a diferentes requisitos de aplicación. Estos sistemas embebidos son componentes físicos que utilizan en la ejecución de tareas tales como el procesamiento de información que generan los sensores, el control de ciertos actuadores, etc. A continuación, analizaremos brevemente algunos de ellos.

Microcontroladores y Microprocesadores

Dada su habilidad para funcionalidades programáticas, fueron utilizados por mucho tiempo como la única alternativa de implementación. Su arquitectura de microprocesador es fija y genérica lo que la convierte en una alternativa de bajo coste. Las instrucciones que se las escribe son almacenadas en memoria ROM persistente o en chips Flash. Los microcontroladores utilizan palabras de longitud reducida en algunos casos, tienen memoria RAM reducida, así como eventos de interrupción para reducción de uso de energía. Son mayormente utilizados en tecnología de cómputo.

FPGA's

En un inicio fueron diseñados para sistemas embebidos digitales, tomando como punto de partida el uso de arreglos de bloques lógicos personalizados. Tienen la ventaja de un procesamiento veloz, capacidad de recuperación,

protocolos disponibles y gran cantidad de componentes. Se los utiliza de dos maneras: implementando las funcionalidades en la lógica digital o en la arquitectura del microprocesador y los periféricos de microcontrolador deseados. A su vez permiten la reprogramación parcial sobre la marcha y el reemplazo de componentes digitales en sistemas antiguos [Chen et al., 2006].

DSP

Por sus siglas Procesadores de Señal Digital tienen multiplicadores embebidos y bloqueadores DSP, estos dan lugar a operaciones aritméticas complejas, permitiendo la programación de alto nivel, la acumulación de operaciones, procesamiento en paralelo y bloques de memoria integrados. Ciertas arquitecturas DSP, llamadas DSC (Controladores de Señal Digital) son optimizadas para el manejo de aplicaciones y herramientas como generadores PWM, timers watchdog e interrupciones de respuesta rápido. Necesitan un costo más alto que un FPGA. Son utilizados en procesamiento de señal de audio e imagen, así como en la industria del controlador de motor [Chen et al., 2006].

ASIC's

Por sus siglas Circuitos Integrados de Aplicación Especifica, se caracterizan por un desempeño de alta calidad, bajo coste y consumo energético. Son creados a partir de células estándar. Sus herramientas de diseño han mejorado notablemente a la par de la complejidad y funcionalidad. Los bloques complejos que se ocupan incluyen: procesadores de 32 bits, ROM, RAM, EEPROM, Flash. Su uso únicamente se lo aplica en manufactura en grandes cantidades y en series largas por los altos costes iniciales de ingeniería.

2.7.3. NI-MyRIO

En la siguiente sección se tratará sobre el dispositivo embebido NI-MyRio, Fig. 2.8, utilizado en el presente trabajo, la arquitectura utilizada en este elemento está basada en la arquitectura RIO que significa entradas y salidas configurables.



Figura 2.8: NI-MyRIO 1900.
Fuente: [<https://www.ni.com>]

Arquitectura del NI-MyRio

La arquitectura del dispositivo se basa en cuatro componentes: un procesador, un FPGA, hardware modular de E/S (Entradas y Salidas) y software de diseño gráfico. Al combinar estas partes se logra una capacidad de creación de circuitos de hardware personalizado con E/S de alto rendimiento y flexibilidad para el control de la temporización del sistema [[NationalInstruments](#)].

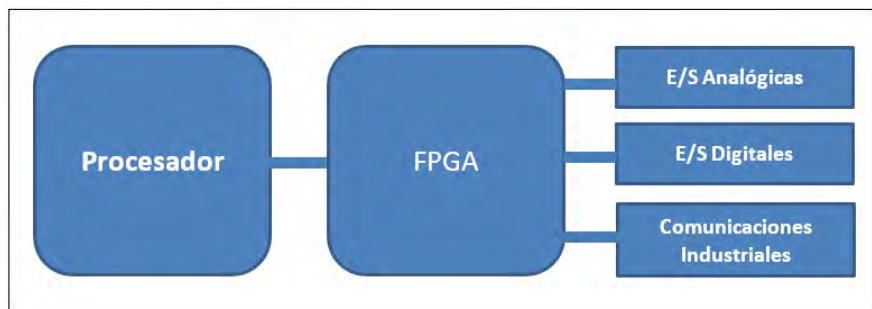


Figura 2.9: Arquitectura NI-MyRIO.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 2.4, se despliegan la arquitectura y la descripción de las partes que componen el sistema.

Tabla 2.4: Descripción de los componentes de la arquitectura.
Fuente: Elaborada por el autor.

Nombre del componente	Descripción
Procesador	El procesador se utiliza para implementar el código con el fin de comunicarse con otras unidades de procesamiento, tales como el FPGAs, interfaces con periféricos de E/S, datos de registro y permite ejecutar aplicaciones.
FPGA	La FPGA reconfigurable es el núcleo de la arquitectura del sistema de hardware NI-MyRIO, esta característica evita sobrecargar al procesador con tareas intensivas y proporcionar una ejecución determinista con un rendimiento extremadamente alto. La FPGA está directamente conectada a los módulos de E/S para permitir un acceso de alto rendimiento a la circuitería de E/S de cada módulo y una flexibilidad ilimitada de temporización, disparo y sincronización. Debido a que cada módulo está conectado directamente a la FPGA, en lugar de hacerlo a través de un bus, no se experimenta casi ninguna latencia del control para la respuesta del sistema en comparación con otros controladores industriales.
Entradas y Salidas	El dispositivo cuenta con varios tipos de conectores con varios tipos de señales que se enlistan a continuación: <ul style="list-style-type: none"> • Entradas analógicas. • Salidas analógicas. • Salidas y Entradas Digitales. • Entradas y Salidas de Audio. El detalle de las entradas y salidas disponibles están disponibles en el ANEXO 1a,b Fig.5.2. Hoja de Especificaciones NI-MYRIO.

2.8. Sistemas de Fluidos Térmicos

Los sistemas térmicos es una disciplina que analiza y diseña dispositivos donde se traslada la energía térmica y transferencia de calor.

Los sistemas de producción de las industrias necesitan, en cualquier fase de su proceso de calentamiento, mecanismos, del cual el calentamiento es también uno de las partes elementales, si no importantes, del sistema. [Çengel and Boles, 2009].

2.8.1. Esquema de un Sistema de Fluidos Térmicos

Un esquema de transferencia de calor es un circuito en el que el fluido fluye desde el calentador al dissipador de calor y regresa desde el calentador y entre las paredes del gabinete del sistema, sin agregar ni quitar calor, excepto por pérdida de calor. En la Fig. 2.10 se muestra un ejemplo de un sistema de fluidos térmicos de lazo cerrado de cuatro tubos, para calentamiento y transferencia de un fluido en la industria. El ejemplo dado tiene las siguientes partes típicas:

- a. Filtros. Son sistemas para proteger las diferentes partes del sistema.
- b. Tanque de Expansión. Su funcionalidad es absorber las variaciones de volumen de un fluido en un circuito cerrado al variar su temperatura, manteniendo la presión entre límites de funcionamiento, al mismo tiempo, pérdidas y reposiciones de la masa de fluido.
- c. Separadores de Aire. Permiten eliminar aire del sistema.
- d. Reguladores de Presión. Su función regular la presión de los fluidos para lograr un punto de funcionamiento.
- e. Aislantes. Aíslan los fluidos de trabajo impidiendo perdidas o la influencia de la temperatura ambiente.
- f. Válvulas. Regulan el flujo de trabajo.
- g. Medidores de flujo. Permiten establecer el flujo en un punto del sistema.
- h. Intercambiadores de Calor. El calor se transfiere de un punto del sistema a otro punto del sistema.
- i. Calentadores. Elevan la temperatura del fluido de trabajo.

- j. Tanques de almacenamiento. Almacenan los fluidos del sistema, pueden tener calentadores incluidos y aislantes.

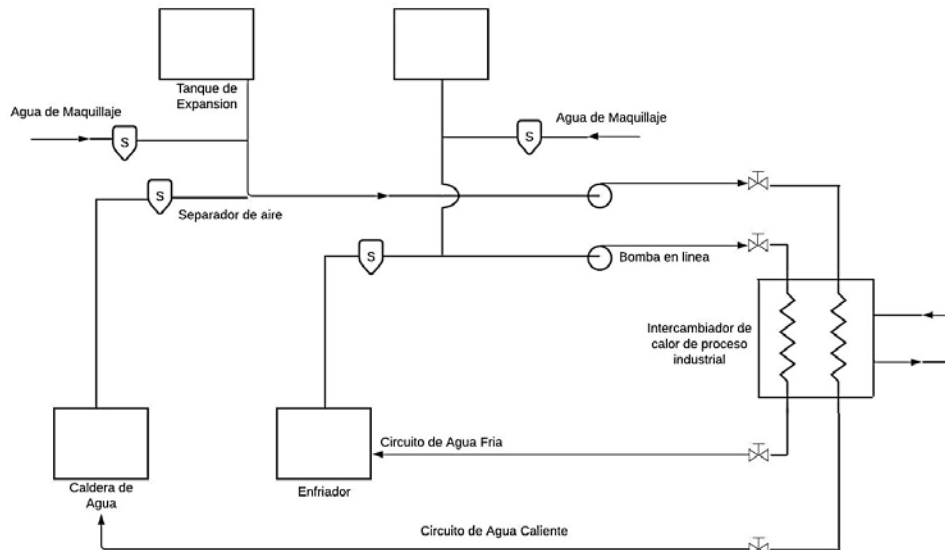


Figura 2.10: Sistema de 4 tuberías.
Fuente: Elaboración Propia.

2.9. Intercambiadores de Calor

Sirven para la evaporación, refrigeración y calentamiento de medios de diferentes temperaturas. Estos transfieren la energía térmica del medio contenido con una temperatura superior a un medio con temperatura inferior. Tomando de base al segundo principio de la termodinámica, el transporte calorífico siempre es realizado a partir del medio de temperatura superior a el medio de temperatura inferior. Son utilizados en ingeniería energética, industria química, alimentaria, tecnología informática y sector automovilístico. El proceso de transferencia puede ser principal o auxiliar. Tomando en cuenta el contacto directo o no de los medios involucrados se habla de intercambiadores directos e indirectos. [Çengel, 2007].

Tabla 2.5: Clasificación de intercambiadores según su principio funcional.
 Fuente: Tomado de [Çengel, 2007].

Indirectos	Directos
<p>Regeneradores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reponedor de hornos prominentes. - Cambiador rotativo de calor. <p>Estos fluyen de forma alternada mediante acumuladores térmicos medios fríos y calientes. Se dice que es indirecta la transferencia de calor debido a que el flujo se transfiere primero al acumulador y luego al medio de llegada lentamente.</p> <p><i>Figura 2.11(a).</i></p>	<p>Recuperadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - De tubos concéntricos. - De tubos y carcasa. - De placas. <p>Fluyen al mismo tiempo dos medios y de manera estacionaria mediante recuperadores. Los flujos están permitidos ir en paralelo, contracorriente y cruzado. Una pared divisora esta entre los flujos de medios sirviendo como una superficie de transferencia.</p> <p><i>Figura 2.11(b).</i></p>
	<p>En contacto directo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Torre de refrigeración por humedad. - Laminadores con refrigeración intermedia. <p>Estos juntan a dos medios de distinta temperatura, los mezcla, efectuando una transferencia calórica y de masa de forma directa.</p> <p><i>Figura 2.11(c).</i></p>

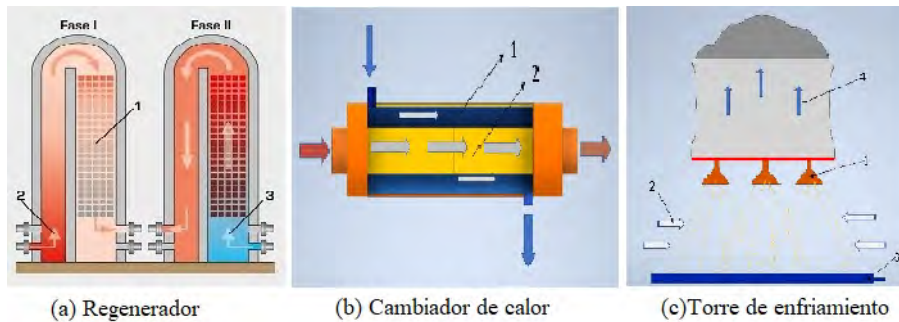


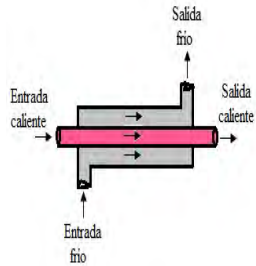

Figura 2.11: Clasificación de intercambiadores.
 Fuente: [Çengel, 2007].

Los líquidos o gases son ocupados como fluidos de trabajo, vapores condensantes o líquidos evaporantes en casos especiales.

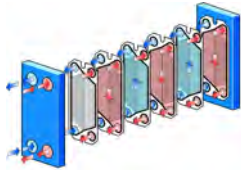
2.9.1. Modelos de intercambiadores

Al tener un amplio número de aplicaciones, fueron desarrollados intercambiadores de distinta naturaleza. En la Tabla 2.6 se describe algunas aplicaciones, ventajas y desventajas de los modelos de intercambiadores.

Tabla 2.6: Modelos de intercambiadores. Fuente: Elaborada por el autor.

Modelo	Aplicaciones	Ventajas
<p><u>De tubos concéntricos</u></p> 	<p>- Escenario con capacidad de calentamiento/refrigeración inferior.</p> <p>- Transferencia entre dos líquidos.</p> <p>- Uso en fluidos altamente viscosos.</p>	<p>- Admisión de presión alta.</p> <p>- Limpieza y construcción sencilla.</p> <p>Desventajas</p> <p>- Tamaño grande.</p> <p>- Gasto considerable por superficie de transferencia.</p>
<p><u>De carcasa y tubos</u></p> 	<p>- Transferencia entre dos líquidos, dos gases o entre gases y líquidos.</p> <p>- Uso con presión y temperatura considerables.</p>	<p>Ventajas</p> <p>- Perfecto para transferencia de vapor a agua.</p> <p>- Montaje optimo.</p> <p>Desventajas</p> <p>- Tamaño grande.</p>

<u>De placas</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Uso en diferencias mínimas de temperatura. - Transferencia entre dos líquidos, dos gases o entre gases y líquidos. - Puede o no tener cambio de fase. 	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - El flujo turbulento permite una gran transferencia de calor. - Construcción óptima y llenado reducido. - Superficie de intercambio amplia debido al estampado de superficie en la placa. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento pesado. - Gran cantidad de pérdida de carga.
------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



2.9.2. Transferencia de calor

El corriente de calor a través de un sistema se produce debido a la diferencia de temperaturas entre el sistema y su entorno.. La transferencia de calor tiene lugar a través de tres mecanismos principales: conducción, radiación y convección. [Rohsenow et al., 1998].

- La *conducción*, transfiere calor de una parte del cuerpo a una temperatura alta a otra parte del mismo cuerpo a una temperatura baja, o de un cuerpo a una temperatura alta a otro cuerpo en contacto físico con la parte que está a una temperatura baja.
- La *radiación*, es la radiación electromagnética que emite un cuerpo debido a su temperatura y gasta su energía interna .
- La *convección*, a veces identificado como un modo distinto de transferencia de calor, implica la transferencia de calor a través de un plano de flujo dentro del fluido que fluye. Si el movimiento del fluido es producido por una bomba, soplador, el proceso se llama convección forzada [Çengel, 2007].

2.9.3. Conducción de flujo

Según la construcción del intercambiador, difiere la conducción de flujo del equipo. Los intercambiadores de calor vienen en muchas formas, tamaños, materiales de construcción y diseños, se clasifican en función de características comunes. Una de ellas que se puede utilizar es la dirección relativa que existe entre dos flujos de fluido. [Jaramillo, 2007]. En la siguiente Tabla 2.7 se describe los tres tipos de flujo.

Tabla 2.7: Tipos de flujos. Fuente: Elaborada por el autor.

Contracorriente	Paralelo	Cruzado
Dos medios fluyen, pasando el uno al otro, en trayectoria contraria. El punto de entrada de uno es el punto de salida del otro que va al reverso. Si el diseño es bien hecho la temperatura de salida fría puede ser más alta que la del lado caliente. <i>Figura 2.12(a).</i>	Ambos medios van en igual dirección y entran al mismo tiempo. La temperatura de salida fría alcanza el máximo de temperatura de la salida caliente. <i>Figura 2.12(b).</i>	Se cruza las trayectorias de los medios. Es utilizada especialmente en el control de temperatura preciso en productos termosensibles. <i>Figura 2.12(c).</i>

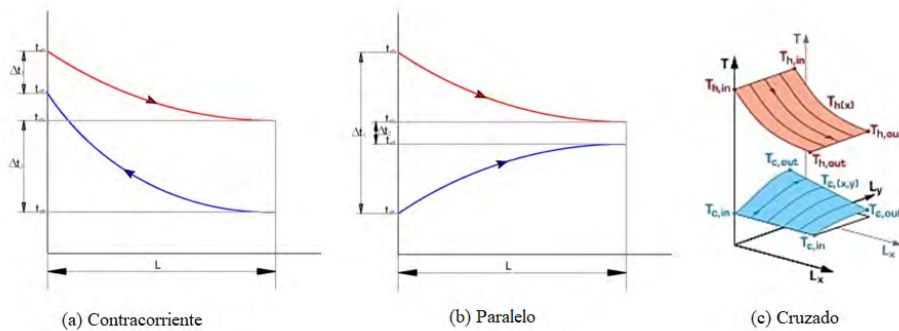


Figura 2.12: Tipos de flujo en los intercambiadores.

