

**Modernización del sistema de control de temperatura del reactor De-Dietrich 1
mediante un algoritmo PID implementado con Arduino y LabVIEW**

Diego Alexander Gallego Llano

Asesor

Amaimen Guillén-Pacheco, PhD

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD

Escuela de Ciencias, Básicas, Tecnologías e Ingenierías ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

Resumen

Este documento describe la problemática del control manual de temperatura en el reactor químico De-Dietrich 1 en Rionegro, Antioquia, resaltando sus desventajas en términos de precisión, seguridad, eficiencia y recopilación de datos. Se propone la automatización de este control mediante el uso de herramientas como Arduino, Proteus y LabVIEW, implementando un sistema PID para mejorar la regulación de la temperatura dentro del rango de 20 °C a 120 °C, con una precisión de ± 1 °C. Se justifica la automatización por la necesidad de superar las limitaciones del control manual, mejorar la calidad del producto, reducir riesgos y optimizar el proceso. En esencia, el proyecto busca modernizar el control de temperatura del reactor para aumentar la eficiencia, seguridad y calidad en la producción química. El documento presenta un estado del arte de la automatización industrial, la metodología a seguir, una evaluación del equipo actual, resultados de simulación y diseño de interfaz. Finalmente, se plantean trabajos futuros orientados a una automatización más avanzada, que incluya la implementación de sistemas PLC y SCADA para un control más robusto y escalable.

Palabras clave: Industria Química, Control De Procesos, Control De Temperatura, Automatización Industrial, Eficiencia Operativa.

Abstract

This document describes the problems of manual temperature control in the De-Dietrich 1 chemical reactor in Rionegro, Antioquia, highlighting its disadvantages in terms of accuracy, safety, efficiency, and data collection. It proposes the automation of this control through the use of tools such as Arduino, Proteus, and LabVIEW, implementing a PID system to improve temperature regulation within the range of 20 °C to 120 °C, with an accuracy of ± 1 °C. Automation is justified by the need to overcome the limitations of manual control, improve product quality, reduce risks, and optimize the process. Essentially, the project seeks to modernize the reactor's temperature control to increase efficiency, safety, and quality in chemical production. The document presents a state-of-the-art of industrial automation, the methodology to be followed, an evaluation of the current equipment, simulation results, and interface design. Finally, it proposes future work aimed at more advanced automation, including the implementation of PLC and SCADA systems for more robust and scalable control.

Keywords: Chemical Industry, Process Control, Temperature Control, Industrial Automation, Operational Efficiency.

Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema.....	13
Justificación.....	15
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Marco Conceptual	18
Estado del Arte.....	22
Metodología	28
Diseño de la Interfaz.....	30
Resultados	35
Fase 1: Reconocimiento del Equipo	35
Fase 2: Planos del Equipo.....	41
Fase 3: Diseño de Circuitos en Proteus	45
Fase 4: Programa de Arduino.....	59
Fase 5: Interfaz Gráfica en LabVIEW	65
Corridas de Simulación.....	88
Análisis de Resultados	94
Conclusiones	96
Trabajos a Futuro	97
Bibliografía.....	99

Lista De Tablas

Tabla 1 <i>Distribución de Pines Digitales.</i>	48
Tabla 2 <i>Distribución de Pines Analógicos.</i>	49
Tabla 3 <i>Componentes Utilizados</i>	59
Tabla 4 <i>Tabla Resumen Comparando el Sistema Anterior Vs. el Nuevo Sistema</i>	86
Tabla 5 <i>Enlace de Acceso a los Archivos</i>	104
Tabla 6 <i>Datos de Temperatura y Setpoint</i>	105
Tabla 7 <i>Datos de Temperatura y Setpoint</i>	107
Tabla 8 <i>Datos de Temperatura y Setpoint</i>	109
Tabla 9 <i>Datos de Temperatura y Setpoint</i>	111
Tabla 10 <i>Datos de Temperatura y Setpoint</i>	113

Lista De Figuras

Figura 1 <i>Diagrama de Bloques del Proceso</i>	33
Figura 2 <i>Lógica de Navegación</i>	34
Figura 3 <i>De-Dietrich 1</i>	35
Figura 4 <i>Interior del Reactor “De-Dietrich 1”</i>	36
Figura 5 <i>Indicador de Temperatura</i>	37
Figura 6 <i>Válvulas de Entrada de Vapor y Salida de Agua Caliente</i>	38
Figura 7 <i>Estructura Inferior del DE-Dietrich 1</i>	39
Figura 8 <i>Esquema Eléctrico de Potencia y Control del De-Dietrich 1</i>	41
Figura 9 <i>Sistema de Control Entrada de Vapor y Enfriamiento</i>	43
Figura 10 <i>Diseño para la Simulación del Control de Temperatura del De-Dietrich 1</i>	45
Figura 11 <i>Controlador Arduino Uno</i>	47
Figura 12 <i>Servos Motores</i>	50
Figura 13 <i>Sensor De Presión</i>	51
Figura 14 <i>Sensores de Temperatura LM35</i>	52
Figura 15 <i>Potenciómetros de Control</i>	53
Figura 16 <i>Compim Comunicación Serial</i>	54
Figura 17 <i>LED Indicadores</i>	55
Figura 18 <i>Imagen en 3d de la Tarjeta</i>	57
Figura 19 <i>Imagen de la Serigrafía para Imprimir en una Tarjeta PCB</i>	58
Figura 20 <i>Diseño de Control para el Usuario</i>	65
Figura 21 <i>Reactor De-Dietrich 1</i>	67
Figura 22 <i>Sensor de Temperatura y Control de la Válvula 1</i>	68

Figura 23 <i>Sensor de Temperatura 2 Válvula 3</i>	69
Figura 24 <i>Sensor de Temperatura 2</i>	70
Figura 25 <i>Válvula 2</i>	71
Figura 26 <i>Diseño de Control Propio Hecho en Labview</i>	71
Figura 27 <i>Sensor de Presión</i>	72
Figura 28 <i>Indicador de Selección de Temperatura</i>	72
Figura 29 <i>Indicador de Estado del Proceso y Alarma</i>	73
Figura 30 <i>Buffer</i>	74
Figura 31 <i>Bytes</i>	74
Figura 32 <i>Visa</i>	75
Figura 33 <i>Diagrama de Bloques</i>	75
Figura 34 <i>Diagrama de Bloques</i>	76
Figura 35 <i>Modulo Nombre de Recurso de Visa</i>	77
Figura 36 <i>Modulo Visa Serial</i>	77
Figura 37 <i>Modulo Visa Read</i>	78
Figura 38 <i>Visa Close</i>	78
Figura 39 <i>Match Pattern</i>	79
Figura 40 <i>Fract/Exp String To Number</i>	79
Figura 41 <i>Indicadores</i>	80
Figura 42 <i>Indicador de Control de Temperatura Normal</i>	81
Figura 43 <i>Indicador de Válvula 1</i>	81
Figura 44 <i>Indicador Válvula 2 Y 3</i>	81
Figura 45 <i>Indicador Válvula 4</i>	82

Figura 46 <i>Indicador Alarma de Presión</i>	82
Figura 47 <i>Wait Until Next Ms Multiple</i>	82
Figura 48 <i>Módulo Stop</i>	83
Figura 49 <i>Esquema de Control PID</i>	84
Figura 50 <i>Primer Corrida de Simulación Proteus</i>	88
Figura 51 <i>Primer Corrida de Simulación Labview</i>	89
Figura 52 <i>Segunda Corrida de Simulación en Proteus</i>	90
Figura 53 <i>Segunda Corrida de Simulación en Labview</i>	91
Figura 54 <i>Tercera Corrida de Simulación en Proteus</i>	92
Figura 55 <i>Tercera Corrida de Simulación en Labview</i>	93
Figura 56 <i>Diseño para la Simulación del Control de Temperatura del De-Dietrich 1</i>	103
Figura 57 <i>Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 4</i>	106
Figura 58 <i>Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 5</i>	108
Figura 59 <i>Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 6</i>	110
Figura 60 <i>Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 7</i>	112
Figura 61 <i>Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 8</i>	114

Apéndice

Apéndice A <i>Esquemático del Prototipo</i>	103
Apéndice B <i>Archivos de Arduino, Labview, y Proteus.</i>	104
Apéndice C <i>Ejemplo del Formato para Obtención de Muestras.</i>	105

Introducción

En el entorno industrial actual, caracterizado por su dinamismo, competitividad y búsqueda constante de eficiencia, el control preciso de variables de proceso constituye un factor determinante para la optimización operativa y la garantía de calidad en la producción. En particular, en la industria química, la regulación de la temperatura en los reactores es una de las tareas más críticas, ya que de ella dependen tanto la cinética de las reacciones químicas como la seguridad de los equipos y el cumplimiento de estándares técnicos y ambientales. Una gestión inadecuada de la temperatura puede afectar la calidad del producto, provocar reacciones no deseadas, generar pérdidas de materia prima o, en casos extremos, desencadenar situaciones peligrosas por aumento de presión o sobrecalentamiento.

El reactor *De-Dietrich 1*, ubicado en la planta química de Rionegro (Antioquia), actualmente opera bajo un esquema de control manual de temperatura, el cual ha demostrado ser insuficiente para responder a las exigencias técnicas y productivas de la planta. Este modelo de operación conlleva una alta dependencia del operador humano, lo que introduce riesgos inherentes como errores de interpretación, lentitud en la reacción ante cambios en el proceso y dificultad para mantener condiciones estables. Adicionalmente, la falta de un sistema automatizado de monitoreo en tiempo real impide generar registros históricos, dificultando tanto el análisis de desempeño como la mejora continua del proceso. Esto representa una clara desventaja en términos de productividad, sostenibilidad y competitividad frente a otras plantas que ya han incorporado tecnologías de automatización.

La creciente incorporación de sistemas automatizados en los procesos industriales ha demostrado mejorar significativamente la eficiencia operativa, reducir la variabilidad del proceso, aumentar la seguridad industrial y minimizar el impacto ambiental. Dentro de este

contexto, herramientas como Arduino permiten el desarrollo de sistemas embebidos de bajo costo, pero alta capacidad funcional, ideales para procesos de automatización a pequeña o mediana escala. Por su parte, Proteus ofrece la posibilidad de simular y validar circuitos electrónicos antes de su implementación física, lo cual es fundamental para reducir errores en el diseño del sistema de control. Finalmente, LabVIEW, una plataforma ampliamente utilizada en la industria, proporciona una interfaz gráfica intuitiva y potente para la adquisición, visualización y análisis de datos en tiempo real, lo que facilita la supervisión del proceso y la toma de decisiones.

La integración de estas plataformas tecnológicas permite diseñar un sistema de control automático de temperatura robusto y flexible, adaptado a las necesidades específicas del reactor *De-Dietrich 1*. Además, la incorporación de un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) mejora significativamente la estabilidad del sistema, permitiendo mantener la temperatura del reactor dentro de un rango preestablecido de 20 °C a 120 °C, con una precisión de ± 1 °C, incluso en presencia de perturbaciones externas o variaciones de carga térmica. Esta precisión es clave para garantizar que las reacciones químicas se desarrollen bajo condiciones óptimas, maximizando el rendimiento y reduciendo la posibilidad de fallas.

Desde un enfoque académico y formativo, este proyecto también representa una oportunidad para aplicar conocimientos interdisciplinarios en electrónica, automatización, simulación, instrumentación y programación. Asimismo, al diseñar un sistema que pueda ser implementado físicamente, se promueve la transferencia de tecnología desde el entorno universitario hacia la industria local, fortaleciendo los vínculos entre la educación técnica y las necesidades reales del sector productivo. Este tipo de iniciativas contribuye además a la

formación de profesionales más integrales, capaces de enfrentar los retos de la cuarta revolución industrial, donde la digitalización y el control inteligente de procesos ocupan un papel protagónico.

Adicionalmente, la automatización del reactor De-Dietrich 1 puede sentar las bases para futuras expansiones del sistema, como la integración de sensores inalámbricos, plataformas IoT para monitoreo remoto, y la evolución hacia una automatización más avanzada mediante la implementación de sistemas PLC (Controlador Lógico Programable) y SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Estas tecnologías permitirían un control más robusto, escalable y centralizado, facilitando la supervisión simultánea de múltiples unidades de producción. Estas posibles líneas de desarrollo futuro amplían el impacto del proyecto, no solo como una solución puntual, sino como un modelo escalable y adaptable para otras áreas de la planta química.

En suma, el presente trabajo tiene como propósito fundamental el diseño y validación de un sistema automatizado de control de temperatura para el reactor *De-Dietrich 1*, utilizando tecnologías abiertas y accesibles como Arduino, Proteus y LabVIEW, integradas mediante un esquema de control PID. Esta solución busca reducir la intervención humana, incrementar la precisión del proceso, mejorar la eficiencia energética, y elevar el nivel de seguridad operativa, contribuyendo al fortalecimiento tecnológico de la planta y a su posicionamiento competitivo dentro del sector químico nacional e internacional.

Planteamiento del Problema

En la industria química, el control preciso de las variables de proceso es fundamental para garantizar la calidad del producto, la seguridad operativa y la eficiencia energética. Uno de los equipos más críticos en este entorno es el reactor químico, cuya operación depende en gran medida del control adecuado de la temperatura. En el caso particular del reactor *De-Dietrich 1*, de la empresa Colresin, ubicado en la planta química de Rionegro (Antioquia), el proceso de regulación térmica se realiza actualmente de forma manual, mediante la manipulación directa de válvulas por parte de un operario.

Este método manual presenta múltiples desventajas operativas. En promedio, el tiempo de respuesta ante una variación de temperatura puede superar los **3 a 5 minutos**, lo cual es insuficiente en procesos donde los cambios térmicos deben corregirse en menos de **30 segundos** para evitar reacciones incompletas, o degradación del producto. Además, el margen de error en la regulación manual puede ser superior a $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que representa una desviación significativa en un proceso que exige mantener la temperatura dentro de un rango estrictamente controlado de **20 °C a 120 °C**, con tolerancias operativas de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La ausencia de un sistema automatizado de monitoreo continuo impide también la detección oportuna de fallas o desviaciones críticas, lo que puede derivar en paradas de emergencia, pérdidas de materia prima o reprocesos. Estudios internos estiman que los desvíos de temperatura no controlados han ocasionado hasta un **12 % de rechazo de lote** anual en ciertos productos, incrementando los costos de producción y afectando el cumplimiento de entregas.

Además, la imposibilidad de recopilar datos en tiempo real limita la trazabilidad del proceso y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, reduciendo la

eficiencia operativa general. En un entorno industrial que exige altos estándares de calidad, trazabilidad y cumplimiento normativo, la permanencia de un sistema de control manual representa una desventaja competitiva, técnica y económica.

Justificación

El control automático en procesos industriales constituye un elemento esencial para garantizar la calidad, la seguridad y la eficiencia operativa. En la industria química, el control preciso de variables como la temperatura es crucial, ya que pequeñas desviaciones pueden desencadenar reacciones incompletas, formación de compuestos no deseados o condiciones peligrosas (Seborg, 2010).

Un sistema automatizado permite gestionar estas variables con mayor exactitud y repetitividad, lo que se traduce en una producción más uniforme y segura.

Actualmente, el reactor *De-Dietrich 1*, de colresin ubicado en la planta química de Rionegro (Antioquia), funciona mediante un sistema manual de regulación de temperatura. Este método presenta múltiples desventajas operativas: los tiempos de respuesta pueden superar los **3–5 minutos** ante una desviación, y los errores humanos pueden generar fluctuaciones de hasta ± 5 °C. Estas inconsistencias dificultan mantener las condiciones de operación en el rango requerido de **20 °C a 120 °C**, lo que afecta directamente la calidad del producto y la eficiencia energética del sistema.

La incorporación de un sistema automatizado de control de temperatura puede mejorar significativamente la precisión del proceso (hasta ± 1 °C), reducir la intervención humana en un **80 %**, e incorporar funciones de monitoreo continuo, alertas en tiempo real y registro de datos para trazabilidad y análisis histórico (Åström, (2006).)

Además, la automatización permite responder a los desafíos de la industria moderna, como la necesidad de cumplir estándares internacionales de calidad, eficiencia energética y sostenibilidad operativa (Lipták, (2018).)

En este contexto, la automatización del reactor no solo resuelve las limitaciones actuales, sino que se alinea con los principios de la industria 4.0 y representa una inversión estratégica para aumentar la competitividad, confiabilidad y productividad de la planta.

Objetivos

Objetivo General

Optimizar la eficiencia operativa y la calidad del producto mediante la implementación de procesos automatizados, seguros y sostenibles que mejoren el control y la estandarización en la producción del reactor *De-Dietrich 1*.

Objetivos Específicos

Diseñar un sistema de control automático de temperatura para el reactor De-Dietrich 1 que permita mantener la temperatura dentro de un rango específico de 20 °C a 120 °C, con una precisión de ± 1 °C, reduciendo la dependencia del control manual.

Desarrollar una interfaz de usuario en LabVIEW que permita el monitoreo continuo de las variables del proceso (principalmente temperatura y presión), la visualización de tendencias, la generación de alarmas en tiempo real y el registro de datos para su posterior análisis.

Diseñar y simular en Proteus el sistema electrónico de control que integre sensores de temperatura y presión, actuadores (electroválvulas controladas por servomotores) y una placa Arduino como unidad central de control para la regulación automática de la temperatura del reactor *De-Dietrich 1*.

Marco Conceptual

El presente proyecto se fundamenta en los siguientes conceptos claves que sustentan la necesidad y la propuesta de automatización del control de temperatura en el reactor *De-Dietrich 1*.

La Automatización de Procesos Industriales

Se refiere a la implementación de tecnologías y sistemas que permiten operar y controlar procesos productivos con una mínima o nula intervención humana. Busca mejorar la eficiencia, la precisión, la seguridad y la repetitividad de las tareas, reduciendo costos operativos y aumentando la calidad del producto. (Morales, 2020)

Control de Temperatura en Reactores Químicos

Es un aspecto crítico en la operación de reactores, ya que la temperatura influye directamente en la velocidad de reacción, el rendimiento, la selectividad y la seguridad del proceso químico. Un control preciso dentro de rangos específicos es esencial para garantizar la calidad del producto y evitar condiciones peligrosas. (Sica, 2020)

Sistemas de Control Realimentado (Closed-Loop Control)

Es un sistema donde la variable controlada (en este caso, la temperatura) se mide y se compara con un valor deseado (setpoint). La diferencia o error se utiliza para ajustar la variable manipulada (por ejemplo, el flujo de vapor o agua de enfriamiento) con el objetivo de minimizar el error y mantener la variable controlada en el valor deseado. (Mecatronica, 2014)

Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo)

Algoritmo de control realimentado ampliamente utilizado en la industria debido a su simplicidad y efectividad. Calcula la señal de control basándose en tres términos: el error actual (proporcional), la acumulación de errores pasados (integral) y la tasa de cambio del error (derivativo). Estos términos se ponderan con constantes (K_p , K_i , K_d) para optimizar la respuesta del sistema. (Picuino, 2025)

Sensores y Actuadores

Son componentes esenciales en un sistema de control automático. Los sensores (como termopilas, termistores o RTDs para temperatura, y transductores para presión) miden las variables del proceso y envían señales al sistema de control. Los actuadores (como válvulas de control, resistencias calefactoras o bombas) son dispositivos que manipulan las variables del proceso en respuesta a las señales del sistema de control. (Alberto Brunete, 2024)

Microcontroladores (Arduino)

Plataformas de hardware programables que pueden interactuar con sensores y actuadores para implementar algoritmos de control. Su versatilidad y bajo costo los hacen ideales para prototipos y aplicaciones de control de complejidad moderada.

(MicrocontrolTopix., 2025)

Software de Simulación (Proteus)

Son herramientas que permiten modelar y simular circuitos electrónicos y sistemas de control antes de su implementación física. Esto facilita la detección de errores de diseño y la validación del funcionamiento del sistema. (labcenter, 2025)

Software de Adquisición y Visualización de Datos (LabVIEW)

Son entornos de programación que grafican utilizados para desarrollar sistemas de adquisición de datos, monitoreo en tiempo real y control de procesos industriales.

Permiten crear interfaces de usuario intuitivas para la visualización y manipulación de las variables del proceso. (Medium, 2023)

Eficiencia Energética

Es la optimización del consumo de energía en los procesos industriales es fundamental para la sostenibilidad y la reducción de costos. Un control de temperatura preciso puede minimizar el uso innecesario de energía para calentamiento o enfriamiento.

(Autexopen, 2025)

Calidad del Producto

En la industria química, mantener condiciones de proceso estables y dentro de las especificaciones es crucial para asegurar la consistencia y calidad del producto final. Un control automático de temperatura contribuye significativamente a esta estabilidad.

(fujielectric, 2025)

Seguridad Operacional

Es un control preciso de las variables críticas, como la temperatura y la presión, ayuda a prevenir condiciones de operación peligrosas y a garantizar la seguridad del personal y del equipo. (Todo ingenierias, 2024).

Todos estos conceptos convergen en la propuesta de automatización del control de temperatura del reactor *De-Dietrich 1*, mediante la implementación de un sistema realimentado basado en control PID, apoyado en tecnologías accesibles como Arduino, sensores LM35, simulaciones en Proteus y visualización en LabVIEW. Esta integración no

solo permitirá operar el reactor con mayor precisión y seguridad, sino que también facilitará la recopilación de datos en tiempo real, optimizará el uso energético, estandarizará la calidad del producto y reducirá significativamente la dependencia del factor humano en la operación. En conjunto, estos elementos constituyen una solución tecnológica integral, alineada con las necesidades actuales de la industria química moderna.

Estado del Arte

El control de temperatura en reactores de procesos químicos es un aspecto crítico en la industria química, debido a que la temperatura influye directamente en la velocidad y en la calidad de las reacciones químicas. Además, el control térmico también incide en la seguridad, ya que una temperatura mal gestionada puede generar riesgos de reacciones incontroladas o de sobrepresión en los reactores. A lo largo de las últimas décadas, la automatización de procesos industriales ha experimentado un avance significativo, impulsado por la necesidad de aumentar la eficiencia, la precisión y la seguridad en los entornos de producción. Las innovaciones tecnológicas en sistemas de control de temperatura han permitido a las empresas químicas lograr un mejor control sobre las condiciones operativas y, al mismo tiempo, minimizar los errores humanos, optimizando los recursos energéticos y mejorando la trazabilidad de los procesos (García, 2022).