Fuente: Elaboración Propia.

Para sacar el mayor provecho de estos procesos se los combina. En un control de temperatura seguro y rápido en grandes cantidades de químicos agresivos, se emplea un intercambiador de carcasa y tubos de múltiples entradas de flujo cruzado. En espacios reducidos se utilizan intercambiadores de placa con flujo a contracorriente.

En la práctica, estos dispositivos tienen varias etapas de creación:

- En el diseño se define la capacidad de transferencia haciendo uso de sustancias y temperaturas conocidas.
- En el recalcu es definido las temperaturas de salida de los medios y el flujo térmico transferido. A su vez se realiza el proceso descrito en dispositivos ya existentes comparándolos con mediciones reales.
- En la evaluación se llega a conclusiones acerca del sobredimensionamiento, dimensionamiento insuficiente, datos geométricos, etc.

Capítulo 3

Metodología del Desarrollo del Sistema de Monitoreo y Control del Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor

En este capítulo se establecen y describen los requerimientos funcionales del Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor, esta información se utilizará para el diseño arquitectónico e ingeniería de software del sistema de control y monitoreo en tiempo real, además, de la validación del sistema de monitoreo por Internet basado en ThingsBoard.

3.1. Especificaciones de los Requerimientos del Sistema

A continuación, se detallarán los requisitos funcionales del Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor.

3.1.1. Estructura del Banco de Pruebas del Intercambiadores de Calor

El Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor es un sistema multicomponente de Fluidos Térmicos que tiene como objetivo la evaluación y caracterización de intercambiadores de calor, el mismo fue desarrollado para el Proyecto Termolabo [Vanegas Guillén et al., 2021] con fines educativos. Este sistema se compone de manera general de dos bloques funcionales denominados Unidad de Control y Unidad de Servicio ver Fig. 3.1, los cuales están compuestos de varios dispositivos que se detallarán a continuación.

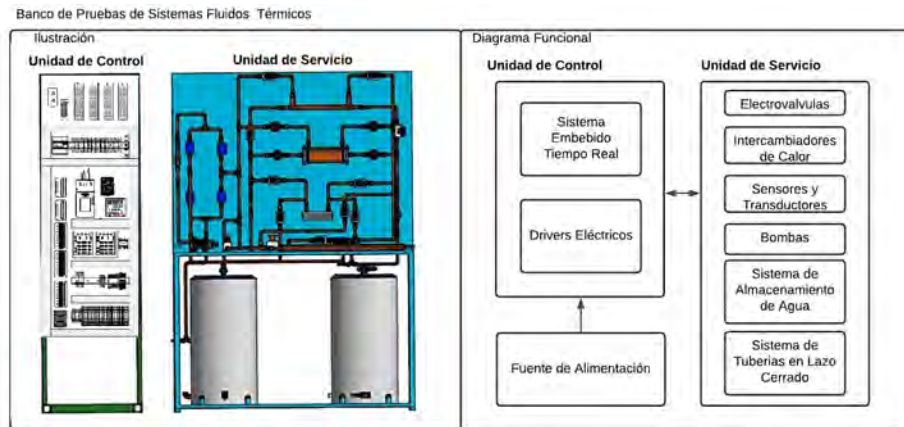


Figura 3.1: Estructura del Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor. Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2. Descripción Funcional

Unidad de Control

La Unidad de Control (UC) es un conjunto de dispositivos eléctricos y electrónicos integrados en una caja de metal que es responsable de monitoreo

y control de los diferentes actuadores y transductores que componen el banco de pruebas. La UC está constituida por un Sistema Embebido en Tiempo Real y un grupo de Drivers Eléctricos que integrados permiten el acondicionamiento de las señales de entrada de los diferentes transductores que componen el sistema, así también de las señales de control y comunicaciones del banco de pruebas.

En la Tabla 3.1 se detallan los componentes que forman parte de la UC.

Tabla 3.1: Requerimientos del Sistema de la Unidad de Control. Fuente: Elaborada por el autor.

Sistema Embebido de Tiempo Real		
Id	Nombre del Componente	Descripción
UC-01s	NI-MyRIO.	Dispositivo Embebido cuenta con entradas analógicas, salidas analógicas, líneas de E/S digitales, LEDs, basado FPGA Xilinx y un procesador dual-core ARM Cortex-A9.
Drivers Eléctricos		
UC-02	CN-730	Controlador de Temperatura Industrial comunicación Modbus RS234.
UC-03	Bloque de Relés de Automatización Electroválvulas.	Relés Industriales para el control de Electroválvulas.
UC-04	Drivers Bombas.	Driver para bombas de CC basados en PWM.
UC-05	Acondicionadores de PT100.	Tarjetas acondicionadoras de señal para PT100 basados en protocolo SPI (Serial Peripheral Interface).
PS-01	Fuentes de Alimentación CC.	Fuentes de Alimentación de 12 VDC-24VDC para los diferentes componentes del Sistema.

Unidad de Servicio

La Unidad de Servicio (US) es el componente del sistema donde se desarrollará las pruebas de los diferentes intercambiadores de calor el mismo que fue proporcionado por el proyecto Termolabo de la Universidad de Guayaquil y Universidad Politécnica de Madrid [Vanegas Guillén et al., 2021], Esta US está constituida por varios componentes como tuberías e instrumentación. Basados en el diagrama de flujo de procesos de la Fig.3.2 que se detallarán en la Tabla 3.2 los diferentes dispositivos que constituyen la US.

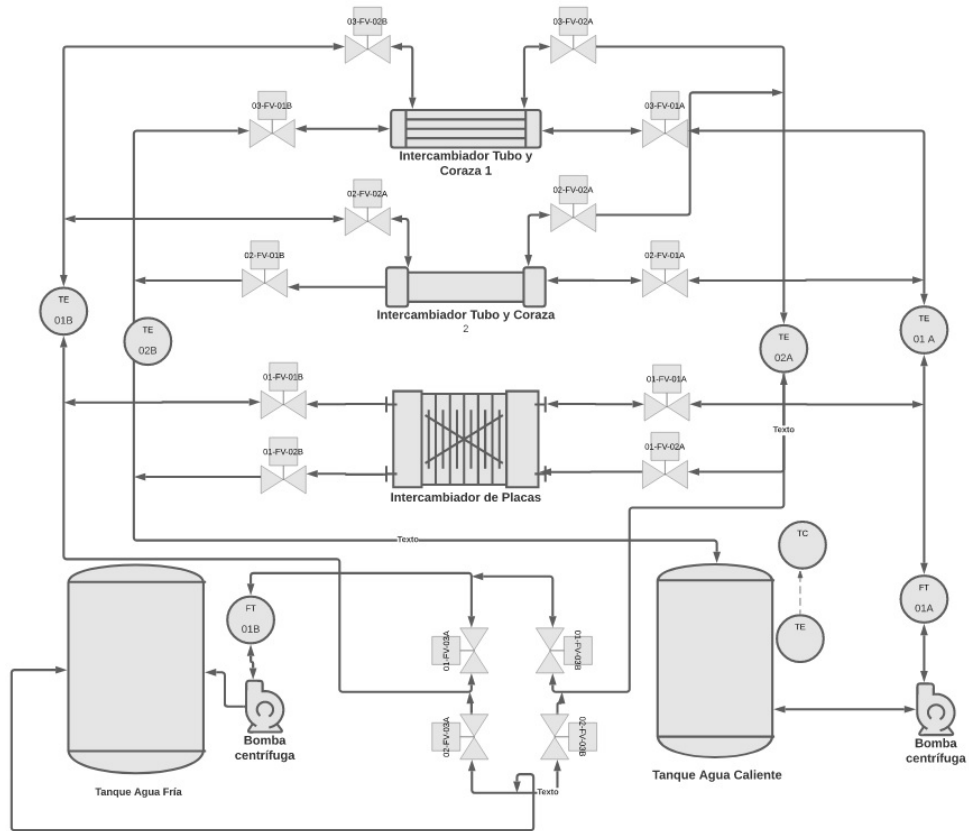


Figura 3.2: P&ID del Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.2: Requerimientos del Sistema de la Unidad de Servicio. Fuente: Elaborada por el autor.

Sistema de Almacenamiento de Agua		
Id	Nombre del Componente	Descripción
01	Tanque de Agua Fría.	Tanque de almacenamiento de agua fría.
02	Tanque de Agua Caliente.	Tanque de almacenamiento de agua caliente del proceso, dispone de un calentador eléctrico incorporado.
TE	Pt100.	Sensor de temperatura del tanque de almacenamiento.
TC	Controlador de Temperatura.	de Niquelina para el calentamiento de agua.
Intercambiadores de Calor		
03	Intercambiador de Calor de Placas.	
04	Intercambiador de Tubo y Coraza 1.	
05	Intercambiador de Tubo y Coraza 2.	
Electroválvulas		
01-FV-01A	Electroválvula del intercambiador de calor tipo placas.	Entrada de agua caliente.
01-FV-01B	Electroválvula del intercambiador de calor tipo placas.	Salida de agua caliente.
01-FV-02A	Electroválvula del intercambiador de calor tipo placas.	Entrada de agua fría.
01-FV-02B	Electroválvula del intercambiador de calor tipo placas.	Salida de agua fría.
02-FV-01A	Electroválvula del intercambiador tubo y coraza 2.	Entrada de agua caliente.

02-FV-01B	Electroválvula del intercambiador tubo y coraza 2.	Salida de agua caliente.
02-FV-02A	Electroválvula del intercambiador tubo y coraza 2.	Entrada de agua fría.
02-FV-02B	Electroválvula del intercambiador tubo y coraza 2.	Salida de agua fría.
03-FV-01A	Electroválvula del intercambiador tubo y coraza 1.	Entrada de agua caliente.
03-FV-01B	Electroválvula del intercambiador tubo y coraza 1.	Salida de agua caliente.
03-FV-02A	Electroválvula del intercambiador tubo y coraza 1.	Entrada de agua fría.
03-FV-02B	Electroválvula del intercambiador tubo y coraza 1.	Salida de agua fría.

Bombas de Agua

06	Bomba Agua Fría.
07	Bomba Agua Caliente.

Sensores y Transductores

FT-01A	Sensor de Flujo PWM	Sensor de flujo agua caliente.
FT-01B	Sensor de Flujo PWM	Sensor de flujo agua fría.
TE-01A	PT100	Sensor de temperatura agua caliente entrada.
TE-01B	PT100	Sensor de temperatura agua caliente salida.
TE-02A	PT100	Sensor de temperatura agua fría entrada.
TE-02B	PT100	Sensor de temperatura fría salida.

3.1.3. Detalles Funcionales

A partir de la descripción funcional de las partes que constituyen el banco de pruebas, se establecieron los siguientes detalles funcionales que serán insumo para el diseño arquitectónico del sistema de control embebido, considerando que el banco de pruebas es un sistema de fluidos térmicos constituido por una unidad de control y servicio que deben ser integrados de manera adecuada y realizar las siguientes actividades:



1. Adquirir las señales de los transductores PT100, mediante la integración de los acondicionadores de señal SPI.
2. Controlar las diferentes electroválvulas mediante la integración de los módulos de relés industriales con las entradas y salidas digitales del sistema embebido.
3. Adquirir las señales de los medidores de flujo basados en PWM.
4. Integrar los drivers controladores de bombas basados en PWM.
5. Integrar el controlador de temperatura industrial con el sistema embebido.




A continuación, se especificarán los detalles funcionales de las partes del sistema basados en el proyecto Termolabo [[Vanegas Guillén et al., 2021](#)].

Detalles Funcionales de la Unidad de Control

En la Tabla [3.3](#), se presentan las especificaciones más importantes de los dispositivos que conforman la UC.

Tabla 3.3: Especificaciones funcionales de los dispositivos de la Unidad de Control. Fuente: Elaborada por el autor.



Id	Nombre	Especificaciones	Ilustración
UC-01	NI-MyRIO.	4 entradas analógicas referenciadas de 12 bits 0 a 5V. 2 entras analógicas diferenciales +/- 10V. 4 salidas analógicas de 12bits referenciadas de 0 a 5V. 2 salidas analógicas de 12bits diferenciales +/-10V. 2 puertos de 16 salidas y entradas digitales a 3.3V LVTTTL. 8 salidas y entradas digitales de 5V LVTTTL. 2 UART.TX y UART.RX. 2 Interfaces SPI	
UC-02	CN-730	Controlador Temperatura con entradas para RTD. Salidas Relé Relay: SPDT, 5 A @ 250 Vac resistivo. Comunicación: RS-485 protocolo MODBUS R A-5-11/RTU.	
UC-03	Bloque de Relés de Automatización Electroválvulas.	Bloques de Relés de 250AVC 10A.	





UC-04	Drivers Bombas.	Controlador para bombas DC 10-50 V 60 A de alta potencia basado en PWM. Salidas de 12 V 24 V 48 V 3000W. Entrada de control de 0 a 10V.	
UC-05	Acondicionadores de Señal para PT100.	Convertidor de señal de RTD a Digital basado en MAX31865, maneja PT100 con interfaz SPI.	
PS-01	Fuentes de Alimentación CC.	Fuente de Alimentación 12V y 24V industriales.	

Detalles Funcionales de la Unidad de Servicio

En la Tabla 3.4, se presentan las especificaciones más importantes de los dispositivos que conforman la US.

Tabla 3.4: Especificaciones funcionales de los dispositivos de la Unidad de Servicio. Fuente: Elaborada por el autor.

Id	Nombre	Especificaciones	Ilustración
01	Tanque de Agua Fría.	Tanque de Almacenamiento de 75 litros.	
02	Tanque de Agua Caliente.	Tanque de Agua caliente de 60 litros, con sistema de calentamiento basado en resistencia térmica de temperatura máxima de 70°C.	

TE	Pt100	<p>Platino 100 a 0°C Coeficiente Alpha: 0.00385//°C Tolerancias: Clase A, AA y B. Rango de temperatura típica de operación: -200 a 850°C. Curva de respuesta: PTC, Coeficiente de temperatura positiva. Estándar: DIN y JIS. Construcción con cuerpo de Acero Inoxidable.</p>	
03	Intercambiador de Calor de Placas.	Intercambiador de 20 placas de acero inoxidable soldado intercambiador de calor de placa de rosca NPT 1/2 (7.5"x 1.97").	
04	Intercambiador de Tubo y Coraza 1.	Intercambiador de calor de brazo lateral tiene un tubo exterior de (1-1/2") y es de 13" de largo.	
05	Intercambiador de Tubo y Coraza 2.	Intercambiador de calor didáctico de 9.65"x 3.54".	

Electroválvulas

01-FV-01A Electroválvula del intercambiador de calor tipo placas. Electroválvula 12V NC.



01-FV-01B Electroválvula del intercambiador de calor tipo placas. Electroválvula 24V NC.



01-FV-02A Electroválvula del intercambiador de calor tipo placas. Electroválvula tipo Bola 24V NC.



Bombas de Agua

06 Bomba Agua fría. Bomba de diafragma Seaflor serie 55 – 12 V CC, 5,5 GPM, 60 PSI con interruptor de presión resistente.



07	Bomba Agua Caliente.	Bomba de diafragma Seaflo de presión de agua serie 42 con flujo variable para ciclismo reducido, 12 V, 3 GPM, 55 PSI.	
Sensores y Transductores			
FT-01A FT-01B	Sensor de Flujo PWM.	Sensor de flujo de agua con efecto Hall. Interruptor medidor de flujo de agua. 1-21/100 galón/min.	
TE-01A TE-01B TE-02A TE-02B	PT100	Sonda de sensor de temperatura, de acero inoxidable, impermeable, Pt100 ohmios, rosca de 1/2 pulgada con cable de aislamiento (-58.0-482.0 °F).	

3.1.4. Arquitectura del Sistema

A partir de la información de las especificaciones de requisitos funcionales del banco de pruebas y planos de la instalación en la Fig.3.3 se observa la arquitectura del sistema, en el cual se detalla las señales.

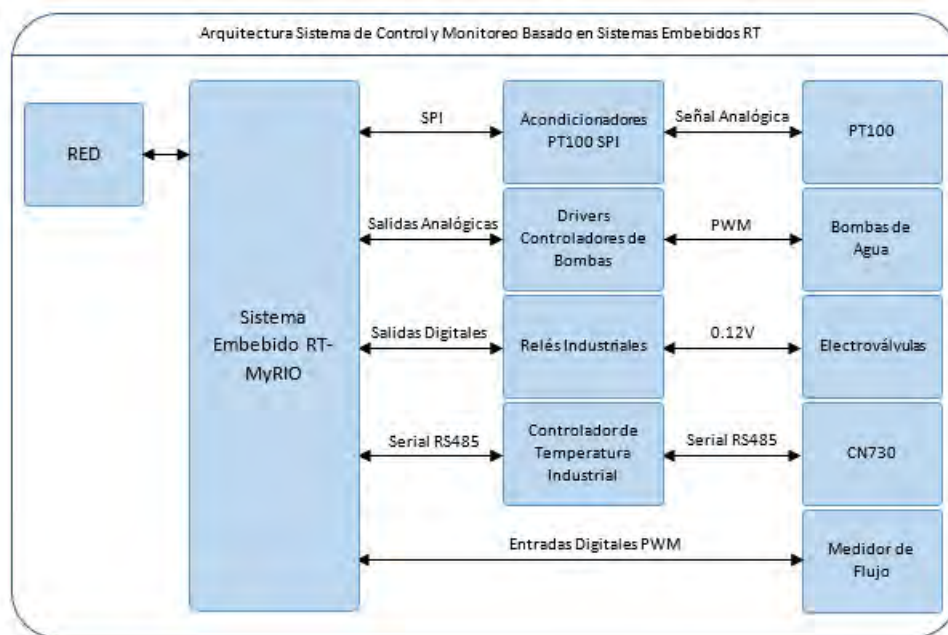


Figura 3.3: Arquitectura del Sistema de Control y Monitoreo basado en Sistemas Embebidos RT. Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Proceso de Ingeniería de Software

3.2.1. Especificaciones de los Requerimientos de Software

Tomando en cuenta los objetivos del presente proyecto se establecerán los detalles funcionales del sistema de monitoreo y control del banco de pruebas basado en un sistema embebido de tiempo real. Los requerimientos del software son los siguientes:

1. Implementar una arquitectura en tiempo real en el dispositivo NI-MyRio, para el monitoreo y control para las siguientes variables:
 - a) Temperatura.
 - b) Medición del Flujo de Líquido.
 - c) Control de Bombas.
 - d) Control de Electroválvulas.
 - e) Monitoreo y Control Calentador Industrial.