Una de las principales áreas de investigación en este campo ha sido el desarrollo de sistemas de control automático que mejoran la precisión y la respuesta del sistema ante variaciones inesperadas en las condiciones del proceso. Estas innovaciones se enfocan especialmente en el diseño y la implementación de controladores eficientes, como los controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo), que ajustan automáticamente la temperatura en función de las variaciones observadas entre el valor de referencia (setpoint) y el valor medido. Los controladores PID son ampliamente utilizados debido a su simplicidad y efectividad en entornos industriales donde las condiciones del proceso son relativamente constantes, aunque existen también otras metodologías como los controladores en cascada, el control adaptativo y el control predictivo (Sánchez M. &, 2019).

Los avances recientes han incorporado inteligencia artificial a estos controladores, permitiendo la implementación de controladores PID autoajustables o híbridos, los cuales pueden adaptarse dinámicamente a las condiciones cambiantes del proceso, reduciendo el sobre impulso y mejorando los tiempos de estabilización (Yuan, 2021).

Entre las tecnologías más utilizadas en la automatización de procesos térmicos se encuentran plataformas como Arduino, LabVIEW, Proteus y Simulink, que facilitan tanto el diseño de prototipos como la simulación de los sistemas de control. Arduino, por ejemplo, ha sido empleado en proyectos educativos y experimentales debido a su bajo costo y facilidad de implementación. Ha sido especialmente útil en la regulación de temperatura en reactores a pequeña escala y en proyectos piloto en el ámbito académico (Torres, 2020). Por otro lado, LabVIEW, que permite la creación de interfaces gráficas de usuario y la integración de diversos algoritmos de control, ha demostrado su eficacia en entornos industriales más complejos, como plantas de producción en serie, donde se requieren controles más sofisticados y fiables. En estos casos, LabVIEW permite la adquisición de datos en tiempo real y su procesamiento mediante algoritmos avanzados, lo que optimiza la eficiencia de los procesos (Jiménez, 2021).

Esta integración de sensores con interfaces gráficas ha demostrado ser efectiva para disminuir los tiempos de respuesta del operador y facilitar una visualización intuitiva de los parámetros críticos de operación.

La simulación es otra herramienta fundamental en el diseño y control de procesos térmicos. Software como Proteus y Simulink ha permitido a los ingenieros realizar pruebas y simulaciones de sistemas de control antes de su implementación física. Estas plataformas proporcionan un entorno seguro para validar los diseños, detectar errores y optimizar el

comportamiento de los sistemas sin riesgos operativos. La posibilidad de simular el comportamiento del reactor en diferentes condiciones operativas permite a los diseñadores ajustar los parámetros del sistema y garantizar la estabilidad y seguridad del proceso antes de que se lleve a cabo la instalación real (Gómez L. Z., 2011). Simulink, en particular, ha mostrado gran utilidad en la modelación de procesos térmicos con múltiples variables de entrada y salida, permitiendo aplicar métodos avanzados como el control predictivo basado en modelos (MPC), que anticipa el comportamiento del sistema ante ciertas condiciones y actúa preventivamente.

El control de temperatura no solo es esencial para la eficiencia operativa y la seguridad, sino también para la reducción de costos energéticos. Un sistema de control eficiente puede reducir significativamente el consumo de energía, lo que es crucial en una industria tan demandante en términos de recursos como la industria química. La automatización del control térmico ha permitido a las empresas optimizar el uso de energía, manteniendo las condiciones de operación dentro de los rangos óptimos sin necesidad de intervención manual constante. Esto, a su vez, ha dado como resultado una mayor sostenibilidad de los procesos industriales (Rincón, 2023). Asimismo, la eficiencia energética es potenciada mediante el uso de estrategias de control basadas en redes neuronales artificiales y lógica difusa, que interpretan datos históricos y condiciones del entorno para ajustar parámetros con mayor precisión que los controladores tradicionales (Álvarez, 2022).

En cuanto a los avances en la integración de tecnologías, uno de los enfoques más recientes es la combinación de controladores de temperatura con tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y plataformas de comunicación en tiempo real. Este tipo de integración ha permitido la creación de sistemas inteligentes que son capaces de monitorear, ajustar y

optimizar de forma autónoma los procesos en función de las condiciones ambientales y operativas. La implementación de sensores de temperatura y humedad conectados a la red permite a los operadores realizar ajustes inmediatos desde cualquier parte del mundo, lo que mejora la flexibilidad y la capacidad de respuesta ante eventos no planificados. Estos sistemas también pueden predecir fallas y alertar a los operadores sobre posibles problemas antes de que se conviertan en incidentes graves, lo que aumenta la seguridad y reduce los costos operativos (Villacís, 2021). Las tecnologías IoT también permiten la recopilación masiva de datos (Big Data), que luego pueden ser procesados mediante algoritmos de aprendizaje automático para identificar patrones de comportamiento y optimizar los parámetros del sistema en función del análisis predictivo.

La adopción de plataformas de simulación y monitoreo en tiempo real ha sido clave para la mejora de la eficiencia en procesos químicos. Un ejemplo de esto es el uso de SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) en procesos de control de temperatura en plantas industriales. En la Universidad Politécnica de Valencia, por ejemplo, se desarrolló un sistema SCADA basado en LabVIEW para controlar las variables de caudal, nivel y temperatura en una planta piloto. Este sistema permitió la supervisión en tiempo real de las condiciones operativas, mejorando la capacidad de respuesta ante fallos y optimizando el rendimiento de la planta. Este tipo de aplicaciones es cada vez más común en la industria, ya que ofrecen una visión más detallada y accesible de los procesos, facilitando la toma de decisiones basadas en datos concretos y en tiempo real (Valencia., 2017).

El uso de simuladores como Simulink de MATLAB también ha sido una herramienta poderosa en el diseño y análisis de sistemas de control de temperatura. La capacidad de Simulink para modelar y simular procesos dinámicos permite a los ingenieros estudiar y

ajustar el comportamiento de los reactores antes de realizar la instalación física de los sistemas de control. Además, la integración de Simulink con controladores como los PLC (Controladores Lógicos Programables) ha permitido un nivel de control más preciso y eficiente, que es esencial para el funcionamiento de reactores químicos complejos. La integración de estos sistemas de simulación con plataformas de control físico permite optimizar el rendimiento en tiempo real y realizar ajustes dinámicos durante el proceso (Sánchez M. &., 2019).

Sin embargo, a pesar de los avances en la tecnología de control de temperatura, los sistemas industriales aún enfrentan desafíos significativos. La integración de sistemas heterogéneos, la gestión de datos en tiempo real y la capacitación del personal en nuevas tecnologías son algunos de los retos más importantes a superar. Los sistemas de control, a medida que se vuelven más complejos y automatizados, requieren operadores altamente capacitados que comprendan tanto las tecnologías de hardware como las de software. Asimismo, la interoperabilidad entre diferentes plataformas de control sigue siendo un desafío importante, ya que muchas veces se utilizan sistemas de control que no son compatibles entre sí, lo que puede generar fallos o ineficiencias en el proceso (Gómez L. Z., 2011).

A medida que la industria química continúa evolucionando, se espera que la automatización de procesos, y específicamente el control de temperatura en reactores, se convierta en un aspecto aún más crucial para la eficiencia y sostenibilidad de los procesos industriales. En conclusión, la implementación de tecnologías avanzadas para el control de temperatura en reactores químicos, como Arduino, LabVIEW, Simulink y plataformas de simulación y monitoreo en tiempo real, ha permitido importantes avances en términos de

precisión, seguridad y eficiencia operativa. Sin embargo, se requiere seguir investigando en la integración de sistemas, la capacitación de los operadores y el desarrollo de nuevas metodologías que hagan estos sistemas aún más inteligentes y autónomos (Meneses, 2016). La incorporación futura de tecnologías como la computación cuántica, sensores nano estructurados y sistemas ciberfísicos promete llevar estos procesos a niveles de control aún más finos, en los que la toma de decisiones sea prácticamente autónoma y basada en modelos predictivos que consideren una vasta cantidad de variables, consolidando así un paradigma industrial más resiliente, eficiente y sustentable.

Metodología

La automatización de procesos industriales requiere del uso de herramientas tecnológicas que permitan diseñar, simular y controlar sistemas de manera precisa y eficiente. En este contexto, plataformas como Arduino, Proteus y LabVIEW resultan fundamentales para la implementación de soluciones de control automático en entornos industriales.

Arduino es una plataforma de desarrollo de hardware libre que integra una placa con microcontrolador y un entorno de programación (IDE), lo cual permite diseñar y controlar sistemas electrónicos de forma sencilla y versátil. Gracias a su capacidad para leer sensores y generar señales de salida digitales y analógicas, Arduino se ha consolidado como una herramienta clave para el control de variables físicas como temperatura, presión y humedad en sistemas automatizados (Banzi, 2014)

Complementariamente, el software Proteus permite la simulación y diseño de circuitos electrónicos, facilitando la validación previa de proyectos basados en plataformas como Arduino. Esta herramienta permite modelar microcontroladores y sistemas embebidos, reduciendo errores durante la fase de diseño y mejorando la eficiencia en la implementación de sistemas de control (Khan, 2019)

Por su parte, LabVIEW es un entorno de programación gráfica desarrollado por National Instruments que se emplea para el diseño de sistemas de adquisición de datos, monitoreo en tiempo real y control de procesos. Su principal ventaja radica en la posibilidad de crear interfaces visuales intuitivas que permiten observar y ajustar variables críticas en procesos industriales complejos, lo cual es esencial para la automatización y el análisis de datos (Instruments, 2020)

Para este proyecto se implementó un controlador PID (Proporcional–Integral–Derivativo), ampliamente utilizado en sistemas de control automático por su balance entre simplicidad y eficacia. Este tipo de controlador trabaja dentro de un sistema de control realimentado, donde se compara continuamente el valor medido de una variable (como la temperatura) con un valor de referencia o consigna (setpoint), generando una señal de control en función del error. Como lo plantea (Zhong, 2016), el controlador PID es una técnica común de lazo cerrado empleada para mantener una variable dentro de los márgenes deseados.

El comportamiento del sistema ante variaciones en las constantes del PID puede analizarse mediante cuatro métricas clave:

Tiempo de Subida. Cuánto tarda el sistema en alcanzar el valor de referencia.

Sobre Impulso. Cuánto excede el sistema el valor de referencia antes de estabilizarse.

Tiempo de Estabilización. Cuánto tarda el sistema en alcanzar un estado estable.

Error en Estado Estacionario. Diferencia entre el valor de referencia y el valor real una vez estabilizado.

Cada una de las constantes del PID afecta de manera específica estas métricas:

Kp (Ganancia Proporcional). Incrementa la respuesta del sistema al error actual, un valor más alto reduce el tiempo de subida, pero puede provocar mayor sobre impulso.

Ki (Ganancia Integral). Acumula errores pasados para eliminar el error en estado estacionario. Sin embargo, un valor excesivo puede aumentar la oscilación y el sobre impulso.

Kd (Ganancia Derivativa). Anticipa el comportamiento futuro del error, suavizando la respuesta y reduciendo el sobre impulso, pero puede hacer al sistema más sensible al ruido.

La implementación se realizó mediante el método de posición absoluta, donde la salida del controlador no depende de la salida previa, sino que se calcula en cada ciclo a partir del error actual, su integral y su derivada. Este método es especialmente adecuado para actuadores cuya posición debe corresponder directamente con el valor calculado, como servomotores en válvulas proporcionales. La ecuación general del controlador PID en tiempo continuo es la siguiente:

$$\text{Salida}(t) = K_p \times e(t) + K_i \times \int e(t)dt + K_d \times (de(t)/dt) \quad (1)$$

Donde:

$e(t)$ Es el error en el tiempo t (diferencia entre setpoint y valor medido),

K_p, K_i y K_d Son las ganancias proporcional, integral y derivativa respectivamente.

La implementación en Arduino se llevó a cabo mediante la biblioteca PID_v1, la cual facilita la gestión del ciclo de control, el cálculo del algoritmo y la configuración de parámetros, adaptándose bien a las limitaciones computacionales de los microcontroladores.

Diseño de la Interfaz

Para desarrollar esta interfaz de usuario se llevará a cabo un proceso cuidadosamente planificado que integrara tanto aspectos técnicos como ergonómicos, con el objetivo de crear una herramienta clara, eficiente y segura para los operarios que la utilizarán en un entorno industrial. El diseño partirá del entendimiento profundo de las necesidades operativas, identificando cuáles son los datos clave que los trabajadores deben monitorear de forma constante y cuáles son las acciones que deben poder ejecutar rápidamente en situaciones normales o de emergencia.

La primera etapa del desarrollo se centrará en definir los parámetros más relevantes que debían estar siempre visibles y fácilmente accesibles. Se determinó que la temperatura y la presión son variables críticas dentro del sistema, por lo tanto, se priorizó su representación en la interfaz. Para la temperatura, se incluirán no solo el valor actual, sino también el objetivo esperado, de modo que el operador pueda comparar ambos en todo momento. Además, se integrará un gráfico de tendencias que permita visualizar los cambios recientes y anticipar comportamientos anómalos. De forma similar, la presión se mostrará como una lectura instantánea de un punto específico del sistema, con la capacidad de emitir alertas visuales y sonoras cuando se superan ciertos umbrales previamente establecidos, lo cual es vital para prevenir fallos o condiciones de riesgo.

En cuanto al control y monitoreo de las válvulas, se buscará que el operador pueda identificar de inmediato si una válvula está abierta o cerrada. Se optó por emplear indicadores visuales simples y efectivos, como iconos que cambian de color o forma según el estado. Además, se incorporará una función que permite el control manual de las válvulas desde la misma interfaz, lo que brinda una capacidad de reacción inmediata ante cualquier necesidad de ajuste o emergencia operativa.

El sistema de alarmas fue diseñado para maximizar la atención y facilitar la toma de decisiones. Ante cualquier condición crítica, como un sobrecalentamiento o una presión excesiva, se activan alertas visuales destacadas que interrumpen cualquier otra visualización y dirigen la atención del operador a la fuente del problema. Asimismo, se implementará un sistema de registro automático que documentará cada evento y cada alarma, generando un historial completo útil tanto para auditorías como para análisis posteriores que permitan mejorar la eficiencia o prevenir futuras fallas.

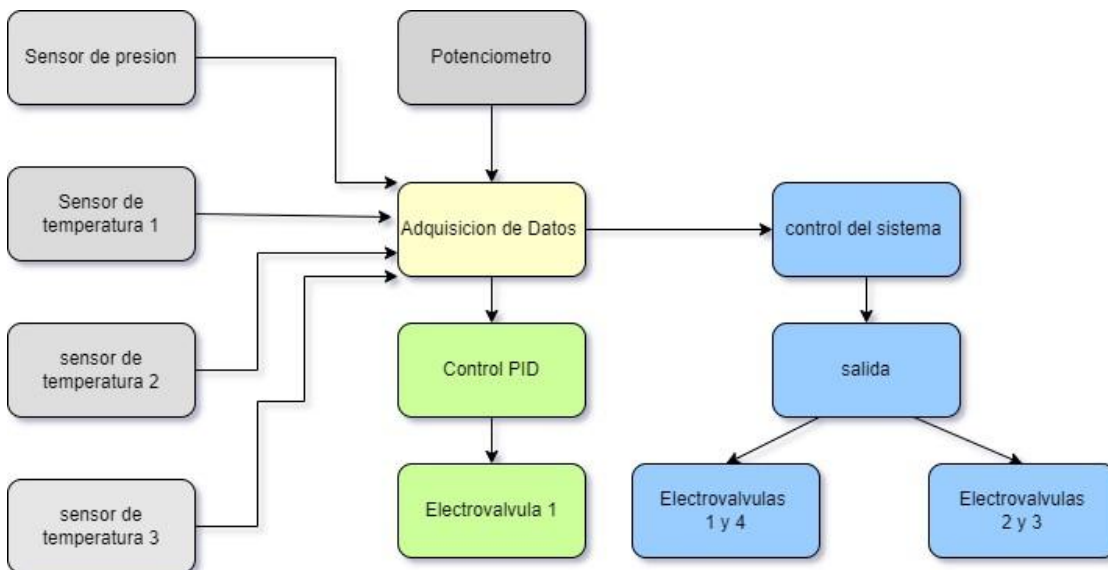
El diseño gráfico de la interfaz también será objeto de una atención especial. Se buscará que la pantalla principal sea intuitiva, clara y visualmente organizada, evitando la sobrecarga de información. Para lograrlo, se utilizarán indicadores gráficos como diales circulares, barras horizontales y medidores digitales que permiten a los usuarios interpretar los datos de un vistazo. Para reforzar la claridad de lectura, se empleó un sistema de codificación por colores donde el verde indicara condiciones normales y el rojo señala estados críticos o fuera de los límites seguros. Esta codificación se mantuvo de forma consistente en todos los elementos visuales del sistema.

Otra parte fundamental del desarrollo será la implementación de un panel de control rápido que contiene las funciones más críticas y que podría necesitarse accionar con urgencia. Este panel incluye botones de gran tamaño, especialmente diseñados para ser fácilmente localizables y accionables incluso en situaciones de estrés. Entre ellos se destaca el botón de paro de emergencia, que será diseñado con una ubicación fija, un color llamativo y una forma reconocible para asegurar que pueda ser identificado y presionado sin confusión ni demora.

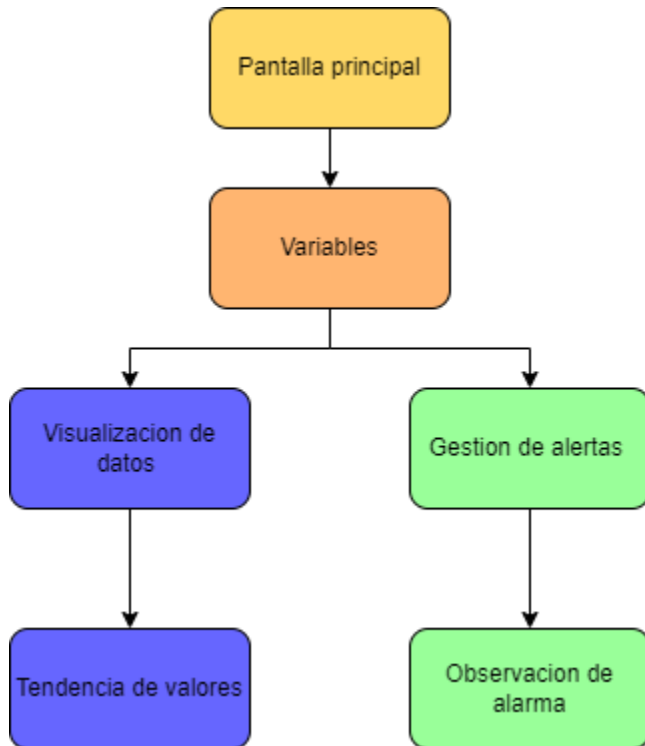
Finalmente, se integrará un módulo de análisis de tendencias y registros históricos, mediante gráficos dinámicos en tiempo real que muestran cómo han evolucionado los parámetros clave del sistema. Esta herramienta permite a los operarios y supervisores comprender mejor el comportamiento del sistema y tomar decisiones basadas en datos, ya sea para resolver una anomalía puntual o para planificar mantenimientos preventivos. También se garantizará que los datos históricos estén accesibles en cualquier momento, permitiendo realizar análisis detallados o revisiones posteriores en el marco de auditorías técnicas o revisiones de seguridad.

Figura 1

Diagrama de Bloques del Proceso



Nota. La figura muestra el esquema de control PID del proyecto de modernización reactor "De-Dietrich I", que incorpora 3 sensores de temperatura, 1 de presión y controla al mismo tiempo los sistemas de salida para abrir o cerrar las electroválvulas 1 y 4 o 2 y 3 a según convenga de acuerdo con el valor de temperatura seleccionado en el potenciómetro.

Figura 2*Lógica de Navegación*

Nota. La figura muestra el diagrama de flujo que representa la lógica de navegación de la interfaz, destacando los accesos desde la pantalla principal hacia el panel de monitoreo. Desde el panel de monitoreo, el usuario podrá visualizar en tiempo real los valores de temperatura y presión, así como acceder a alertas visuales. Esta sección está conectada a un módulo de análisis de tendencias y a un historial de eventos, permitiendo la consulta detallada de registros.

Resultados

Fase 1: Reconocimiento del Equipo

Figura 3

De-Dietrich 1



Nota. La figura muestra dos grandes reactores vidriados siendo el de la derecha el “*De-Dietrich 1*” de color verde menta donde se transforman las materias primas en productos químicos útiles, mediante el uso de altas temperaturas y una agitación continua durante varias horas e incluso durante varios días. Fotografía del reactor tomada en la planta química colresin.

El reactor *De-Dietrich 1* ubicado a la derecha acompañado del reactor *De-Dietrich 3* a la izquierda, se encuentra en la planta química de Rionegro Antioquia, este está en buen estado operativo con una capacidad de 8.000 litros y sistemas muy básicos de control de operación manual, como lo son sus válvulas de vapor, entrada de agua de enfriamiento y

salida de agua caliente, y el control de temperatura se debe supervisar constantemente por un operario.

Figura 4

Interior del Reactor “De-Dietrich 1”



Nota. La figura muestra el interior del equipo al que se le llama vaso vidriado donde se procesan los productos químicos. Fotografía del interior del reactor tomada en la planta química.

La figura muestra el interior del equipo al que se le llama vaso vidriado donde se procesan los productos químicos con una capacidad de 8.000lt como pieza central tenemos el agitador también vidriado para protegerlo de los productos corrosivos a la derecha se encuentra el termo pozo, llamado así porque en su interior se encuentra el sensor de

temperatura tipo J sumergido parcialmente en glicerina para transferir la temperatura del producto al sensor.

Figura 5

Indicador de Temperatura



Nota. La figura muestra el indicador de temperatura usado en el reactor *De-Dietrich 1* de la marca autonics. Fotografía del indicador de temperatura tomada en la planta química.

En la figura se observa el indicador de temperatura autonics modelo TC4S, este nos muestra la temperatura al interior del reactor *De-Dietrich 1*, funciona con una alimentación de entre 120v AC y puede registrar una temperatura máxima de hasta 1200°C, aunque al interior del reactor solo se ha registrado un máximo de 150°C. Su única función es indicar temperatura y no ha realizado ninguna etapa de control.