2. Integrar la Plataforma Open Source Things Board para el monitoreo mediante la tecnología de Internet Industrial de las Cosas.
3. Implementar en el sistema los cálculos de rendimiento de intercambiadores de calor basado en la Norma UNE-EN 306.

3.2.2. Diseño de la Arquitectura del Software

A partir de los requerimientos de hardware establecidos en secciones anteriores y los requerimientos funcionales del software y basados en la guía desarrollo de aplicaciones de la tecnología RIO de la compañía NI, [National Instruments, b], se propone la arquitectura de la Fig.3.4 la cual está compuesta de las siguientes partes que se detallan a continuación.

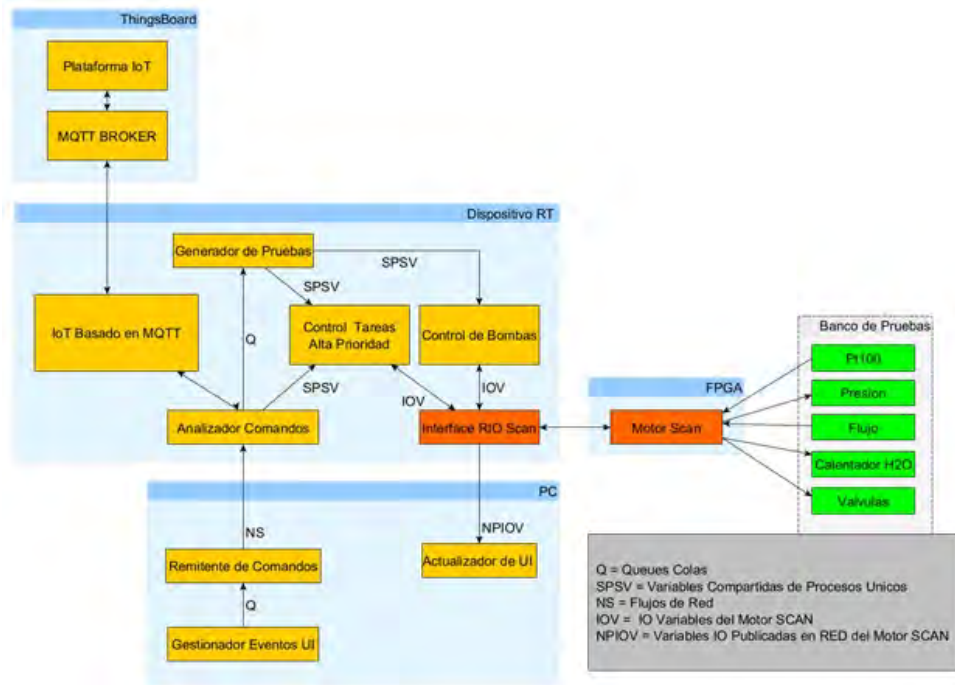


Figura 3.4: Arquitectura de Control y Monitoreo basado en IIoT para un Banco de Pruebas de Intercambiadores de calor.

Fuente: Elaboración Propia.

MQTT

Es un protocolo de mensajería IoT de publicación/suscripción con flujo de datos optimizado para reducir el tráfico en la red. Está diseñado para redes de comunicación poco fiables y tiene un bajo consumo de energía. Este protocolo funciona sobre TCP/IP.

El protocolo MQTT también tiene alguna facilidad para verificar que el mensaje llegue su objetivo y nos brinda seguridad a través de certificados electrónicos. Este protocolo es el enlace entre IIoT y LabVIEW.

Cliente PC

Cliente PC es un instrumento virtual encargado de los siguientes procesos:

1. Gestión de la conexión con el sistema embebido.
2. Monitoreo de las Variables del Sistema:
 - a) Flujo.
 - b) Temperatura.
 - c) Estado de las electroválvulas.
3. Almacenamiento de información de las variables del sistema.
4. Generación de pruebas automáticas según las características de tiempo e intercambiador de calor seleccionado para el propósito.

Basado en los requerimientos establecidos, se plantea el siguiente diagrama de estados en la Fig.3.5, el cual será utilizado como diseño del software basado en NI-LabVIEW para el software cliente que permitirá el monitoreo del sistema de control en tiempo real de la instalación en prueba.

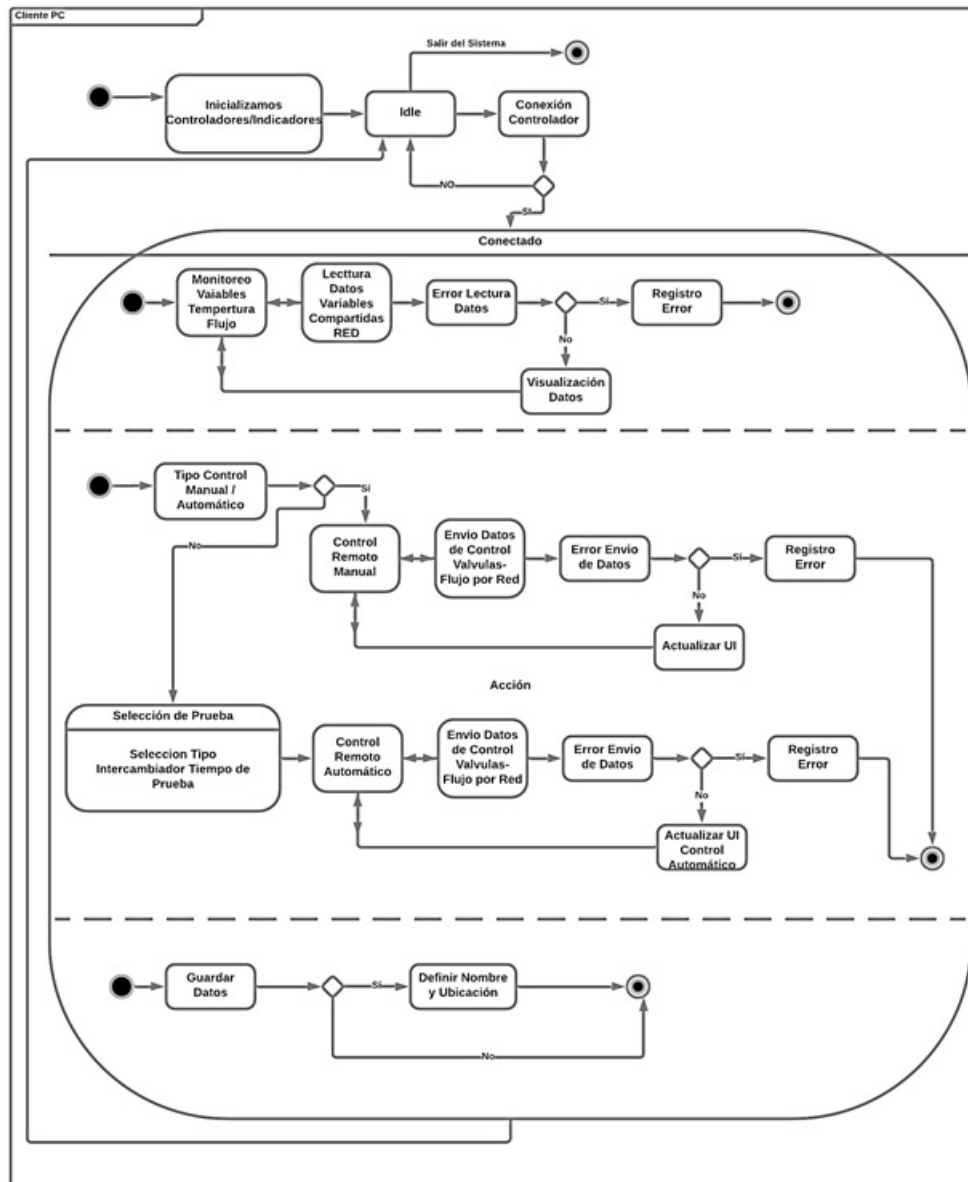


Figura 3.5: Diagrama de Estados del Cliente PC.

Fuente: Elaboración Propia.

Dispositivo en Tiempo Real

El controlador embebido es el encargado de la gestión de control de todos los dispositivos del banco de prueba, su característica de arquitectura permite desarrollar aplicaciones en tiempo real, el controlador en RT, tiene como responsabilidad las siguientes tareas:

1. Conexión del Dispositivo con el Cliente y la Aplicación WEB.
2. Adquisición de datos de las siguientes variables:
 - a) Temperatura de los PT100 que constituyen el sistema.
 - b) Caudal de los medidores de flujo.
3. Control de las siguientes variables del sistema:
 - a) Control de las bombas de agua mediante una señal analógica de voltaje.
 - b) Control de encendido de las diferentes electroválvulas que constituyen el sistema.
4. Control PID de las bombas de agua basadas en motores de corriente continua, la variable a controlar será el flujo.
5. Envío de los datos mediante el protocolo MQTT a la aplicación ThingsBoard.

Basados en los requerimientos establecidos se propone el siguiente diagrama de estado, ver Fig.3.6, que se utilizará para la implementación del software en el dispositivo RT, basado en NI-LabVIEW.

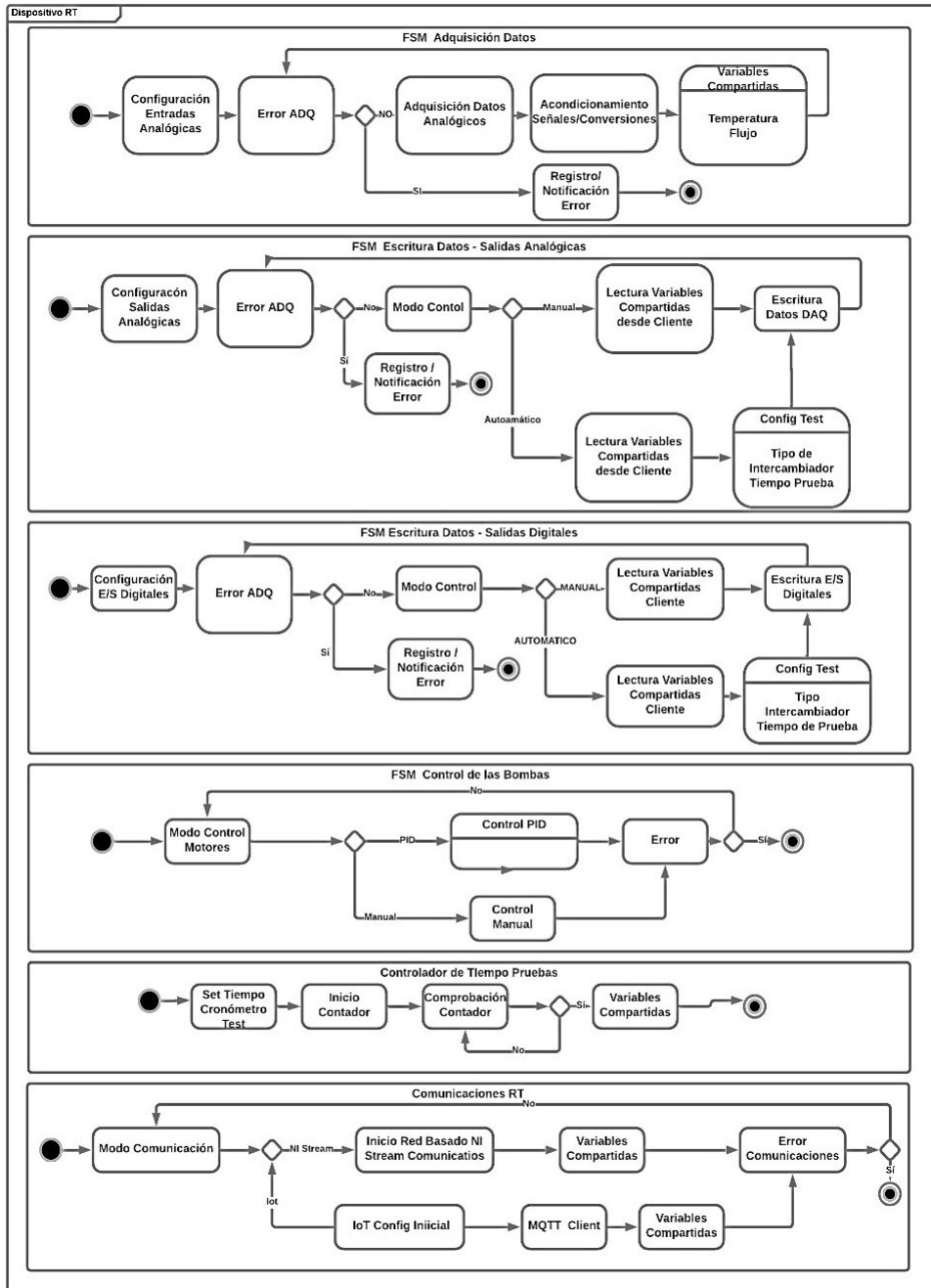


Figura 3.6: Diagrama de Estados del Dispositivo en Tiempo Real.
Fuente: Elaboración Propia.

Cliente ThingsBoard

Para el monitoreo del sistema mediante internet se utilizará la aplicación ThingsBoard, una plataforma de IoT de código abierto que permite un rápido desarrollo y gestión de proyectos de IoT.

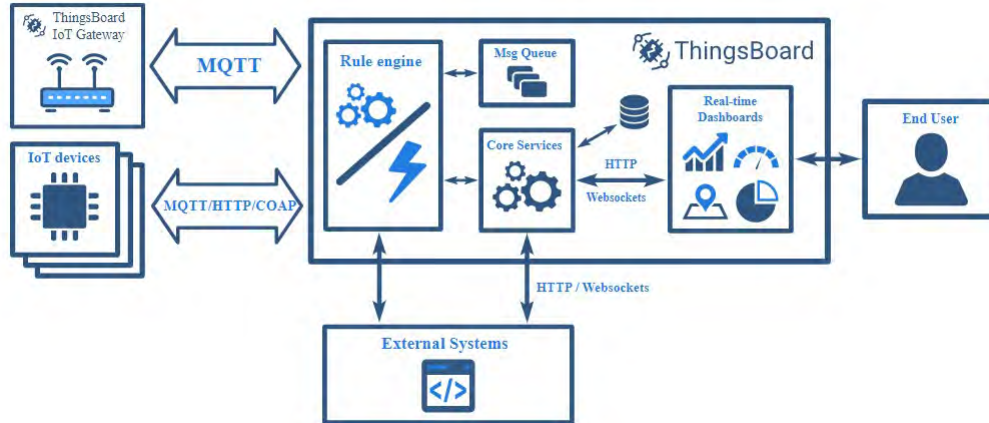


Figura 3.7: Arquitectura ThingdBoard.

Fuente: [ThingsBoard]

La aplicación que se desarrolla se basará en la arquitectura de referencia de la Fig.3.7, la misma tiene las siguientes características:

1. Escalable, plataforma escalable.
2. Tolerante a fallas, ThingsBoard puede manejar millones de dispositivos.
3. Duradero, nunca pierda sus datos.
4. Personalizable.

3.3. Implementación del Sistema

3.3.1. Implementación Cliente – Usuario Local

La implementación del Cliente se desarrolló en el software NI-LabVIEW, basados en los diseños de la sección anterior y utilizando la arquitectura

de máquinas de estado que permite que la aplicación sea eficiente y robusta usando pocos recursos. A continuación, se explicarán y desplegarán las partes mas importantes de la aplicación.



Figura 3.8: Interfaz de Usuario - LabVIEW.

En la Fig.3.8, se observa la interfaz de usuario de la aplicación desarrollada, entre las características importantes son las siguientes:

1. Menú del sistema, en el cual permite trasladarse a tres diferentes ventanas que se detallan brevemente a continuación:
 - a) HMI. Interfaz Hombre Maquina, permite observar y controlar en tiempo real las diferentes partes del banco de prueba si la aplicación está conectada previamente Fig.3.8, además de generar pruebas automatizadas y ver gráficos de la evolución de las variables del sistema y configurar el almacenamiento de la información.
 - b) Gráficos, permite observar la evolución de las temperaturas del sistema para la toma decisiones Fig.3.9.



Figura 3.9: Interfaz - Monitoreo de Gráficas de temperatura.

- c) Control, permite controlar manualmente las diferentes electroválvulas del banco de prueba Fig.3.10.



Figura 3.10: Interfaz - Control de Electroválvulas.

- d) Control de Bombas, en esta parte del software se permite el control y monitoreo del estado del flujo y las bombas de agua. Fig.3.11.



Figura 3.11: Interfaz - Control de Bombas.

El código fuente del sistema fue desarrollado mediante el patrón de máquina de estado (FSM) que es una arquitectura de programación que permite el flujo dinámico a los estados según los valores de los estados anteriores y la información proporcionada por el usuario. [National Instruments, a].