Figura 6

Válvulas de Entrada de Vapor y Salida de Agua Caliente.



Nota. La figura muestra el grupo de válvulas de control de entrada de vapor y salida de agua caliente de operación manual. Fotografía de las válvulas de vapor tomada en la planta química.

En la figura se observa a la derecha la entrada de vapor con tres válvulas de control manual de 1/1/2" en acero al carbono resistente a altas presiones y temperaturas, de forma central en la imagen vemos una válvula de control automático con un manómetro indicador de presión de entre 0 y 100psi, esta se gradúa mediante una tuerca para regular la presión de vapor máxima a 50 psi y evitar que dañe el equipo. La tubería de color azul claro se usa para

evacuar el agua caliente controlada por la válvula de manija redonda y esta es conducida a un sistema de torres de enfriamiento para disminuir su temperatura.

Figura 7

Estructura Inferior del DE-Dietrich 1



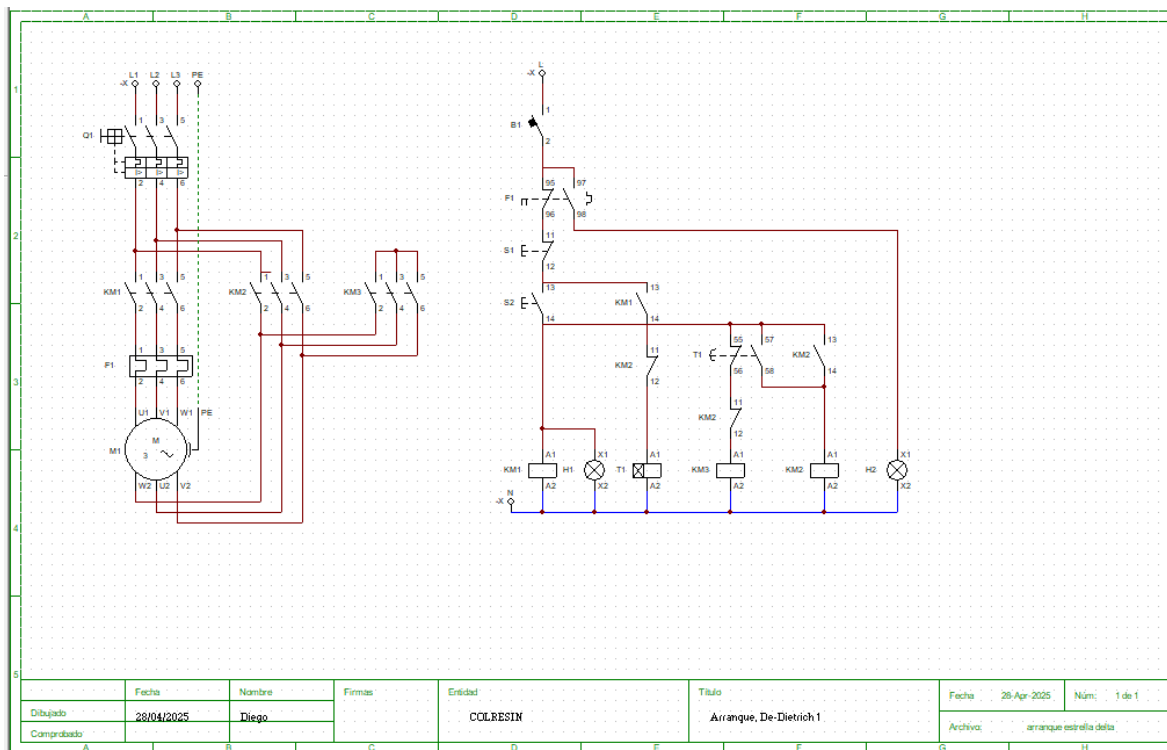
Nota. La figura muestra la parte del “De-Dietrich 1” ubicada en el primer piso con sus tuberías de, agua fría y salida de vapor condensado. Fotografía de la parte inferior tomada en la planta química colresin.

En la figura se observa en la parte derecha superior está ubicada la tubería de entrada de agua fría de color azul oscuro hacia la parte inferior en el fondo del vaso del equipo, en la parte derecha superior también se encuentra una válvula de seguridad de $1\frac{1}{2}$ " calibrada para dejar escapar la presión del vapor si sobrepasa la capacidad límite de 50 psi, donde se encuentra la válvula de manija roja es por donde se evacúa el condensado de vapor hacia un tanque reservorio siempre controlado por la trampa de vapor, la tubería de color azul claro de 1" sirve para evacuar el agua del equipo y reemplazarlo por vapor, la tubería de $\frac{1}{2}$ " conduce aire presurizado a 120 psi este se utiliza para ayudar a evacuar el producto de dentro del reactor, la válvula que se encuentra encima de la caneca azul es de $1\frac{1}{2}$ " sirve para evacuar y sacar el producto cuando finaliza el proceso químico.

Fase 2: Planos del Equipo

Figura 8

Esquema Eléctrico de Potencia y Control del De-Dietrich 1



Nota. La figura muestra los planos del "De-Dietrich 1", como fue construido el sistema de eléctrico de potencia y control.

En la figura se observar a la izquierda se encuentra el sistema de potencia que funciona a 220v, como mecanismo de seguridad y de arriba hacia abajo, se observa primero se encuentra el disyuntor de 100A luego el contactor KM1 debajo el relé térmico de 23A a 32A y posterior a este el motor de 27HP trifásico de 6 puntas más tierra de protección para hacerlo funcionar adecuadamente se utiliza un sistema denominado estrella delta, el contactor KM2 es delta y el contactor KM3 es estrella, a la derecha encontramos el sistema de control donde primero está el brequear debajo de él los contactos normalmente cerrados y abiertos

del relé F1, un pulsador de paro y un pulsador de encendido debajo de ellas encontramos las bobinas de control de cada uno de los contactores KM1 para energizar directamente las puntas del embobinado del motor u1, v1, w1, KM2 es para forma sistema delta, KM3 es para hacer el puente inicial de estrella.

El sistema de control de un motor trifásico estrella-delta se utiliza para reducir la corriente de arranque y las vibraciones del motor, especialmente en aplicaciones donde la carga inicial puede ser pesada. Este sistema utiliza dos configuraciones de conexión de los devanados del motor: estrella (Y) y delta (Δ).

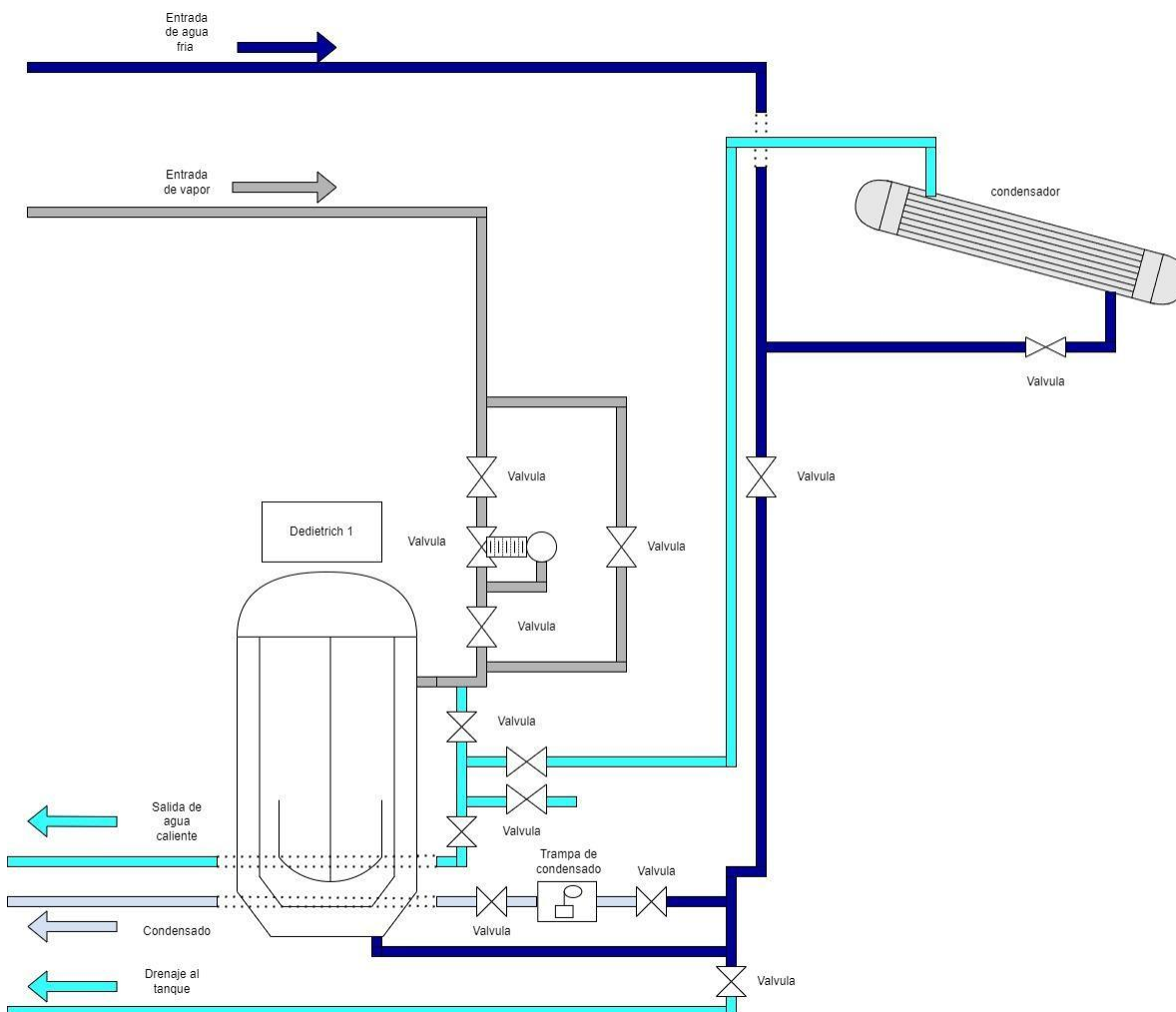
Funcionamiento. Arranque en Estrella: Durante el arranque, el motor se conecta en estrella, lo que reduce el voltaje y la corriente que se aplican a los devanados. Esto disminuye la corriente de arranque, lo que ayuda a proteger el motor y el sistema eléctrico. Cambio a Delta: Una vez que el motor alcanza una velocidad cercana a su velocidad nominal, se cambia la conexión a delta. En esta configuración, el voltaje y la corriente se aplican directamente a los devanados, lo que permite que el motor funcione a plena potencia.

Componentes: Contactor Estrella: Este contactor conecta los devanados del motor en estrella durante la fase de arranque. Contactor Delta: Este contactor conecta los devanados del motor en delta una vez que el motor está en marcha. Contactor de Arranque: Este contactor energiza la bobina del motor, iniciando el proceso de arranque. Temporizador: Este componente define el tiempo que el motor permanece conectado en estrella antes de cambiar a delta. Relevador de Sobre corriente: Este dispositivo protege el motor y el sistema de sobrecargas o cortocircuitos. Beneficios: Reducción de la corriente de arranque: Esto disminuye la tensión en la red eléctrica y los efectos adversos en otros equipos. Protección del motor: Reduce la tensión y el estrés térmico en el motor durante el arranque, prolongando

su vida útil, Mayor eficiencia: El motor puede alcanzar su potencia nominal de manera más suave y eficiente. Menos vibraciones: La reducción de la corriente de arranque también puede disminuir las vibraciones durante el arranque del motor.

Figura 9

Sistema de Control Entrada de Vapor y Enfriamiento.



Nota. La figura muestra los planos del "De-Dietrich I", como fue construido el sistema de calentamiento aportado por el vapor que entra por la tubería gris y el sistema de enfriamiento por agua que entra por la tubería azul oscuro y la tubería azul claro es para salida de agua caliente.

En la figura, como pieza central está el reactor para procesos químicos llamado *De-Dietrich 1*, las líneas de colores que van conectadas al equipo representan las tuberías de 1/1/2" pulgadas en acero al carbón especialmente hechas para soportar altas presiones de vapor y agua. Las tuberías de color gris oscuro simbolizan una línea de entrada de vapor que constantemente se encuentra presurizada a 120psi con una temperatura que regularmente se encuentra a 130 °C al entrar al equipo tiene 4 válvulas de control, las tuberías de color azul oscuro representan entrada de agua de enfriamiento que se encuentra entre 12 °C y 24 °C a una presión de 10psi es controlada por 4 válvulas, las tuberías de agua de color azul claro indican salida de agua caliente después del intercambio de temperatura entre 24°C y 100°C dependiendo del estado del proceso controlado por 3 válvulas y la tubería de color gris claro muestra salida de vapor condensado el cual puede estar alrededor de 100°C la cual tiene una válvula manual y una válvula automática o mejor conocida como trampa de vapor , el cilindro que se encuentra de forma diagonal es un condensador o también llamado intercambiador de calor cuya función es cambiar la fase de fluido de gas a líquido en los procesos químicos.

Componentes. Placa Arduino (SIMULINO UNO): El componente central del diagrama, una placa Arduino uno que sirve como cerebro del sistema, procesando las señales de los diferentes sensores y controlando los actuadores. Se muestran sus pines digitales y analógicos, indicando cómo están conectados los demás componentes.

Sensores: Hay tres sensores de temperatura (U1, U2, U3, tipo LM35) y un sensor de presión (U4, tipo MPX4115). Los sensores de temperatura muestran lecturas de 22.0c°. El sensor de presión muestra una lectura de 101.0kIp. Están conectados a los pines analógicos de la placa Arduino.

Actuadores: El diagrama presenta cuatro actuadores, éstos son servomotores representando electroválvulas (M1, M2, M3, M4). Estos están conectados a pines digitales de la placa Arduino y se controlan a través de ella.

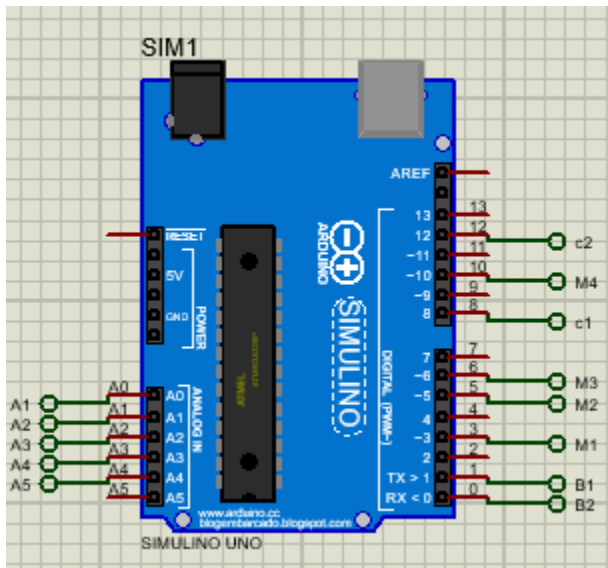
Indicadores Leds: Se incluyen dos Leds (D1, D2) — rojo, para indicar estado de falla, verde— para indicar el estado del sistema en normalidad. Están conectados a los pines digitales de la Arduino uno y las resistencias (R1, R2) limitan la corriente a los Leds.

Comunicaciones: Se conectó B1 y B2 a la interfaz de comunicación serial, para conectar el sistema a LabVIEW a los puertos RX y TX.

Conexiones: El diagrama utiliza líneas para mostrar las conexiones entre los distintos componentes. Cada línea está etiquetada para indicar su propósito. También se muestran los voltajes de alimentación como se describe en más detalle a continuación.

Figura 11

Controlador Arduino Uno



Nota. La figura se muestra la placa de “Arduino Uno” como controlador el cual funciona con una alimentación de entre 5v y 12v dc.

Para este proyecto usamos:

Tabla 1*Distribución de Pines Digitales.*

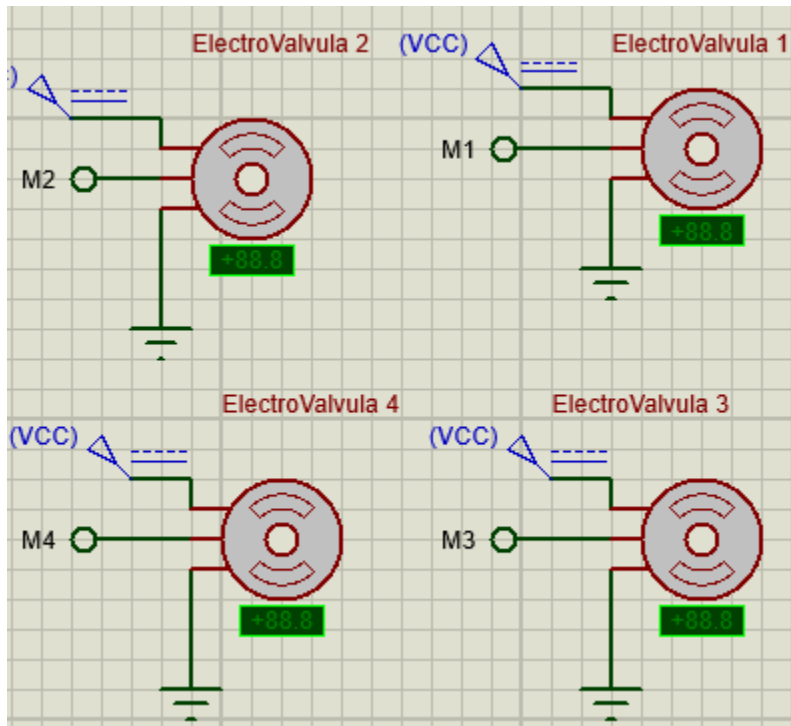
Pin digital	Aplicación
Pin 0	RX: Puerto serial
Pin1	TX: Puerto serial
Pin 2	Disponible
Pin 3	Conexión al servomotor válvula 1, PWM
Pin 4	Disponible
Pin 5	Conexión al servomotor válvula 2, PWM
Pin 6	Conexión al servomotor válvula 3, PWM
Pin 7	Disponible
Pin 8	Conexión a indicador led verde
Pin 9	Disponible
Pin 10	Conexión al servomotor válvula 4, PWM
Pin 11	Disponible
Pin 12	Conexión a indicador led rojo
Pin 13	Disponible

Nota. Esta tabla muestra la descripción detallada de los pines digitales y su aplicación en el sistema de control. Se utilizaron 8 pines y quedaron disponibles 6 pines más.

Tabla 2*Distribución de Pines Analógicos.*

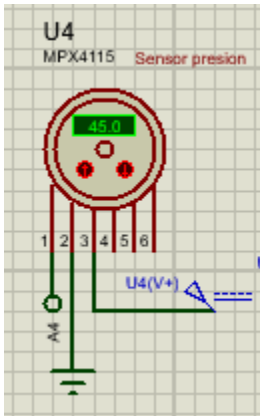
Pin analógico	Distribución
A 0	Sensor de temperatura 3-LM35
A 1	Sensor de temperatura 2-LM35
A 2	Sensor de temperatura 1-LM35
A 3	Sensor de presión MPX4115
A 4	potenciómetro de control
A 5	Disponible

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de pines analógicos y su aplicación en el sistema de control. Se utilizaron 5 pines y quedo disponibles 1 pin más.

Figura 12*Servos Motores*

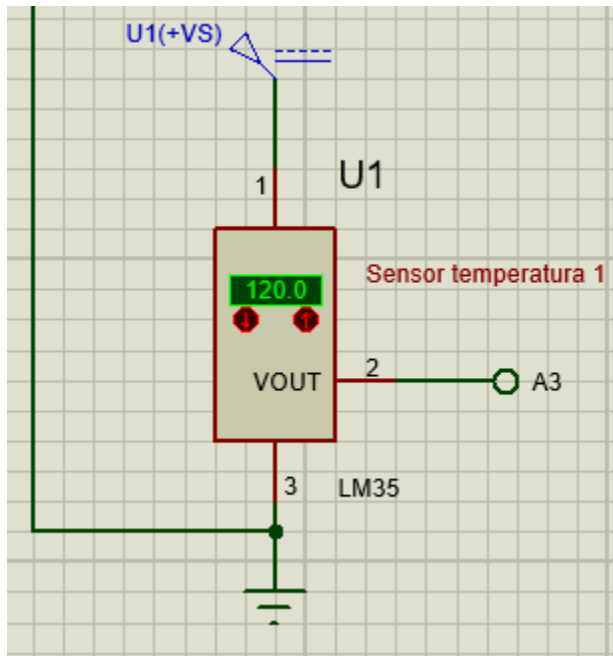
Nota. La figura muestra servomotores con conexiones de voltaje de alimentación, conexión a tierra y las conexiones control M1, M2, M3, M4.

Estos servomotores serán ideales para el proyecto ya que estos pueden controlar la apertura de las 4 válvulas paso a paso. Se alimentan a 5 voltios más tierra y las entradas M: 1, 2, 3,4, Son de control PWM proveniente Arduino Uno. La válvula 1 es la única que es controlada por el sistema PID controlara su apertura en todo momento en pequeños porcentajes, las válvulas 2,3,4, se abren o cierran completamente de 0° a 90° solo esos dos estados.

Figura 13*Sensor de Presión*

Nota. La figura muestra el sensor de presión MPX4115 con su conexión de voltaje de alimentación, conexión a tierra y conexión al pin analógico A 4.

Este sensor MPX4115 se encargará de monitorear la presión de vapor en el equipo en este caso que no sobrepase los 50 PSI puesto que puede causar daños en el equipo, en el Código se especifica que si sobrepasa la presión establecida cierre la válvula 1. El pin 1 es para los datos de presión el pin 2 es tierra y el tres son 5v de alimentación.

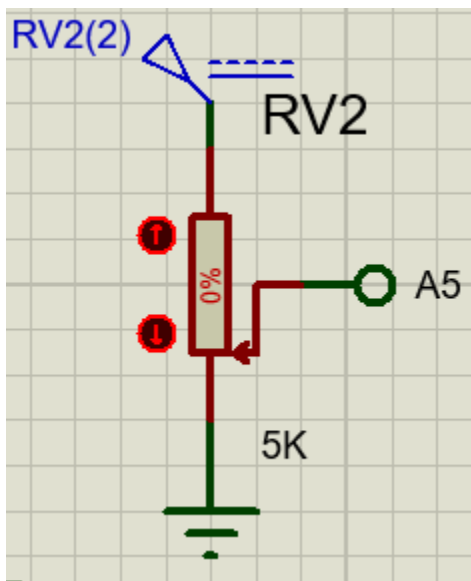
Figura 14*Sensores de Temperatura LM35*

Nota. La figura muestra un sensor de temperatura con su conexión de voltaje de alimentación, conexión de tierra y conexión al pin analógico A 3.