FSM es ideal para la aplicación debido que la misma se describe en el diseño y tiene las siguientes partes:

1. Estados, es un estado dentro del programa mientras se realiza la tarea general del programa.
2. Ciclo While, ejecuta continuamente los distintos estados.
3. Estructura de caso, cada caso contiene un código que se ejecutará para cada estado.
4. Registro de desplazamiento, contiene información de transición de estado.
5. Código de transición, determina el siguiente estado en la secuencia.

3.3.2. Dispositivo en Tiempo Real

La aplicación desarrollada, se ejecuta en un controlador MyRIO, el software está basado en varios ciclos paralelos para las diferentes funcionalidades del sistema, esto basado al diseño planteado en secciones anteriores.

En la Fig.3.12, se observa el panel frontal de la aplicación, este panel no es visible para ningún usuario debido que es una aplicación embebida, por el momento sin interfaz HMI conectada directamente al controlador localmente.

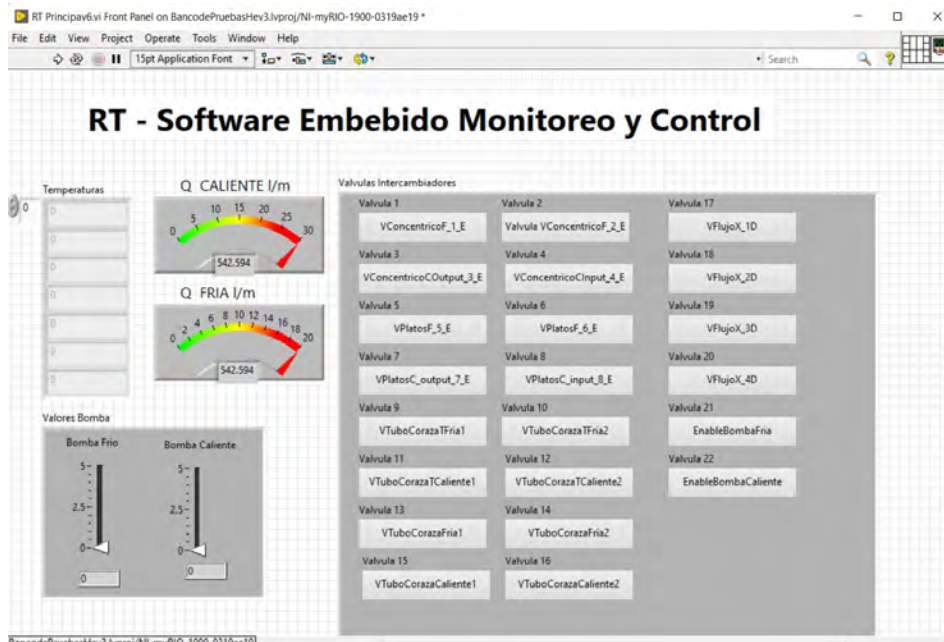


Figura 3.12: Panel Frontal - MyRIO.

El diagrama de bloques o código fuente esta basado en varias FSM, como los diseños del sistema planteados, y presenta varios ciclos en paralelo para atender todos los requerimientos de funcionalidad de la planta de pruebas. Entre los ciclos más importantes tenemos:

1. Ciclo Comunicaciones, permite la gestión de mensajes entre el cliente y la aplicación RT.

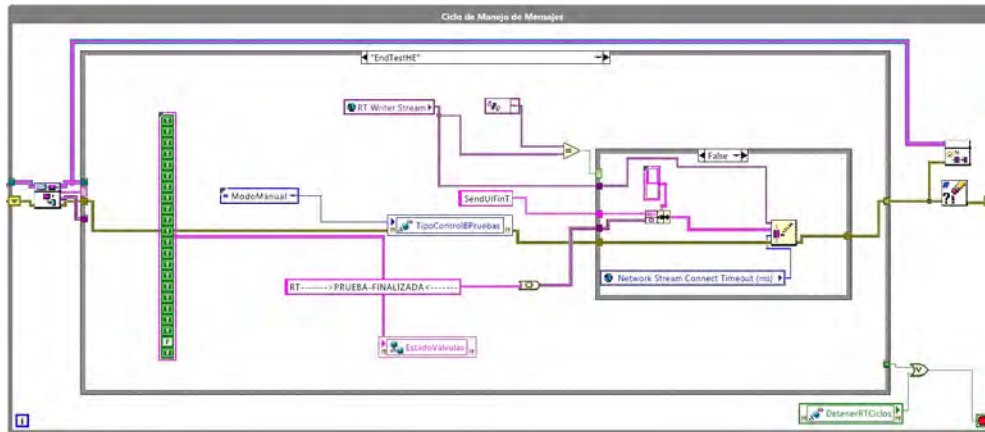


Figura 3.13: Ciclo de gestión de mensajes.

2. Ciclo de Adquisición de Datos, su función es adquirir los datos de las diferentes entradas analógicas que constituyen el sistema.

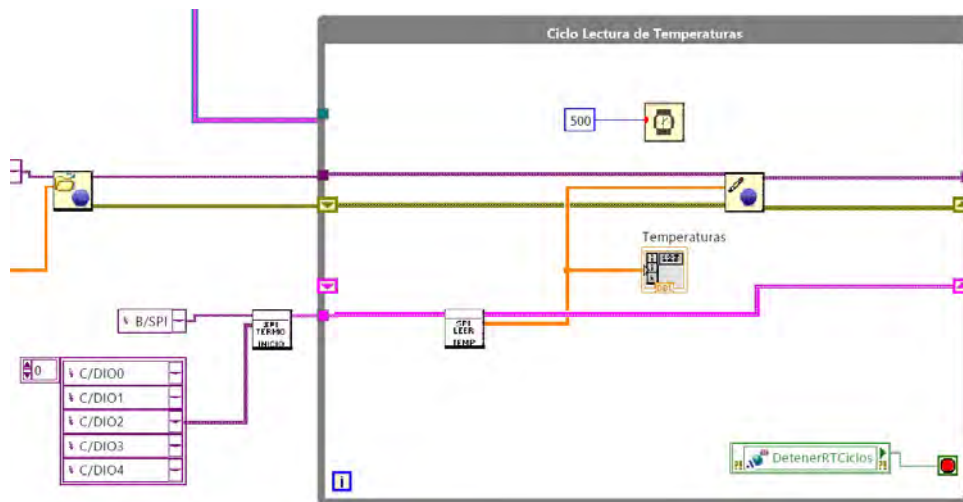


Figura 3.14: Ciclo de Adquisición de datos - Temperatura.

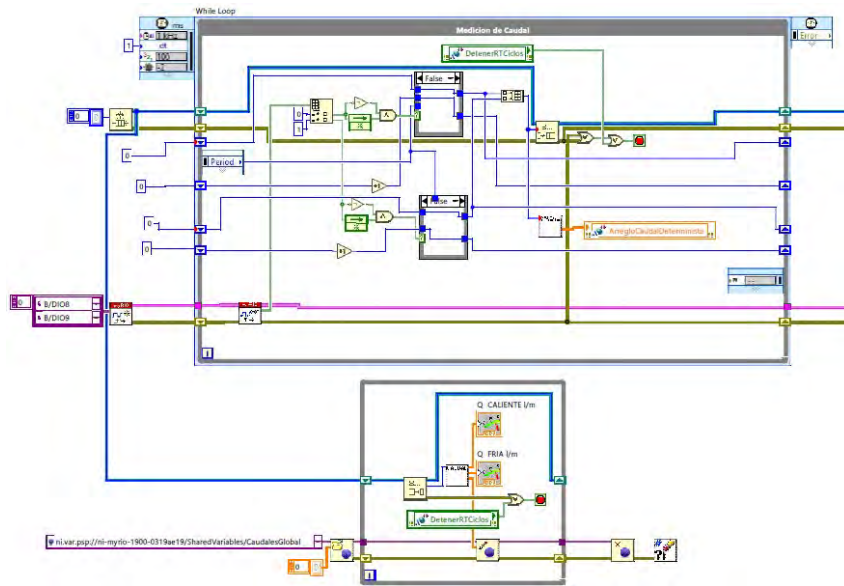


Figura 3.15: Ciclo de Adquisición de datos - Caudal.

3. Ciclo de Control E/S Digitales, permite el control de las electroválvulas.

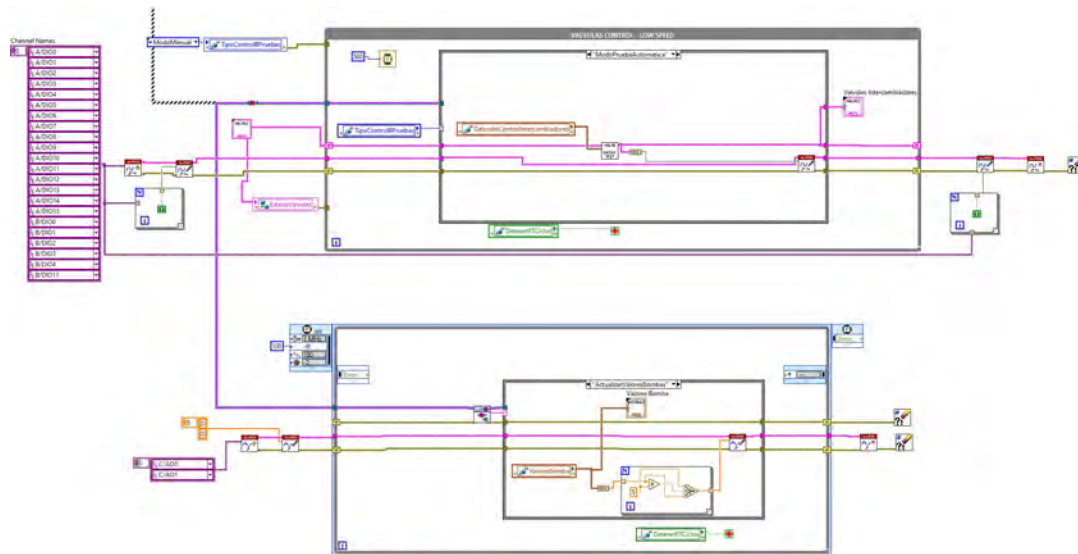


Figura 3.16: Ciclo de Control E/S Digitales.

4. Ciclo de Control de Bombas, permite el control de las bombas utilizando un algoritmo de tiempo real y control PID.

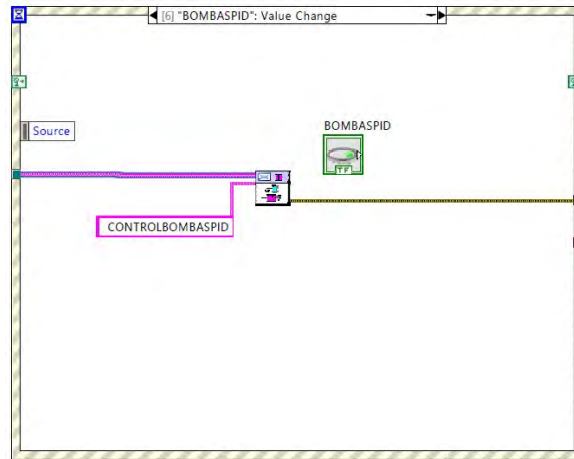


Figura 3.17: Ciclo de Control de Bombas.

5. Ciclo de comunicaciones IOT, utiliza la implementación de un cliente MQTT.

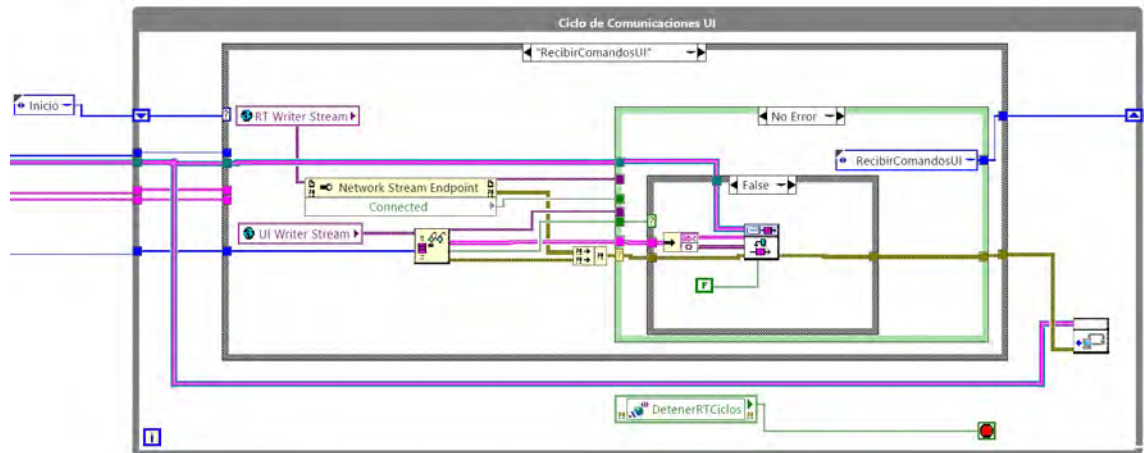


Figura 3.18: Ciclo de Comunicaciones IoT.

3.3.3. Aplicación IoT ThingsBoard

En la Fig.3.19, se observa la implementación de la interfaz de usuario de la aplicación que permitirá el monitoreo y control de la aplicación IIoT desarrollada para este proyecto.

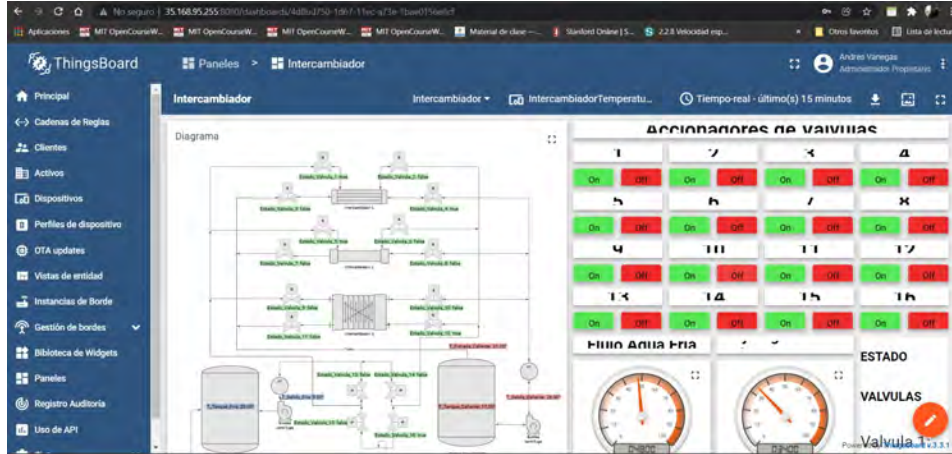


Figura 3.19: Interfaz IIoT - ThingsBoard.

Entre las características más importantes se ve que se tiene una representación de la planta en un diagrama y adicionalmente permite el control de cada electroválvula y como el monitoreo de las variables más importantes del sistema que son la temperatura y el flujo del fluido caliente como frío.

Adicionalmente se tienen indicadores de temperatura y una tabla de datos en el sistema que permita ver el comportamiento del mismo.

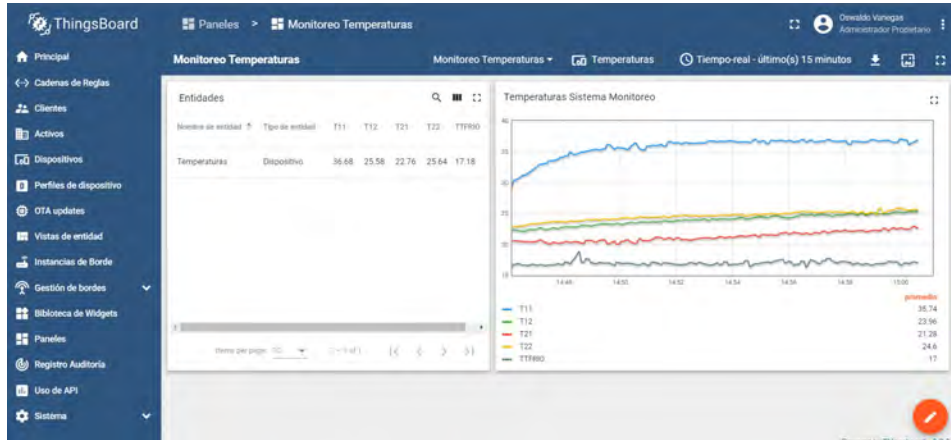


Figura 3.20: Monitoreo de la variable Temperatura - ThingsBoard.

3.4. Validación y Comprobación del Sistema

3.4.1. Validación del Software Cliente y Dispositivo RT

Para la validación del software se ejecutará en el cliente y el Dispositivo RT, los mismos que son aplicaciones que se ejecutarán en una computadora local y el equipo NI-MyRIO y que tendrán como objetivo el monitoreo y control del banco de pruebas.

Para la validación se procede a realizar la prueba de uno de los intercambiadores seleccionando el intercambiador de platos, la prueba se desarrollará durante 5 minutos a continuación se procederá a realizar paso a pasos el procedimiento de validación.

- a) Configuración de la prueba con las siguientes condiciones Tabla 3.5 y Fig.3.21.:

Tabla 3.5: Intercambiador de Platos.

Tipo de Intercambiador	Platos
Tipo de Flujo	Contra flujo
Fluido Frio Caudal o Gasto l/min	9
Fluido Caliente Caudal o Gasto l/min	3
Tiempo en segundos	300



Figura 3.21: Configuración Prueba de Intercambiador de Platos.

- b) Configuración del Flujo. En la Fig.3.22 se observa la configuración del gasto en la prueba, se puede observar que el flujo en la bomba caliente es en promedio de 3 l/min y el flujo del agua fría es de 9 l/min esto debido principalmente a la construcción de la instalación.