Los 3 sensores LM35 nos permitirán visualizar la temperatura de entrada al equipo “De-Dietrich I” y del producto internamente dentro del equipo. En el pin 1 se alimenta a 5v el pin 3 a tierra el pin 2 son los datos de temperatura.

Figura 15

Potenciómetros de Control

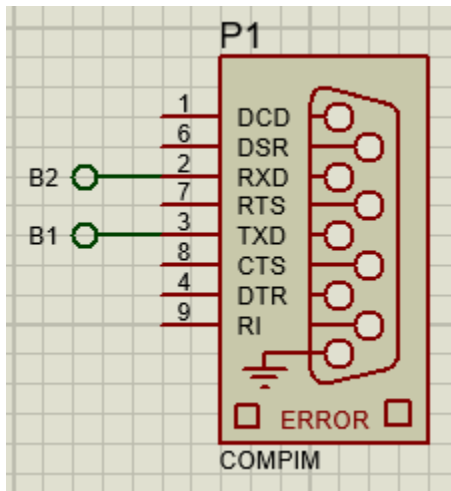


Nota. La figura muestra un potenciómetro de 5k ohm con conexión a voltaje de alimentación, tierra y salida al pin analógico por la conexión A 5.

Usamos un potenciómetro de 5K como setpoint o selector de temperatura alimentado a 5v más tierra y conectado al pin analógico A4.

Figura 16

Compim Comunicación Serial.



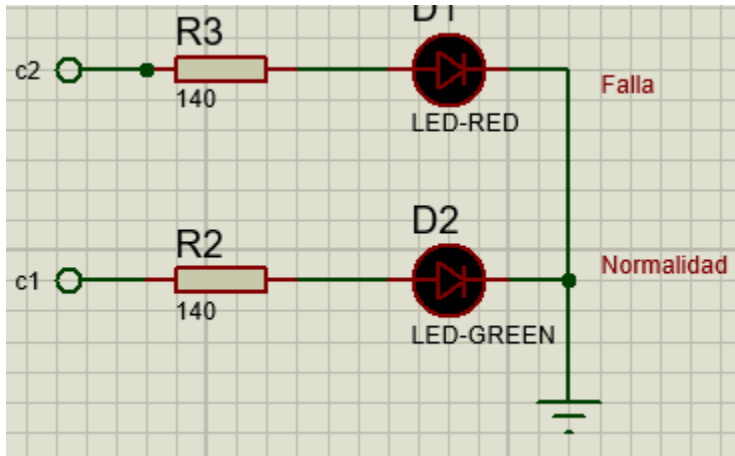
Nota. La figura muestra un puerto serial con conexiones rxd y txd.

Compim es la comunicación serial, de esta manera podemos visualizar datos de temperatura, presión y setpoint en proteus y enviar estos mismos datos a LabVIEW.

Sistemas de Alarmas:

Figura 17

LED Indicadores.



Nota. La figura muestra dos LED indicadores de estado con sus resistencias entrada de energía y conexión a tierra.

Se usarán estos LED, Rojo para falla y verde para trabajo normal y para esto debemos calcular la resistencia según la ley de ohm teniendo en cuenta que el sistema funciona a 5v.

(2)

$$R = \frac{V \text{ trabajo} - V \text{ diodo}}{I}$$

$$R = \frac{5v - 2.2v}{20mA}$$

$$R = 140\Omega$$

Nos da como resultado que debemos usar una resistencia de 140Ω

Calculamos la potencia de la resistencia con la ley de watt.

(3)

$$P = v * I$$

$$P = 5 * 20mA$$

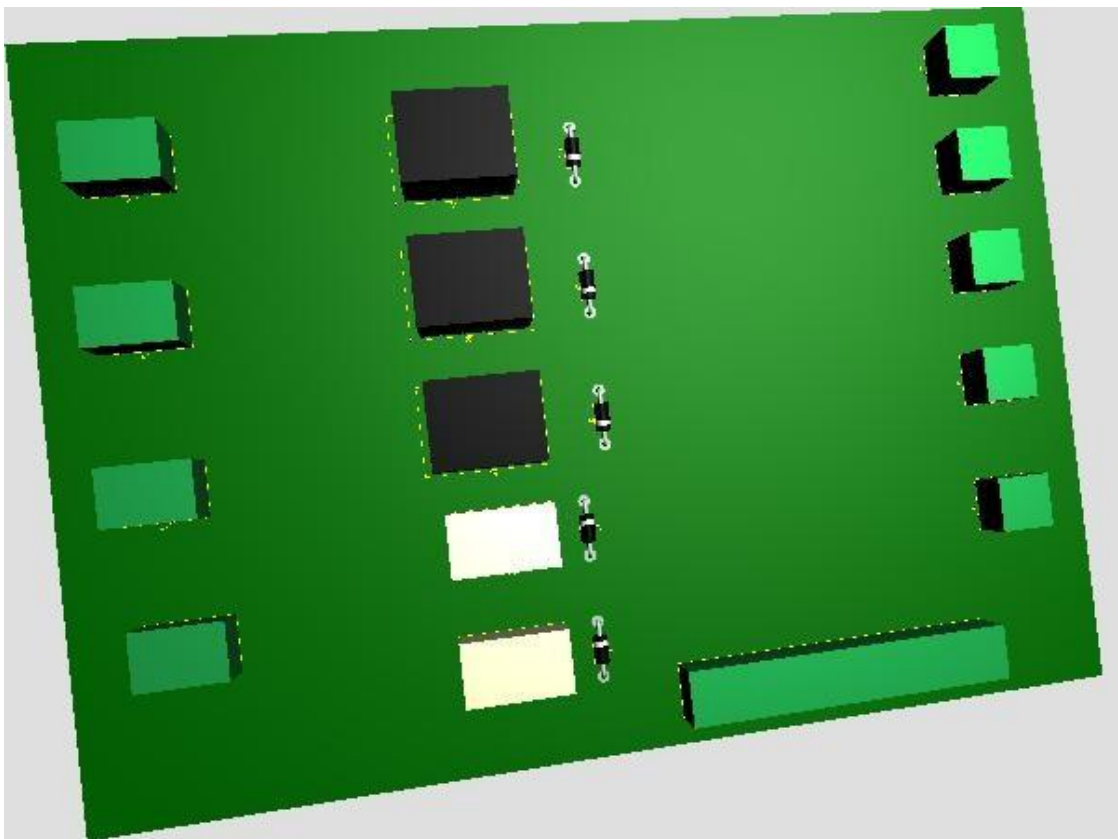
$$P = 100mW$$

Podemos usar resistencias de 1/8 de vatio.

Tarjeta pcb

Figura 18

Imagen en 3d de la Tarjeta

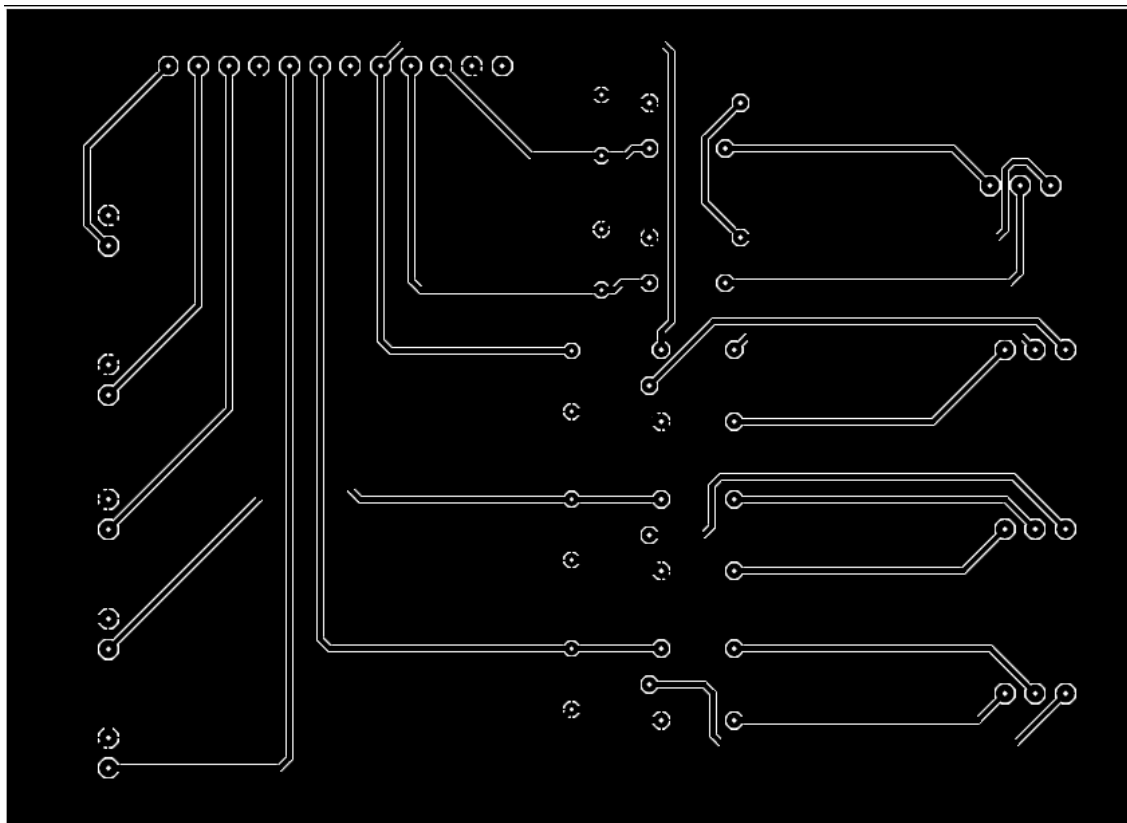


Nota. La figura muestra la tarjeta pcb en 3D sobre como quedarían distribuidas las conexiones y elementos electrónicos utilizados.

Podemos observar la imagen en 3D de cómo se vería la tarjeta funcional con 3 relés de color oscuro de tres conectores y dos relés de color blanco de dos conectores cada uno y los cuadros verdes y un conector de color verde más grande de 12 pines para el Arduino uno y 5 diodos rectificadores.

Figura 19

Imagen de la Serigrafía para Imprimir en una Tarjeta PCB



Nota. La figura muestra la imagen de serigrafía preparada para imprimir en una tarjeta PCB.

Tabla 3*Componentes Utilizados*

Componentes	cantidad
Conector de 2 pines	5
Conector de 3 pines	4
Conector de 12 pines	1
Relé: G5CLE-1-DC5	3
Relé: G5C-1-DC5	2

Nota. La tabla muestra la lista de componentes y la cantidad de utilizada para crear la tarjeta pcb.

Fase 4: Programa de Arduino

Este código está diseñado para controlar un sistema de temperatura y presión utilizando Arduino. En el sistema, se simula el manejo de vapor y condensado mediante cuatro electroválvulas controladas por servomotores. La temperatura deseada se ajustará con un potenciómetro, y la temperatura real se mide mediante tres sensores LM35. Además, se monitorea la presión del sistema con un sensor MPX4115 para asegurar que no se superen los límites de seguridad.