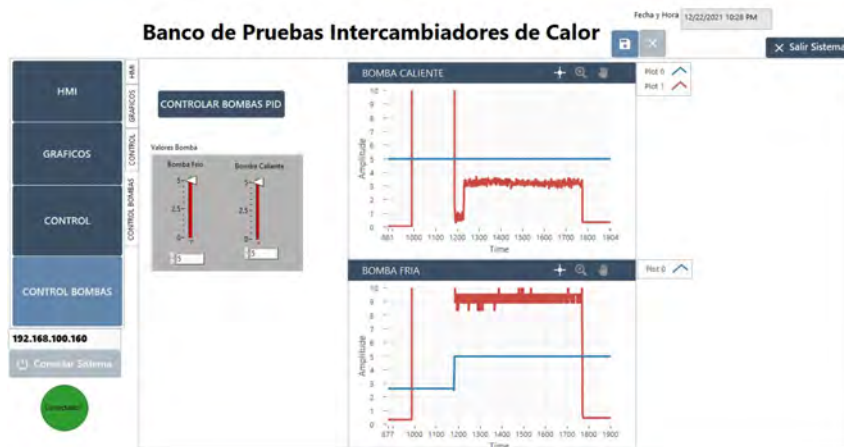


Figura 3.22: Configuración del Flujo.

c) En la Fig.3.23 se despliegan las temperaturas obtenidas durante la prueba.

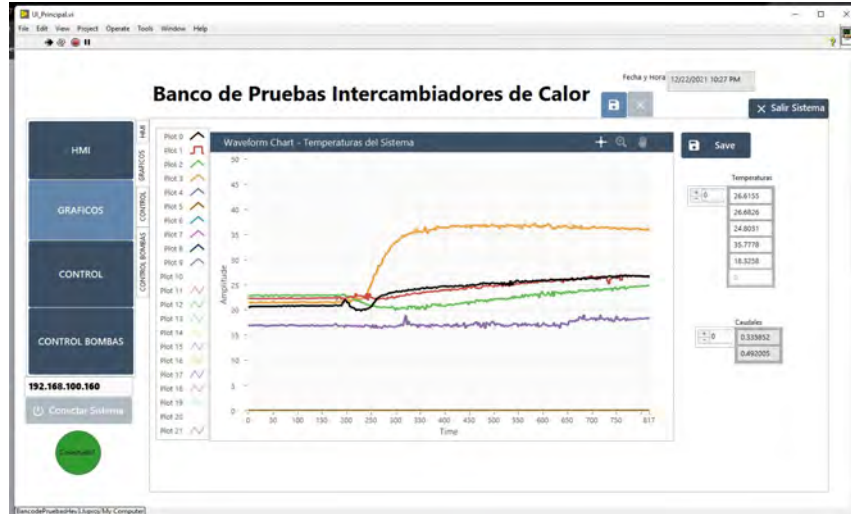


Figura 3.23: Interfaz de temperaturas.

En la Fig.3.23 se observa la evolución de los datos, como dato importante la temperatura se estabiliza en alrededor de la captura del dato 350, esto representa alrededor 2 minutos de inicializada la prueba.

d) Al finalizar la prueba se comprueba que se genera un documento TDMS es un archivo de datos guardado en el formato Technical Data Management Streaming (TDMS) de National Instruments (NI). Contiene datos de simulación o de medición registrados por el software de National Instruments, como LabVIEW [National Instruments, c]. La captura de pantalla de la Fig. 3.24 muestra el documento generado TDMS y abierto con el software NI- TDMS File Viewer una aplicación que permite abrir y ver los datos obtenidos en este tipo de formato.

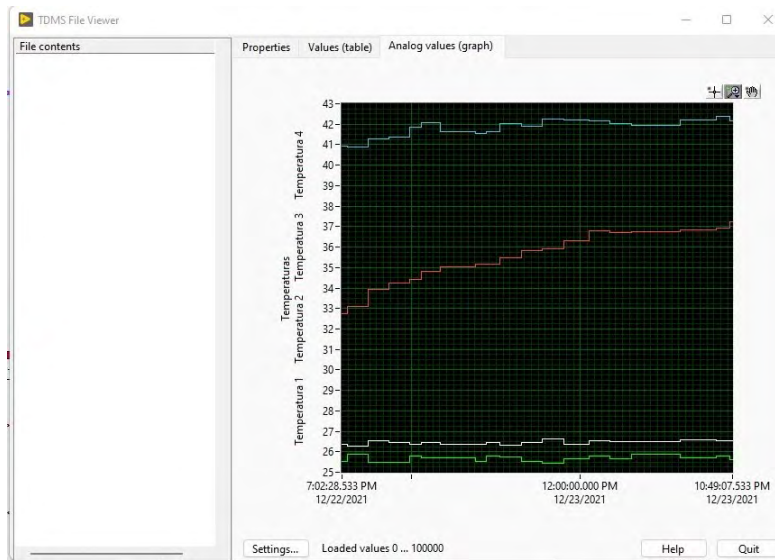


Figura 3.24: Gráfica TDMS.

Para confirmar la información obtenida se procede a comprobar los resultados abriendo la información en una hoja de cálculo y procediendo a graficar los resultados Fig.3.25.

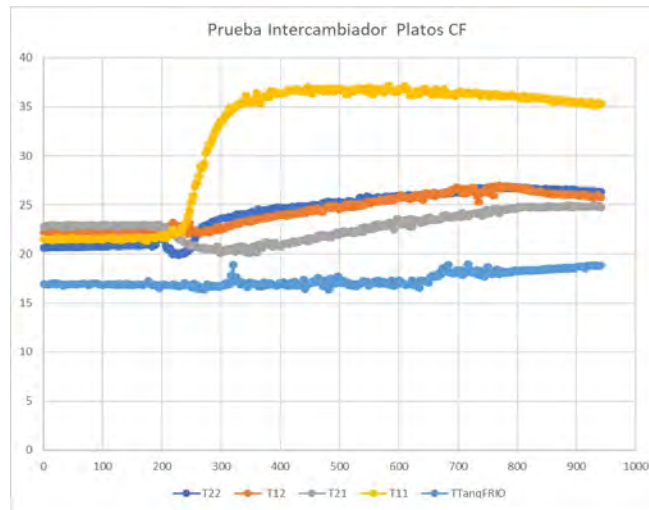


Figura 3.25: Gráfica de curvas del intercambiador de platos.

3.4.2. Validación del Sistema de Monitoreo por Internet Basado en ThingsBoard

Para la comprobación del sistema basado en ThinsBoard, se procede al monitoreo de variables de la sección 3.4.1, obteniendo los siguientes resultados que se observan en la Fig.3.26.

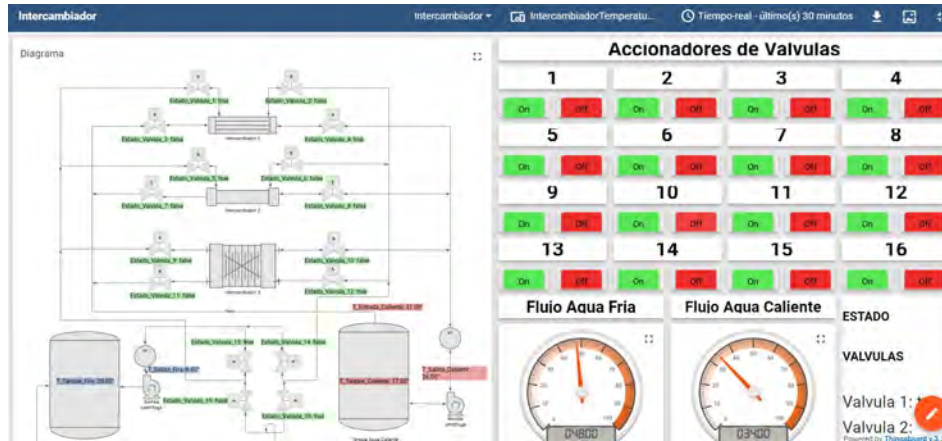


Figura 3.26: Interfaz Monitoreo y Control en ThingsBoard.

3.4.3. Validación Modelado y Control de las Bombas del Sistema

Considerando la norma [UNE-EN 306, 1997] donde se muestra el procedimiento y métodos para establecer el rendimiento en intercambiadores de calor, en el apartado seis sobre la medición del caudal (gasto), indica que el fluido debe ser continuo y libre de perturbaciones, por esta razón se procederá a integrar controladores PID en las bombas de fluidos del sistema.

Basados en el análisis de requisitos, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos importantes del sistema a controlar:

- El sistema cuenta de dos tipos de bombas una que impulsa el fluido caliente y el otro el frio, además los dos son distintos en potencia y en construcción.
- Los medidores de flujo son de tipo turbina.

- c) Dependiendo de las electroválvulas activas, el flujo del sistema cambia sus características, cambiando las condiciones de funcionamiento en el cual se analiza el sistema.

A partir de las consideraciones anteriores se procederá a realizar la siguiente metodología para la estimación del modelo del sistema partiendo de las electroválvulas activadas y motores en funcionamiento.

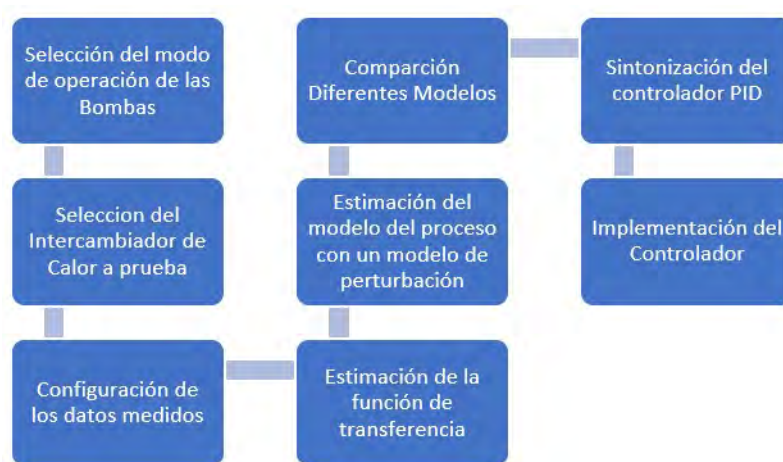


Figura 3.27: Secuencia para la obtención del modelo del sistema.

Fuente: Elaboración Propia.

Para realizar las tareas planteadas se procederá a utilizar el software Matlab con sus herramientas de Identificación de Modelos y Sintonización de Controladores y el software LabVIEW donde se implementará los resultados obtenidos. Estimación del Modelo de función de transferencia de Bombas de CC. Antes de realizar la validación se considera que existen dos bombas que pueden tener las siguientes configuraciones ver Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Configuración de bombas. Fuente: Elaborada por el autor.

Bomba Fluido Caliente	Intercambiador de Platos.		
	Intercambiador	Didáctico	
	Tubo concentricos.		
	Intercambiador	Tubo concentricos de cobre.	
Bomba Fluido Frío	Contra Fluido	Intercambiador de Platos.	
		Intercambiador Didáctico	
		Tubo concentricos.	
		Intercambiador	Tubo concentricos de cobre.
	Flujo Paralelo	Intercambiador de Platos.	
		Intercambiador	Didáctico
Tubo concentricos.			
	Intercambiador	Tubo concentricos de cobre.	

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada bomba en su respectiva configuración.

Bomba del Fluido Caliente

Se muestra la comparación de los modelos obtenidos con los modelos para cada configuración con sus respectivas funciones de transferencia.

a) Intercambiador de Platos

El primer paso es la selección de los datos obtenidos de parte del sistema embebido, En la Fig.3.28 se observa el gasto o caudal del intercambiador por la entrada primaria versus la señal de control que puede ir de 0V a 5V.



Figura 3.28: Configuración de los Datos Medidos Intercambiador Platos.

Posteriormente se obtiene los modelos del sistema el primero con retardo y el segundo agregando ruido aditivo de primer orden.

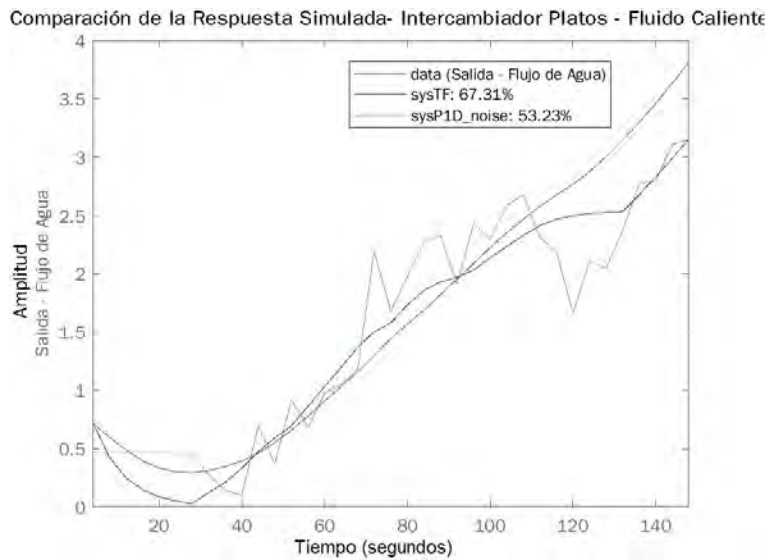


Figura 3.29: Comparación de los Diferentes modelos planteados.

La comparación muestra que se ha definido un modelo que explica los datos medidos, se puede observar que el ajuste del sistema a los datos es alrededor del 60 %.

Los modelos obtenidos son los siguientes:

Tabla 3.7: Modelo del sistema - Intercambiador Platos.

Modelo	Ecuación	Ajuste
1 modelo Primer Orden	$\frac{0,04285}{s + 0,05464}$	67.3 %
2 modelo con perturbación ARMA1	$G(s) = \frac{Kp}{1+Tp1*s} * exp(-Td * s)$	53.23 %
	Kp = 1.2590 Tp1 = 0.73985 Td = 0.094667	

Para el sintonizado utilizamos las funciones de Matlab que nos permitieron obtener los siguientes resultados:

Tabla 3.8: Sintonizando en Matlab - Intercambiador Platos.

PI Rápido	$Kp + Ki * \frac{1}{s}$	
	Kp=19.6, Ki=12.8	
PID Rapido	$Kp + Ki * \frac{1}{s} + Kd * \frac{s}{Tf * s + 1}$	
	Kp=22.5, Ki=6.18, Kd=-0.197, Tf=0.00875	

La grafica que permite ver el comportamiento del controlador es la siguiente Fig.3.30.

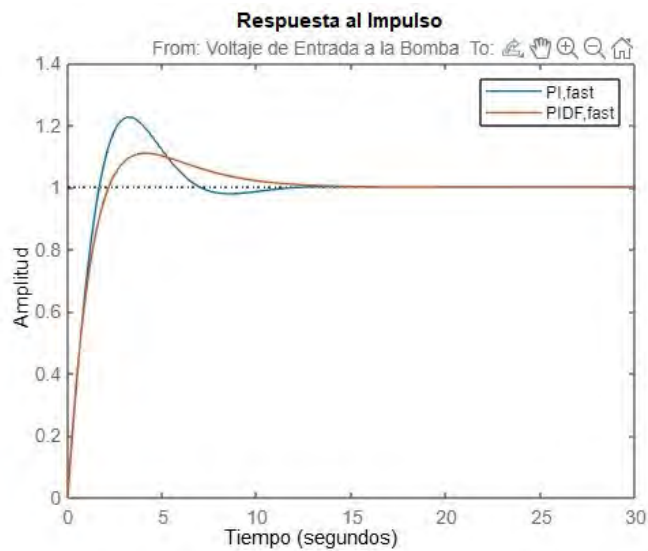


Figura 3.30: Respuesta sintonizada del sistema de control - Intercambiador Platos.

b) Intercambiador Didáctico de Tubos Concéntricos

Se procede a realizar el mismo procedimiento del punto anterior obteniendo los siguientes resultados:

- a. Datos medidos desde el controlador.

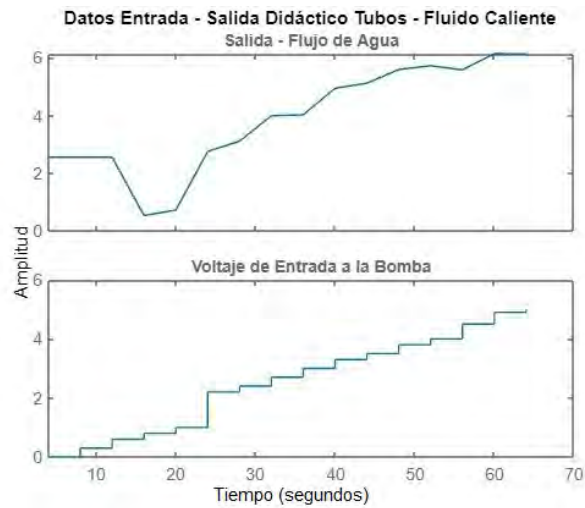


Figura 3.31: Datos Medidos Intercambiador Tubos Concéntricos.

b. Obtención del modelo del sistema a partir de los datos obtenidos.

Tabla 3.9: Modelo del sistema Intercambiador Tubos Concéntricos.

Modelo	Ecuación	Ajuste
1 modelo Primer Orden	$\frac{0,2173}{s + 0,1301}$	57 %
2 modelo con Perturbación ARMA1	$G_{(s)} = \frac{Kp}{1 + Tp1 * s} * exp(-Td*s)$	51.9 %
	Kp=16.111 Tp1=7.0535 Td=0.089	

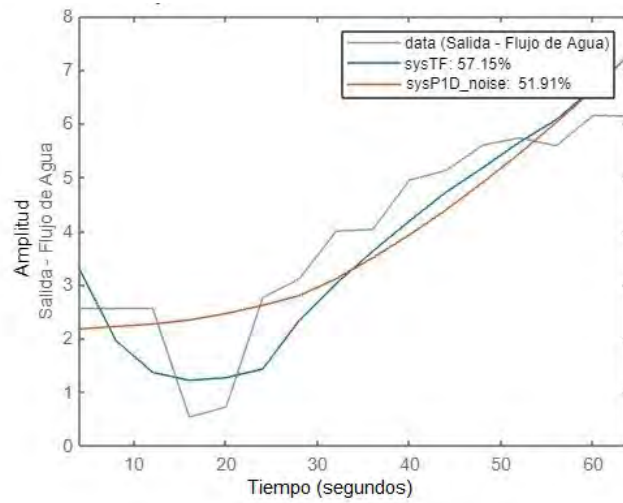


Figura 3.32: Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real.

c. Sintonización del controlador.

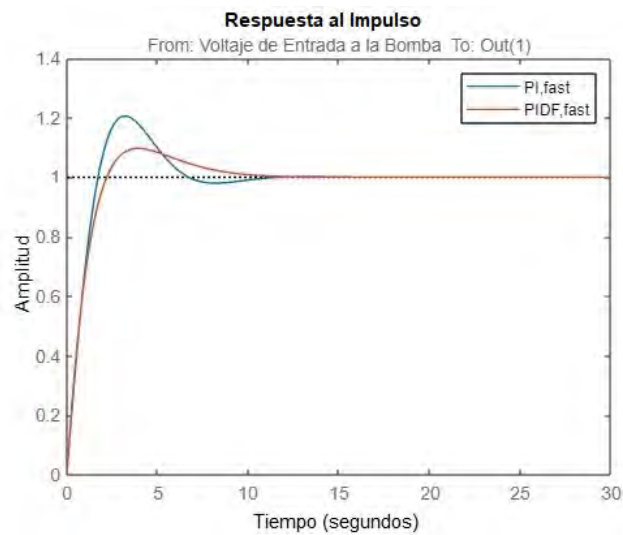


Figura 3.33: Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Tubos Concéntricos.

Tabla 3.10: Sintonizando en Matlab Intercambiador Tubos Concéntricos.

PI Rápido	$K_p + K_i * \frac{1}{s}$
	$K_p=3.69, K_i=2.82$
PID Rapido	$K_p + K_i * \frac{1}{s} + K_d * \frac{s}{T_f * s + 1}$
	$K_p=4.34, \quad K_i=1.61, \quad K_d=-0.038,$ $T_f=0.00875$

c) Tubos concéntricos cobre

a. Datos medidos desde el controlador.

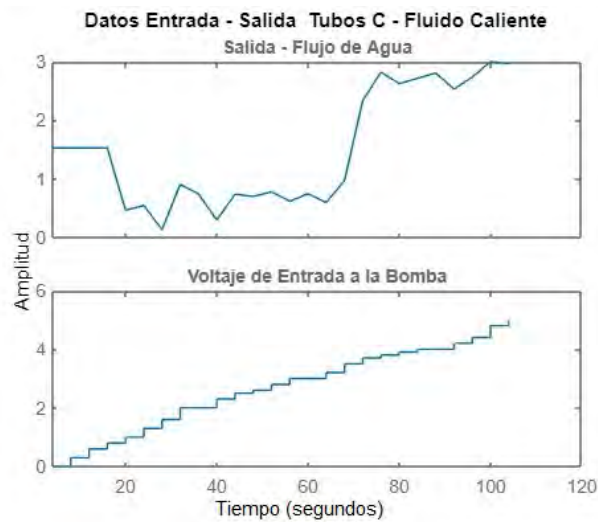


Figura 3.34: Datos Medidos Intercambiador Tubos concéntricos cobre.

b. Obtención del modelo del sistema a partir de los datos obtenidos.

Tabla 3.11: Modelo del sistema Intercambiador Tubos concéntricos cobre.

Modelo	Ecuación	Ajuste
1 modelo Primer Orden	$\frac{0,0396}{s + 0,05923}$	43 %
2 modelo con Perturbación ARMA1	$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp1 * s} * exp(-Td*s)$ <p> Kp=1.1973 Tp1=0.38394 Td=0.43227 </p>	59 %

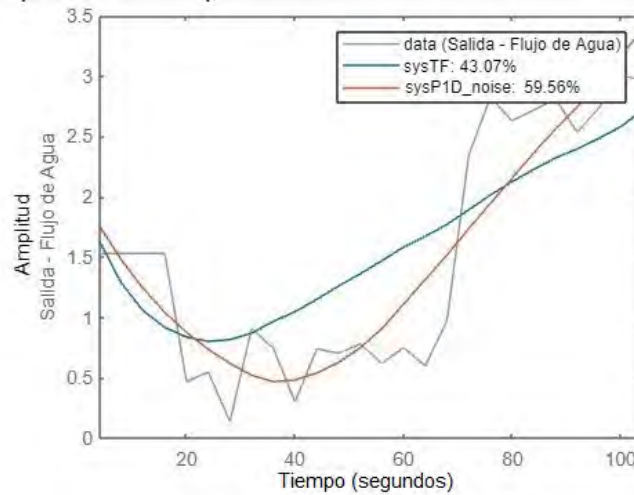


Figura 3.35: Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real.

c. Sintonización del controlador.

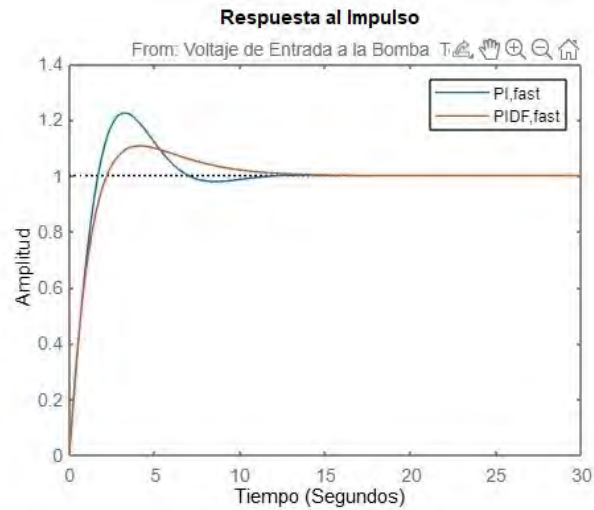


Figura 3.36: Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Tubos concéntricos cobre.

Tabla 3.12: Sintonizando en Matlab 3

PI Rápido	$Kp + Ki * \frac{1}{s}$
	$Kp=21.1, Ki=13.9$
PID Rapido	$Kp + Ki * \frac{1}{s} + Kd * \frac{s}{Tf * s + 1}$
	$Kp=24.3, \quad Ki=6.69, \quad Kd=-0.213,$ $Tf=0.00875$

Bomba del Fluido Frío**a) Intercambiador de Platos Contra Corriente**

- a. Obtención y selección de los datos a partir de los datos capturados por el sistema embebido.

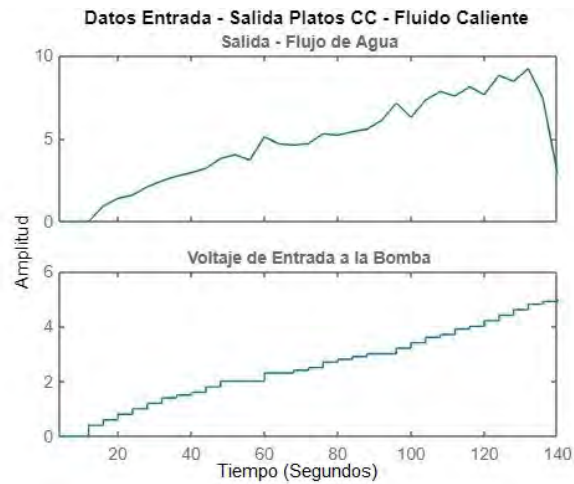


Figura 3.37: Datos Medidos Intercambiador Platos.

- b. Obtención del modelo a partir de los datos reales.

Tabla 3.13: Modelo del sistema Intercambiador Platos.

Modelo	Ecuación	Ajuste
1 modelo Primer Orden	$\frac{13,41}{s + 7,179}$	53.8 %

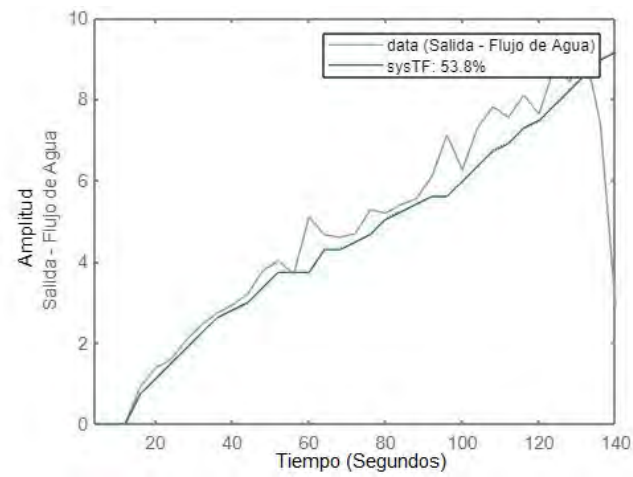


Figura 3.38: Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real Intercambiador Platos.

c. Sintonización del Controlador a partir del modelo obtenido.

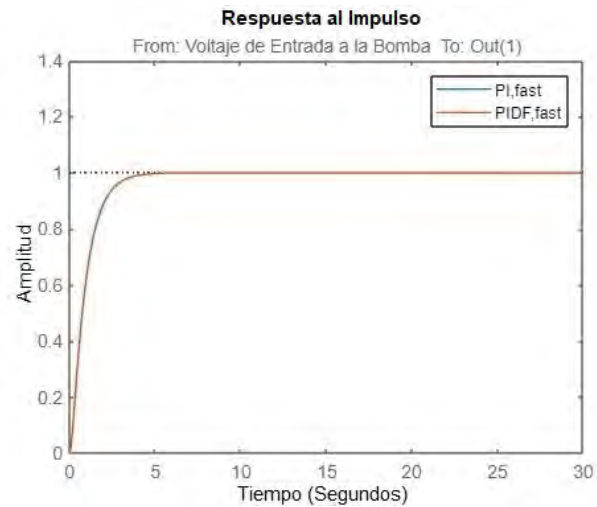


Figura 3.39: Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Platos.

Tabla 3.14: Sintonizando en Matlab Intercambiador Platos.

 PI Rápido

$$K_i * \frac{1}{s}$$

$$K_i=0.541$$

b) Intercambiador de Tubos y Coraza de Cobre en contra Corriente

1. Obtención y selección de los datos a partir de los datos capturados por el sistema embebido.

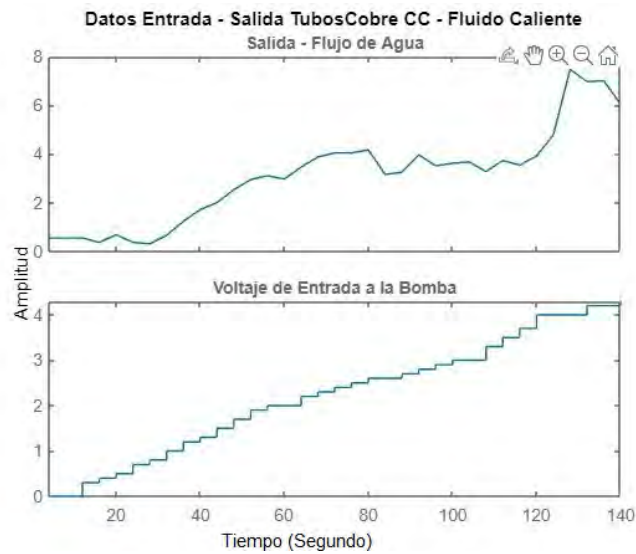


Figura 3.40: Datos Medidos Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.

2. Obtención del modelo a partir de los datos reales.

Tabla 3.15: Modelo del sistema Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.

Modelo	Ecuación	Ajuste
1 modelo Primer Orden	$\frac{16,36}{s + 11,52}$	62 %
2 modelo con Perturbación ARMA1	$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp1 * s} * exp(-Td*s)$	57 %
	Kp=6.6866 Tp1=10 Td=0.0162	

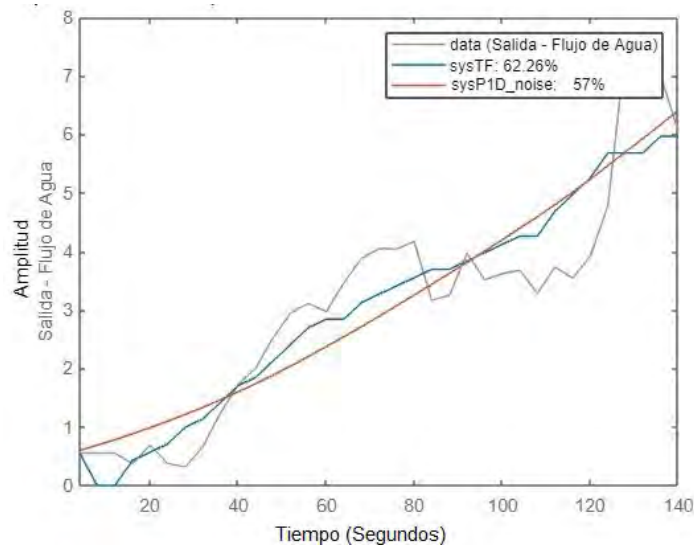


Figura 3.41: Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.

3. Sintonización del Controlador a partir del modelo obtenido.

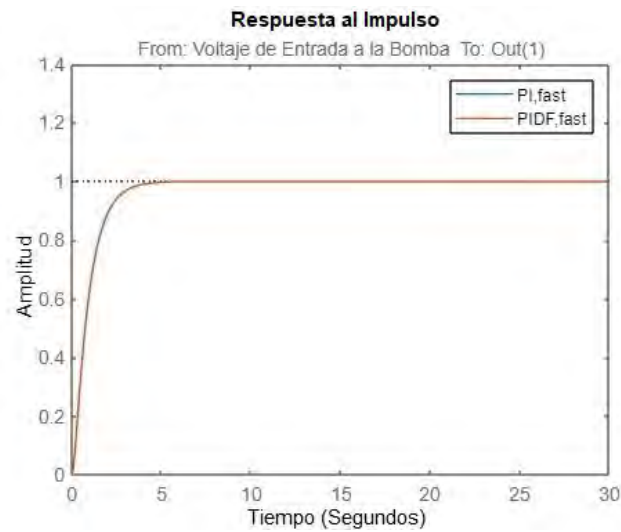


Figura 3.42: Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.

Tabla 3.16: Sintonizando en Matlab Intercambiador Tubos y Coraza de Cobre.

PI Rápido

$$K_i * \frac{1}{s}$$

$$K_i=0.707$$

c) Intercambiador de Tubos Concentrico Didáctico en Contra Corriente

- a. Obtención y selección de los datos a partir de los datos capturados por el sistema embebido.

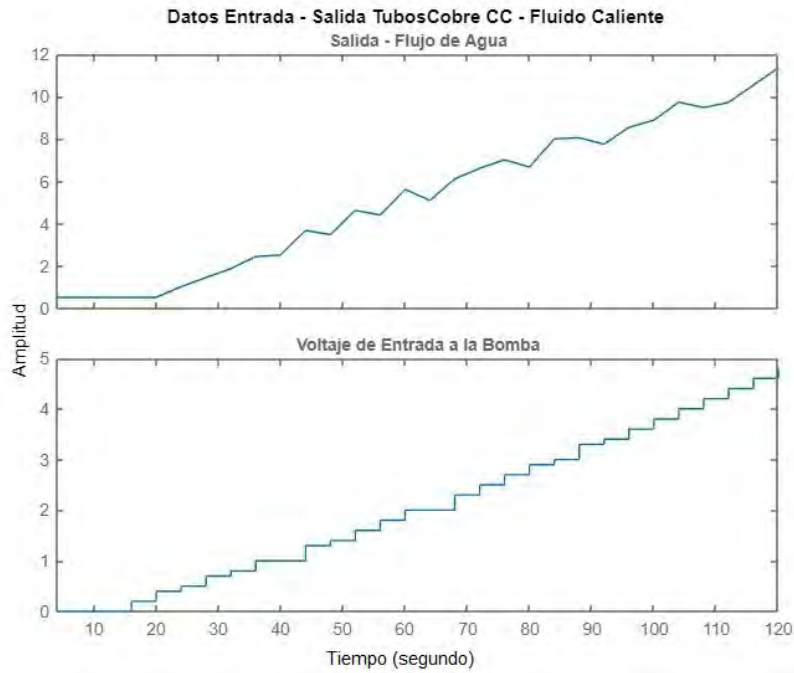


Figura 3.43: Datos Medidos Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.

b. Obtención del modelo a partir de los datos reales.

Tabla 3.17: Modelo del sistema Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.

Modelo	Ecuación	Ajuste
1 modelo Primer Orden	$\frac{6,573}{s + 2,556}$	83 %

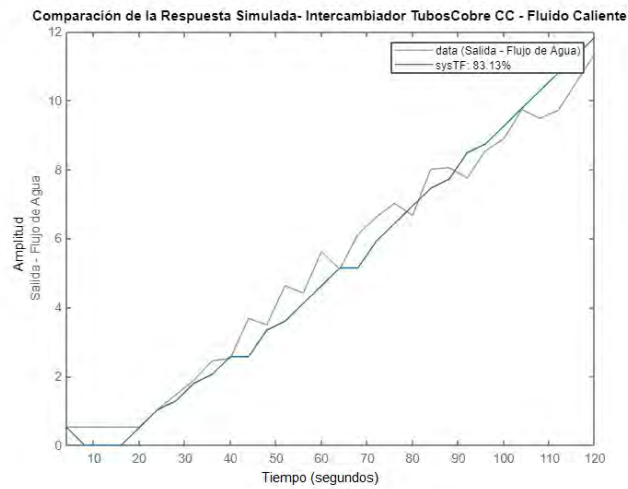


Figura 3.44: Comparación de los modelos obtenidos versus el modelo real Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.

c. Sintonización del Controlador a partir del modelo obtenido.

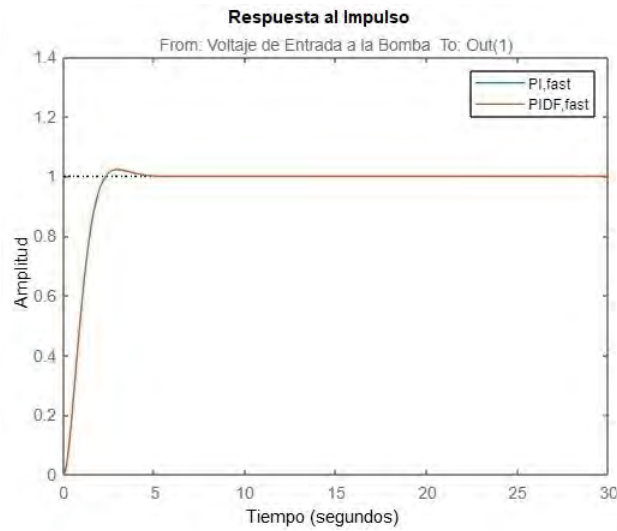


Figura 3.45: Respuesta sintonizada del sistema de control Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.

Tabla 3.18: Sintonizando en Matlab Intercambiador Tubos Concentrico Didáctico.

PI Rápido

$$Kp + Ki * \frac{1}{s}$$

Kp=0.405, Ki=3.11

Las pruebas realizadas en flujo paralelo no han sido posible debido a que los intercambiadores y electroválvulas del sistema no permiten el flujo en esa dirección por su configuración.

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se establecen los resultados obtenidos de las diferentes pruebas del sistema, además, evalúa la eficiencia y confiabilidad del proceso de intercambio de calor dentro de un intercambiador de calor con implementación de conceptos de IoT.

4.1. Resultados para determinar el Rendimiento de los Intercambiadores de Calor del Banco de Pruebas

Para la obtención de los resultados para determinar el rendimiento de los intercambiadores, se realiza el siguiente procedimiento:

- Después de alcanzar las condiciones de estado estacionario, se tomarán datos del ensayo durante un tiempo mínimo de 300 segundos. Los datos de medición, particularmente las temperaturas, se registrarán simultáneamente con el software LabVIEW.
- La frecuencia de muestro será lo suficientemente amplio como para registrar los cambios en los transductores.
- Los flujos y las temperaturas deben permanecer constantes al largo de la duración del ensayo.

4.1.1. Intercambiador Tipo Platos en configuración Contra Flujo

Para el calculo de rendimiento se utiliza los datos obtenidos en la prueba de la Fig.4.1.

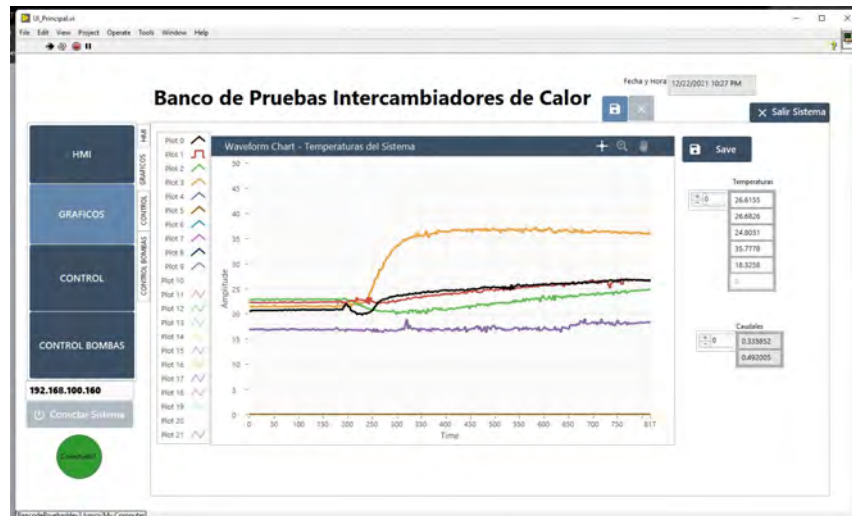


Figura 4.1: Interfaz de temperaturas.

Los datos de la Fig. 4.2 son los datos de estado estacionario extraídos del registro del archivo TDMS de la prueba.

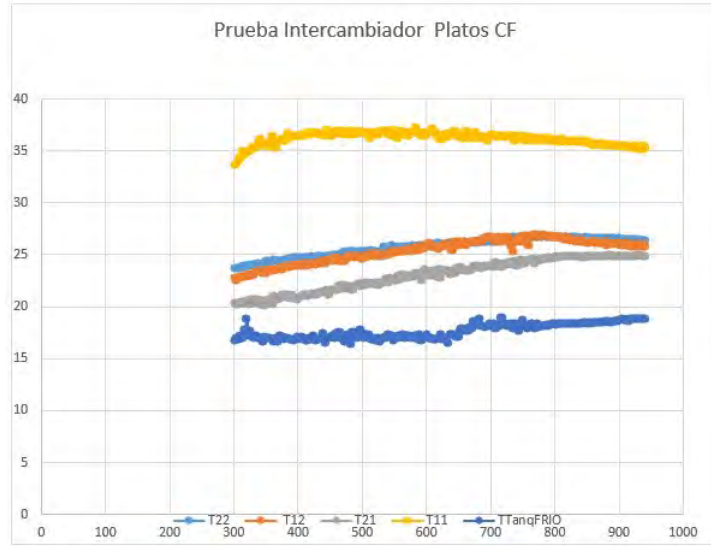


Figura 4.2: Curvas de temperatura - Platos.

En la Fig. 4.3 se puede observar el grafico del comportamiento de la temperatura a lo largo del intercambiador.



Figura 4.3: Gráfica de comportamiento de las temperaturas - Platos.

En la Tabla 4.1 se despliegan los resultados obtenidos de la prueba del intercambiador.

Tabla 4.1: Resultados de la prueba del Intercambiador de Platos. Fuente: Elaborada por el autor.

Nombre de la variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Temperatura entrada primario.	t11	°C	36.15597944
Temperatura salida primario.	t12	°C	25.34289268
Temperatura entrada secundario.	t21	°C	23.02014735
Temperatura salida secundario.	t22	°C	25.70679081
Gasto primario.	q1	Kg/s	0.05
Gasto secundario.	q2	Kg/s	0.15
Calor específico fluido primario.	Cp1	J/Kg°K	4182
Calor específico fluido secundario.	Cp2	J/Kg°K	3297
Potencia térmica primario.	P1	W	2261.01
Potencia térmica secundario.	P2	W	1685.33
Eficiencia.	$P2/P1*100$	%%	74.5 %
Diferencia de Temperaturas media logarítmica.	DLTM	°C	5.404

4.1.2. Intercambiador Tipo Tubo y Coraza en Contra Flujo

A partir de los datos obtenidos en la prueba de la Fig.4.4 se obtendrán los resultados de rendimiento del intercambiador en prueba.

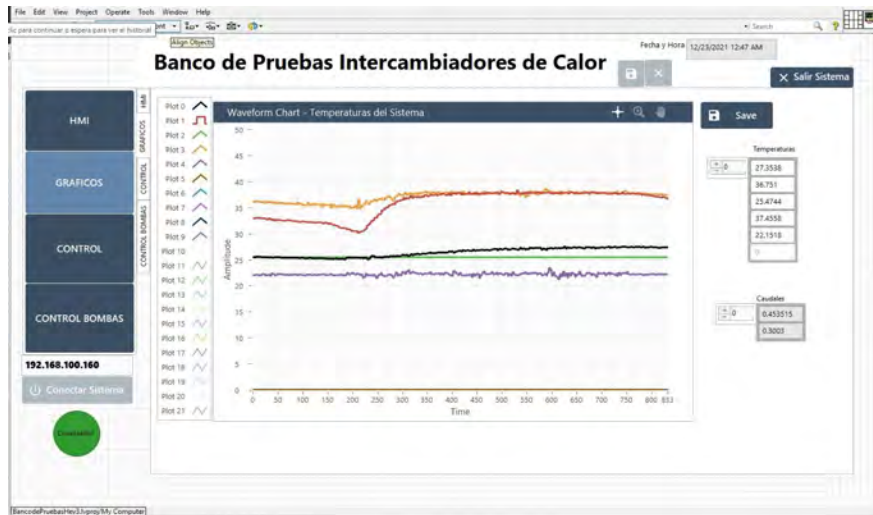


Figura 4.4: Interfaz de temperaturas - Intercambiador Tubo y Coraza.

Los datos almacenados en el archivo de pruebas TDMS proporcionan los siguientes datos de la Fig.4.5.

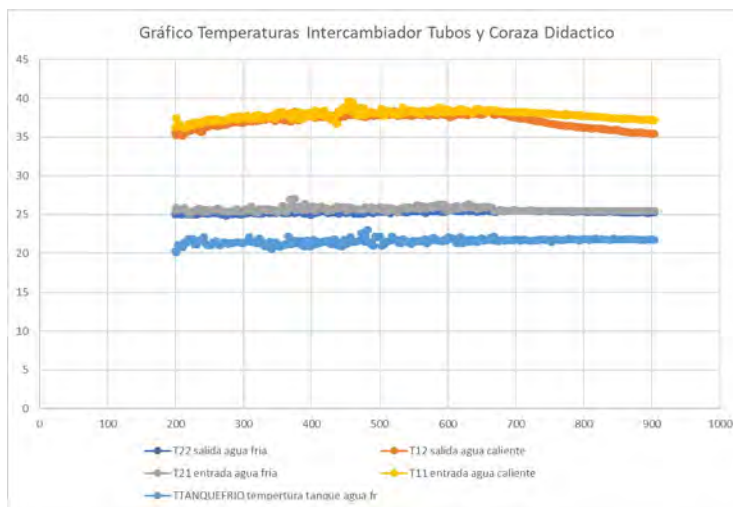


Figura 4.5: Curvas de temperatura - Tubo y Coraza.

En la Fig.4.6 se observa el gráfico del comportamiento de la temperatura a lo largo del intercambiador.

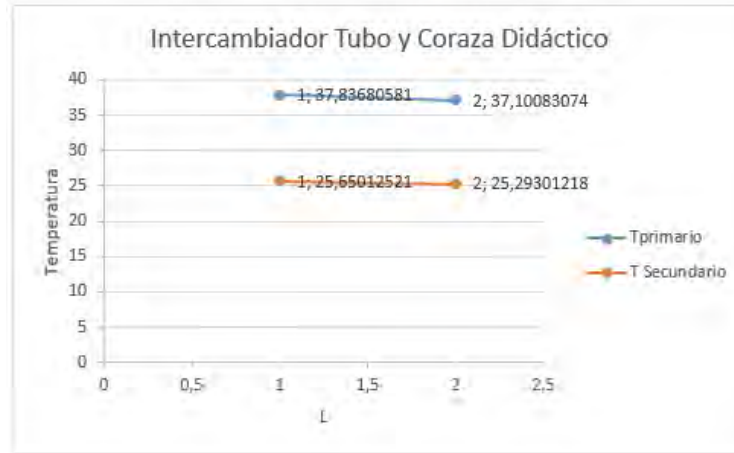


Figura 4.6: Gráfica de comportamiento de las temperaturas - Tubo y Coraza.

En la Tabla 4.2 se despliegan los resultados obtenidos de la prueba del intercambiador.

Tabla 4.2: Resultados de la prueba del Intercambiador de Tubo y Coraza. Fuente: Elaborada por el autor.

Nombre de la variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Temperatura entrada primario.	t11	°C	37.8368058
Temperatura salida primario.	t12	°C	37.1008307
Temperatura entrada secundario.	t21	°C	25.6501252
Temperatura salida secundario.	t22	°C	25.2930122
Gasto primario.	q1	Kg/s	0.10
Gasto secundario.	q2	Kg/s	0.03333333
Calor específico fluido primario.	Cp1	J/Kg°K	4182
Calor específico fluido secundario.	Cp2	J/Kg°K	3297
Potencia térmica primario.	P1	W	307.784775

Potencia térmica secundario.	P2	W	49.7815565
Perdida potencia de calor.	Pf	W	258
Eficiencia.	$P2/P1*100\%$	%	16.17 %
Diferencia de Temperaturas media logarítmica.	DLTM	°C	11.9889

4.1.3. Intercambiador Tubo y Coraza Cobre

Para el cálculo de rendimiento se utiliza los datos obtenidos en la prueba de la Fig. 4.7.

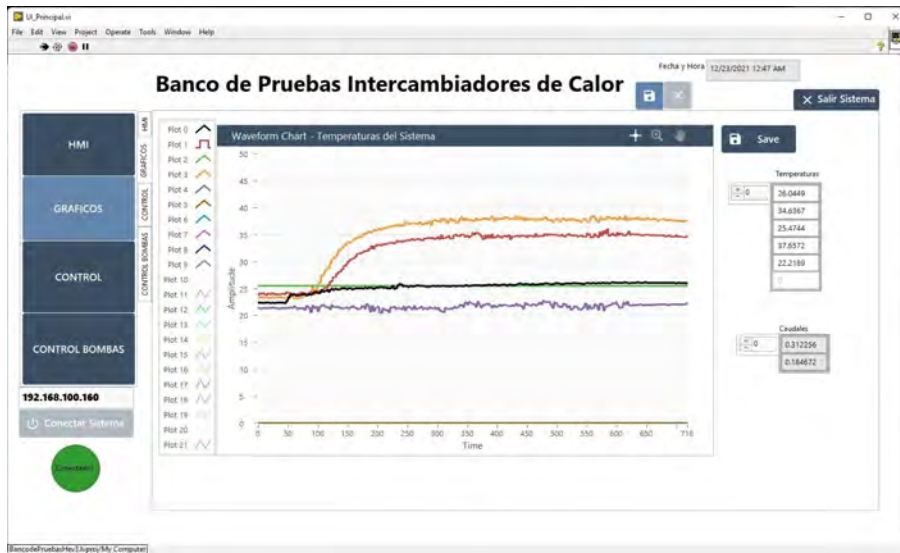


Figura 4.7: Interfaz de temperaturas - Tubo y Coraza Cobre.

Los datos de la Fig. 4.8 son los datos de estado estacionario extraídos del registro del archivo TDMS de la prueba.

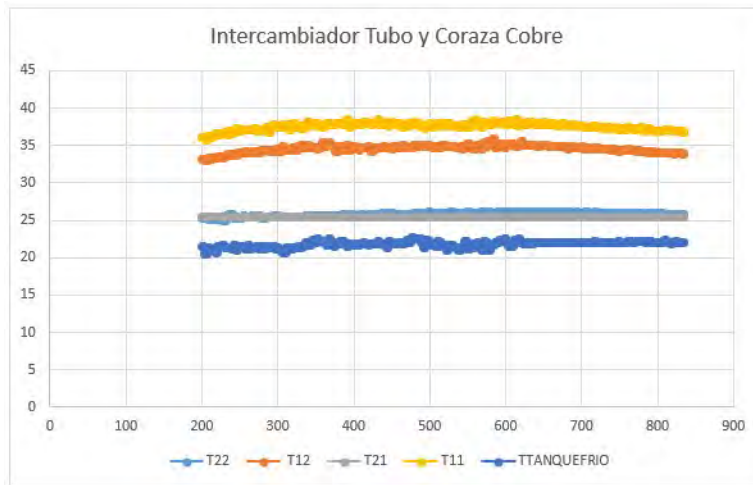


Figura 4.8: Curvas de temperatura - Tubo y Coraza Cobre.

En la Fig.4.9 se puede observar el grafico del comportamiento de la temperatura a lo largo del intercambiador.

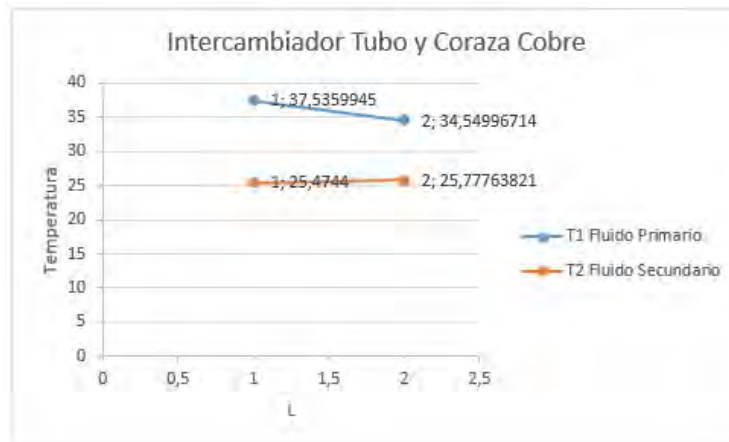


Figura 4.9: Gráfica de comportamiento de las temperaturas - Tubo y Coraza Cobre.

En la Tabla 4.3 se despliegan los resultados obtenidos de la prueba del intercambiador.

Tabla 4.3: Resultados de la prueba del Intercambiador Tubo y Coraza Cobre.
Fuente: Elaborada por el autor.

Nombre de la variable	Símbolo	Unidad	Resultado
Temperatura entrada primario.	t11	°C	37.5359945
Temperatura salida primario.	t12	°C	34.54996714
Temperatura entrada secundario.	t21	°C	25.4744
Temperatura salida secundario.	t22	°C	25.77763821
Gasto primario.	q1	Kg/s	0.10
Gasto secundario.	q2	Kg/s	0.03333333
Calor específico fluido primario.	Cp1	J/Kg°K	4182
Calor específico fluido secundario.	Cp2	J/Kg°K	3297
Potencia térmica primario.	P1	W	1248.756641
Potencia térmica secundario.	P2	W	42.27140613
Perdida potencia de calor.	Pf	W	1240
Eficiencia.	$P2/P1*100$	%%	3.3
Diferencia de Temperaturas media logarítmica.	DLTM	°C	10.35

4.2. Resultados Obtenidos mediante la Aplicación ThingsBoard

La prueba se procede a realizar mediante la aplicación IoT, como se muestra en la Fig.4.10.

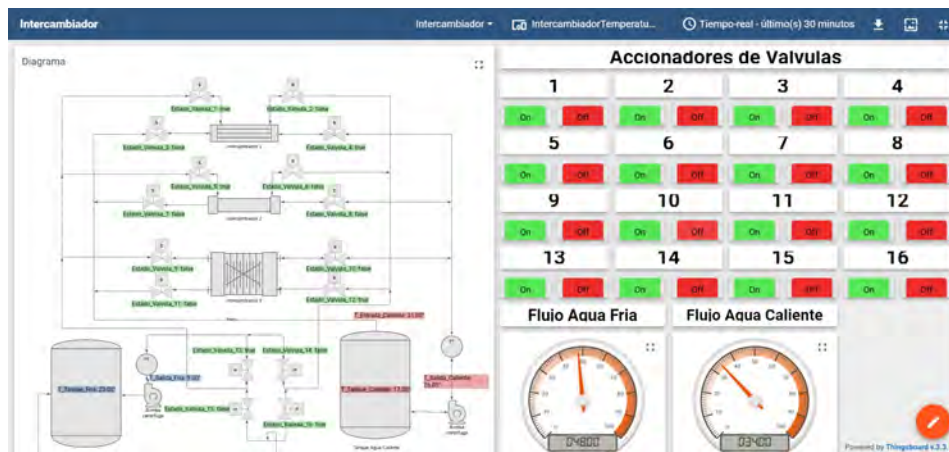


Figura 4.10: Realización de la pruebas mediante la aplicación en ThingsBoard.

Posteriormente se activa monitoreo y después de algunos minutos se observa el comportamiento del sistema, muestra ser el mismo que el sistema de monitoreo local o de cliente, mostrado en el sistema.

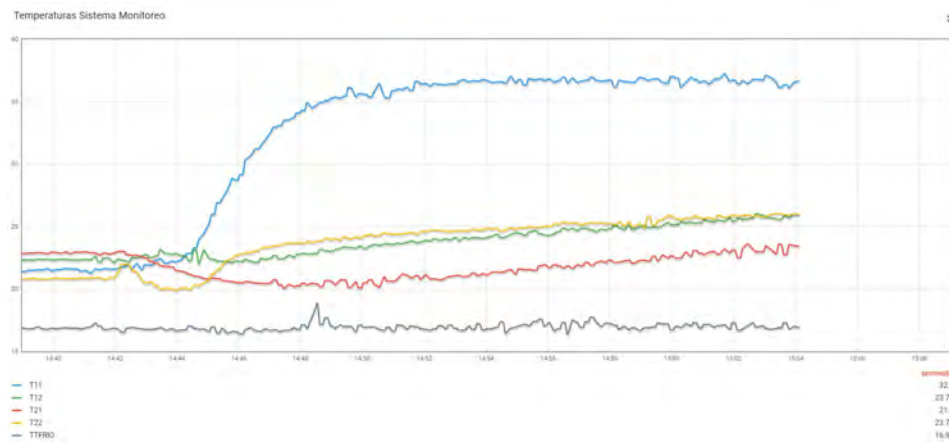


Figura 4.11: Realización de la pruebas mediante la aplicación en ThingsBoard.

En la Fig,4.11 se observa las temperaturas, al inicio de la prueba inicializan con una temperatura parecida a la del ambiente, y posteriormente

al inicializar el sistema con un gasto o caudal del sistema primario de alrededor de 3 l/min y del secundario de 9 l/min, se obtiene el comportamiento anterior.

Evaluación del rendimiento: En el sistema del intercambiador de calor, cuando el fluido ingresa y fluye hacia la salida, el sensor de caudal y el sensor de temperatura envían instantáneamente datos a la base de datos del servidor. El sistema de monitoreo y control basado en IoT propuesto para el banco de pruebas del intercambiador de calor es capaz de ejecutar el sistema.

Además, debido a que la construcción de la planta, constitución de los intercambiadores y las electroválvulas solo se realizaron las pruebas de rendimiento en contraflujo.

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajo Futuro

5.1. Conclusiones

En base a los objetivos propuestos por este proyecto se concluye que:

Se identificó los dispositivos que integran el sistema de monitoreo y control para el banco de pruebas. Este sistema está compuesto por dos Unidades, la Unidad de Control y la unidad de Servicio. La Unidad de Control es la responsable del monitoreo y control y que está constituida por dispositivos eléctricos y electrónicos y por un sistema embebido en Tiempo Real que permiten el acondicionamiento de las señales de entrada de los diferentes transductores que componen el sistema, así como también de las señales de control y comunicaciones del banco de pruebas. La Unidad de Servicio está constituida por los intercambiadores de calor y más instrumentación, esta unidad fue proporcionada por el proyecto Termolabo de la Universidad de Guayaquil y Universidad Politécnica de Madrid [Vanegas Guillén et al., 2021].

Se implementó el sistema de adquisición de datos por medio de un sistema embebido, para ello se utilizó la tarjeta NI-MyRio, la implementación del sistema en esta tarjeta está basada en el módulo LabVIEW RT que utiliza la arquitectura de máquinas de estado, el cual, el FSM permite que la aplicación sea robusta y eficiente al utilizar pocos recursos. Esta aplicación utiliza varios ciclos paralelos como el ciclo de comunicación, el ciclo de adquisición de datos, el ciclo de control E/S digitales, el ciclo de control de bombas y el ciclo de comunicación IoT para la obtención de datos del sistema de banco de pruebas de los intercambiadores de calor.

Se implementó un sistema de control en las bombas tanto en la de fluido caliente como en el de fluido frío. Para ello se consideró establecer

un procedimiento basados en la Norma UNE-EN-306 que establece el rendimiento en intercambiadores de calor donde indica que el fluido debe ser continuo y libre de perturbaciones, a partir de esto se utiliza el software Matlab para obtener los modelos del sistema partiendo con las bombas en funcionamiento y las electroválvulas activas. Para la estimación del modelo de la función de transferencia se realiza para cada bomba en su respectiva configuración (Tabla 3.6: Configuración de bombas), esto nos permite obtener un comportamiento eficiente de control para cada motor.

Se desarrolló una plataforma basada en IIoT, el cual sirve para el monitoreo y control de las variables del banco de pruebas de intercambiadores de calor. El envío de datos mediante el protocolo MQTT a la aplicación ThingsBoard permite una escalabilidad de los datos en tiempo real y de forma remota. Además de validar la funcionalidad y rendimiento tomando datos de temperatura y caudal a la entrada y salida de los intercambiadores de calor tanto en el fluido caliente y fluido frío mediante las pruebas experimentales dando resultados positivos de los intercambiadores, con la diferencia que en flujo paralelo no se pudo realizar las pruebas ya que las electroválvulas instaladas eran de una sola dirección su flujo por lo tanto no permitieron realizar las pruebas en la configuración flujo paralelo.

5.2. Trabajo Futuro

Posibles mejoras del sistema:

Al presente proyecto se le pueden añadir mejoras de cara al futuro, dentro de estas mejoras estarían en la Unidad de Servicio ya que la constitución de las electroválvulas no son las adecuadas para el proyecto y la forma como están instaladas no permiten realizar las pruebas en flujo paralelo, instalar sensores de presión industriales que permitan obtener datos precisos, instalar un sistema de refrigeración al banco de pruebas para poder obtener temperaturas bien bajas para que se pueda obtener mejores datos y apreciar la transferencia de calor en los intercambiadores.

Bibliografía

- Accenture and General Electric. Industrial Internet Insights Report. *Industrial Insights Report*, pages 1–35, 2015. URL https://www.accenture.com/us-en/{_}acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Industrial-Internet-Changing-Competitive-Landscape-Industries.pdf.
- L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787–2805, 2010. ISSN 13891286. doi:[10.1016/j.comnet.2010.05.010](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010). URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.
- S. A. Bkheet and J. I. Agbinya. A review of identity methods of internet of things (iot). *Advances in Internet of Things*, 11(4):153–174, 2021.
- S. A. Boyer. *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition 3rd Edition*. International Society of Automation, 2004.
- H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, and T. Watson. The industrial internet of things (iiot): An analysis framework. *Computers in industry*, 101:1–12, 2018.
- Y. A. Çengel. *Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico*. McGraw-Hill, 2007.
- Y. A. Çengel and M. A. Boles. *Termodinámica*. McGraw Hill, Mexico, 6 edition, 2009.
- Y. Chen, K. Sun, T. Wang, and H. Wei. Development and implementation of a real time embedded control system for machine tools. In *2006 2nd IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications*, pages 1–5, 2006. doi:[10.1109/MESA.2006.296946](https://doi.org/10.1109/MESA.2006.296946).

- M. Compare, P. Baraldi, and E. Zio. Challenges to iot-enabled predictive maintenance for industry 4.0. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(5): 4585–4597, 2019.
- J. Del Val Roman. Industria 4.0. La Transformación Digital de la Industria . *Coddiinforme*, page 120, 2016. URL <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>.
- F. Firouzi, K. Chakrabarty, and S. Nassif. *Intelligent Internet of Things: From Device to Fog and Cloud*. Springer, 2020.
- E. R. Griffor, C. Greer, D. A. Wollman, M. J. Burns, et al. Framework for cyber-physical systems: Volume 1, overview. 2017.
- M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*, pages 3928–3937. IEEE, 2016.
- <https://ncd.io/>. NCD manufactures plug and play hardware for iot. URL <https://ncd.io/>.
- <https://www.ni.com>. NI-MyRIO national instrument. URL <https://www.ni.com>.
- S. R. Islam, D. Kwak, M. H. Kabir, M. Hossain, and K.-S. Kwak. The internet of things for health care: a comprehensive survey. *IEEE access*, 3:678–708, 2015.
- O. Jaramillo. Intercambiadores de calor. *México DF., México: Universidad Nacional Autónoma de México*, 2007.
- A. Jayaram. An iiot quality global enterprise inventory management model for automation and demand forecasting based on cloud. In *2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, pages 1258–1263. IEEE, 2017.
- C. Koch and K. Blind. Towards agile standardization: Testbeds in support of standardization for the iiot. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(1):59–74, 2021. doi:[10.1109/TEM.2020.2979697](https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2979697).
- S.-W. Lin, B. Miller, J. Durand, R. Joshi, P. Didier, A. Chigani, R. Torenbeek, D. Duggal, R. Martin, G. Bleakley, et al. Industrial internet reference architecture. *Industrial Internet Consortium (IIC), Tech. Rep*, 2015.

- S.-W. Lin, B. Miller, J. Durand, G. Bleakley, A. Chigani, R. Martin, B. Murphy, and M. Crawford. The industrial internet of things volume g1: reference architecture. *Industrial Internet Consortium*, 10, 2017.
- D. Minoli, K. Sohraby, and B. Occhiogrosso. Iot considerations, requirements, and architectures for smart buildings—energy optimization and next-generation building management systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1):269–283, 2017.
- National Instruments. Patrones de diseño de aplicaciones: Máquinas de estado - NI, a. URL <https://www.ni.com/es-cr/support/documentation/supplemental/16/simple-state-machine-template-documentation.html>.
- National Instruments. Guía Práctica para Conectar LabVIEW al Internet Industrial de las Cosas - NI, b. URL <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/17/a-practical-guide-for-connecting-labview-to-the-industrial-iot.html>.
- National Instruments. El Formato NI TDMS - NI, c. URL <https://www.ni.com/es-cr/support/documentation/supplemental/06/the-ni-tdms-file-format.html>.
- NationalInstruments. NI MyRIO-1900 national instrument. URL <https://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>.
- NI-GuíaMyRIO. Ni myrio-1950 user guide and specifications. URL <https://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>.
- S. B. Rakas, V. Timčenko, M. Kabović, and A. Kabović. Industrial internet: Architecture, characteristics and implementation challenges. In *2021 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, pages 1–4. IEEE, 2021.
- W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho, et al. *Handbook of heat transfer*, volume 3. McGraw-Hill New York, 1998.
- E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag, and M. Gidlund. Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE transactions on industrial informatics*, 14(11):4724–4734, 2018.
- ThingsBoard. Thingsboard - open-source iot platform. URL <https://thingsboard.io/>.

- UNE-EN 306. Intercambiadores de calor: Métodos de medida de los parámetros necesarios para establecer el rendimiento. In *Norma Española, AENOR*, 1997.
- O. A. Vanegas Guillén, J. L. Benavides Maldonado, J. Muñoz Antón, J. P. Díaz Vera, and C. H. Lozada Cabrera. Termolabo project: An internet of things approach of thermo-fluids online laboratory. In *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*, pages 105–114. Springer, 2021.
- H. Xu, W. Yu, D. Griffith, and N. Golmie. A survey on industrial internet of things: A cyber-physical systems perspective. *IEEE Access*, 6:78238–78259, 2018.

Anexos

Anexo 1

1a. Detalle de las entradas y salidas NI-MYRIO.

USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI myRIO-1900

The National Instruments myRIO-1900 is a portable reconfigurable I/O (RIO) device that students can use to design control, robotics, and mechatronics systems. This document contains pinouts, connectivity information, dimensions, mounting instructions, and specifications for the NI myRIO-1900.

Figure 1. NI myRIO-1900

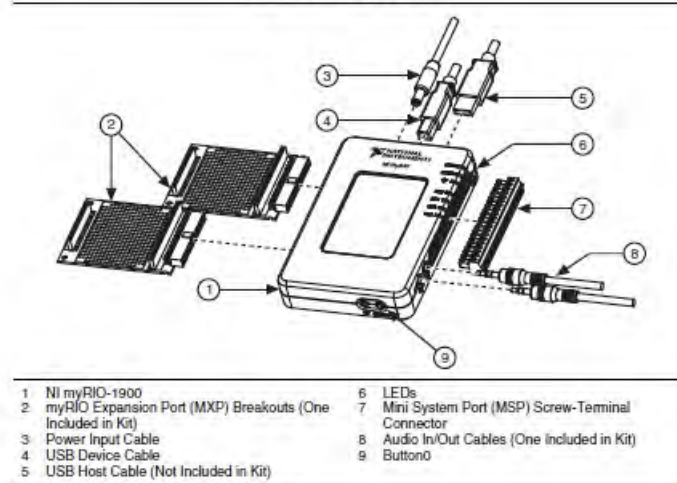


Figura 5.1: Hoja de Especificaciones NI-MYRIO. Fuente:[[NI-GuíaMyRIO](#)]

1b. Detalle de las entradas y salidas NI-MYRIO.

Hardware Overview

The NI myRIO-1900 provides analog input (AI), analog output (AO), digital input and output (DIO), audio, and power output in a compact embedded device. The NI myRIO-1900 connects to a host computer over USB and wireless 802.11b.g.n.

The following figure shows the arrangement and functions of NI myRIO-1900 components.

Figure 2. NI myRIO-1900 Hardware Block Diagram

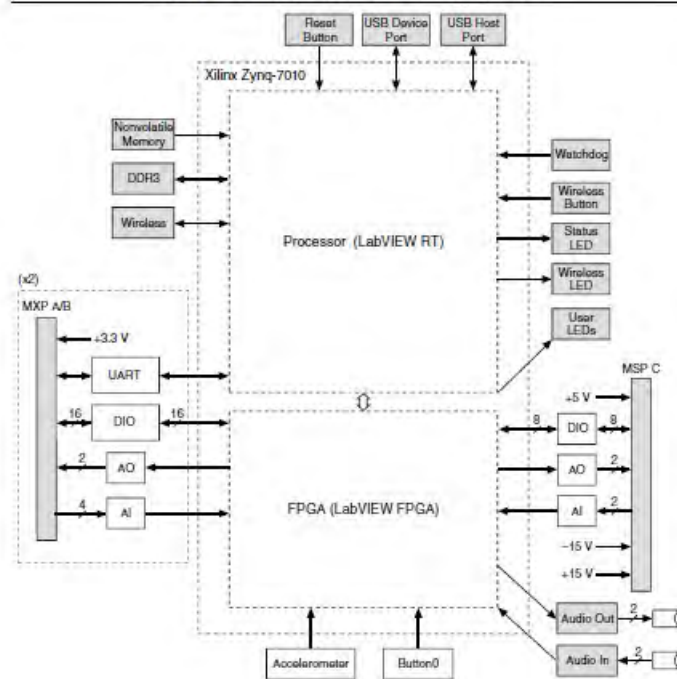


Figura 5.2: Descripción General del Hardware. Fuente:[[NI-GuíaMyRIO](#)]

Anexo 2

2. Unidad de Servicio



Figura 5.3: Banco de Pruebas de Intercambiadores de Calor.

Anexo 3

3. Unidad de Control.



Figura 5.4: Sistema Embebido en Tiempo Real

Anexo 4

4. Implementación del Sistema Embebido con el Banco de Pruebas de Intercambiadores.



Figura 5.5: Sistema Integrado de Monitoreo y Control.



Figura 5.6: Verificación de los componentes de la Unidad de Control.



Figura 5.7: Verificación de los componentes de la Unidad de Servicio.

Anexo 5

5. Pruebas de Funcionamiento de la Planta.



Figura 5.8: (a) Conexión con el Sistema Embebido NI-MyRIO.



Figura 5.9: (b) Pruebas Monitoreo y Control del Sistema.