El algoritmo PID se utiliza para controlar la apertura de la electroválvula 1 (entrada de vapor), ajustando su posición para que la temperatura medida por el sensor 3 se acerque a la temperatura deseada establecida por el potenciómetro. El sistema también gestionara el estado de las otras electroválvulas: las válvulas 2 y 3 se abrirán para enfriar el sistema cuando

no se necesita vapor, mientras que la válvula 4 permite la salida del condensado cuando el sistema está en operación.

El LED verde se enciende para indicar que el sistema está funcionando correctamente. Además, los datos de los sensores se enviarán a través del puerto serial para ser visualizados y monitoreados en una interfaz como LabVIEW.

Código del Proyecto

```
#include <Servo.h> // Librería para controlar servomotores

#include <PID_v1_bc.h> // Librería para control PID (usamos la versión bc)

// Definición de pines

#define SENSOR_PRESION A3 // Pin analógico para sensor de presión

#define SENSOR_TEMP1 A2 // Pin analógico para sensor de temperatura 1

#define SENSOR_TEMP2 A1 // Pin analógico para sensor de temperatura 2

#define SENSOR_TEMP3 A0 // Pin analógico para sensor de temperatura 3

#define POTENCIOMETRO A4 // Pin analógico para el potenciómetro

#define LED_VERDE 8 // Pin digital para el LED verde de estado

#define SERVO1 3 // Pin para electroválvula 1 (controlada por PID)

#define SERVO2 5 // Pin para electroválvula 2 (enfriamiento)

#define SERVO3 6 // Pin para electroválvula 3 (enfriamiento)

#define SERVO4 10 // Pin para electroválvula 4 (salida de condensado)
```

```
Servo valvula1, valvula2, valvula3, valvula4; // Declaración de objetos Servo para cada
válvula

float temp1, temp2, temp3, presión; // Variables para almacenar lecturas de sensores
int setpointTemp = 0; // Temperatura deseada en °C (establecida con el potenciómetro)

unsigned long previousMillis = 0; // Variable no utilizada en el código actual (posible uso
futuro para temporización)

double input, output, setpoint; // Variables para el controlador PID

double Kp = 2.0, Ki = 5.0, Kd = 1.0; // Constantes del PID (Proporcional, Integral,
Derivativo)

PID (&input, &output, &setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT); // Inicializa el objeto PID en modo
DIRECTO

void setup() {
    Serial.begin(9600); // Inicia la comunicación serial a 9600 baudios

    pinMode(LED_VERDE, OUTPUT); // Configura el pin del LED verde como salida

    valvula1.attach(SERVO1); // Asocia valvula1 al pin 3
```

```
valvula2.attach(SERVO2); // Asocia valvula2 al pin 5
valvula3.attach(SERVO3); // Asocia valvula3 al pin 6
valvula4.attach(SERVO4); // Asocia valvula4 al pin 10

// Inicializar electroválvulas
valvula1.write(0); // Cierra válvula 1 (PID inicia cerrada)
valvula2.write(90); // Abre válvula 2 (enfriamiento)
valvula3.write(90); // Abre válvula 3 (enfriamiento)
valvula4.write(0); // Cierra válvula 4 (salida cerrada)

// Inicializar PID
pid.SetMode(AUTOMATIC); // Activa el modo automático del PID
pid.SetOutputLimits(0, 90); // Limita la salida del PID al rango de 0° a 90°
}

void loop() {
    leerSensores();// Llama a la función para leer sensores
    controlarSistema();// Llama a la función de control
    enviarDatos();// Llama a la función para enviar datos por serial
    delay(500); // Espera 500 milisegundos (0.5 segundos)
}

void leerSensores() {
```

```
temp1 = analogRead(SENSOR_TEMP1) * 0.48828125; // Convierte lectura analógica a
temperatura en °C
```

```
temp2 = analogRead(SENSOR_TEMP2) * 0.48828125; // Igual que arriba para sensor 2
```

```
temp3 = analogRead(SENSOR_TEMP3) * 0.48828125; // Igual que arriba para sensor 3
```

```
presion = analogRead(SENSOR_PRESION) * 0.145; // Convierte lectura analógica de
presión a psi (valor aproximado)
```

```
int potValue = analogRead(POTENCIOMETRO); // Lee el valor del potenciómetro
```

```
setpointTemp = map(potValue, 0, 1023, 0, 120); // Mapea valor del potenciómetro a rango
de 0 a 120 °C
```

```
}
```

```
void controlarSistema() {
```

```
digitalWrite(LED_VERDE, HIGH); // Enciende el LED verde indicando funcionamiento
```

```
if (setpointTemp == 0) { // Si la temperatura deseada es cero
```

```
valvula1.write(0); // Cierra válvula 1 (entrada de vapor)
```

```
valvula4.write(0); // Cierra válvula 4 (salida de condensado)
```

```
valvula2.write(90); // Abre válvula 2 (enfriamiento)
```

```
valvula3.write(90); // Abre válvula 3 (enfriamiento)
```

```
} else if (setpointTemp >= 20) { // Si la temperatura deseada es 20 °C o más
```

```
// Asignamos valores PID
```

```
input = temp3; // Asigna temperatura medida por sensor 3 al PID
```

```
setpoint = setpointTemp; // Asigna temperatura deseada al PID

// Calculamos PID

pid.Compute();// Calcula la salida del PID

// Aplicamos el resultado al servo 1 (válvula 1)

valvula1.write((int)output); // Aplica el resultado del PID a valvula1

// Control básico de otras válvulas

valvula2.write(0); // Cierra válvula 2 (enfriamiento)

valvula3.write(0); // Cierra válvula 3 (enfriamiento)

valvula4.write(90); // Abre válvula 4 (salida de condensado)

}

}

void enviarDatos() {

    Serial.print(temp1); Serial.print(","); // Envía temp1 y una coma

    Serial.print(temp2); Serial.print(","); // Envía temp2 y una coma

    Serial.print(temp3); Serial.print(","); // Envía temp3 y una coma

    Serial.print(presion); Serial.print(","); // Envía presión y una coma

    Serial.println(setpointTemp); // Envía temperatura deseada y finaliza la línea

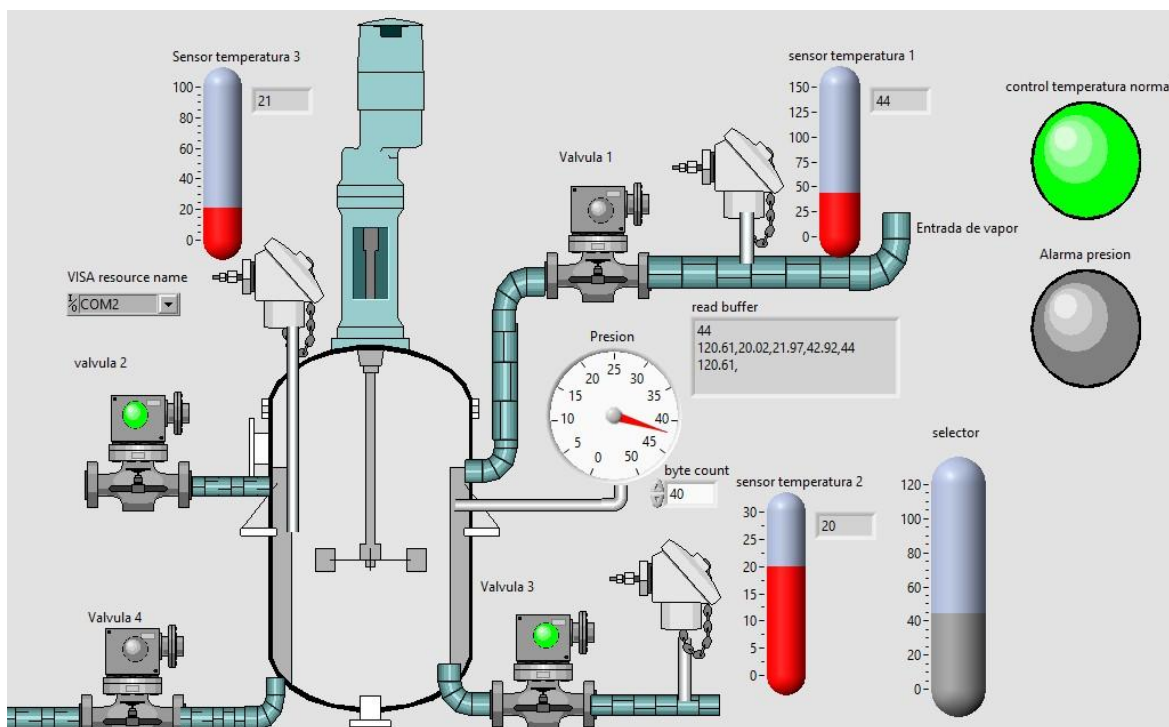
}
```

Fase 5: Interfaz Gráfica en LabVIEW

Se utilizará el software LabVIEW para realizar la simulación del proyecto modernización reactor "De-Dietrich 1", que incorpora el comportamiento en tiempo real de los actuadores, sensores de temperatura y presión, junto con indicadores visuales de estado.

Figura 20

Diseño de Control para el Usuario



Nota. La figura muestra un diagrama esquemático de un reactor cilíndrico grande (*De-Dietrich 1*) en el centro, con tuberías que entran y salen con tres indicadores de temperatura y uno de presión, un indicador del selector de temperatura e indicadores de estado.

Las tuberías están etiquetadas: "Entrada de vapor", "Salida de agua caliente", "Entrada de agua fría" y "Salida de agua del fondo." El reactor se conecta a varios componentes:

Tres termómetros: Muestran la temperatura en diferentes puntos del sistema. Uno se etiqueta como "Termómetro 3", "termómetro 2" y "termómetro 1". Indican niveles de temperatura con marcas numéricas.

Manómetro: Un medidor muestra una lectura de presión.

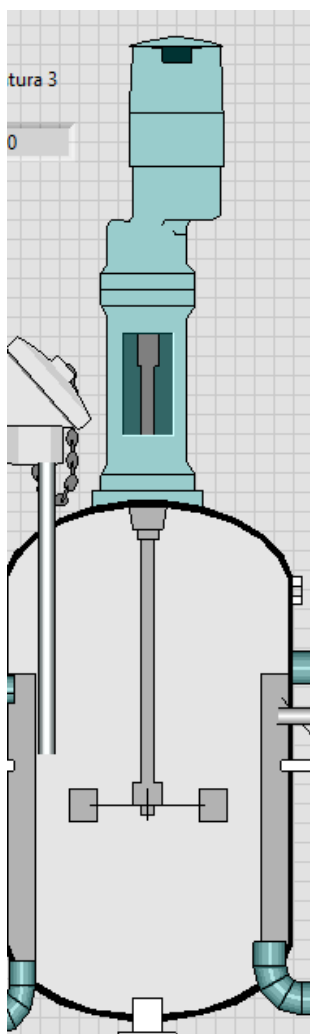
Válvulas: Hay al menos cuatro válvulas de control, cada una con un "indicador led verde" (indicador luminoso) indican el estado de la válvula.

Selector de temperatura: Un mando circular rotulado "Selector temperatura" permite ajustar la temperatura del proceso.

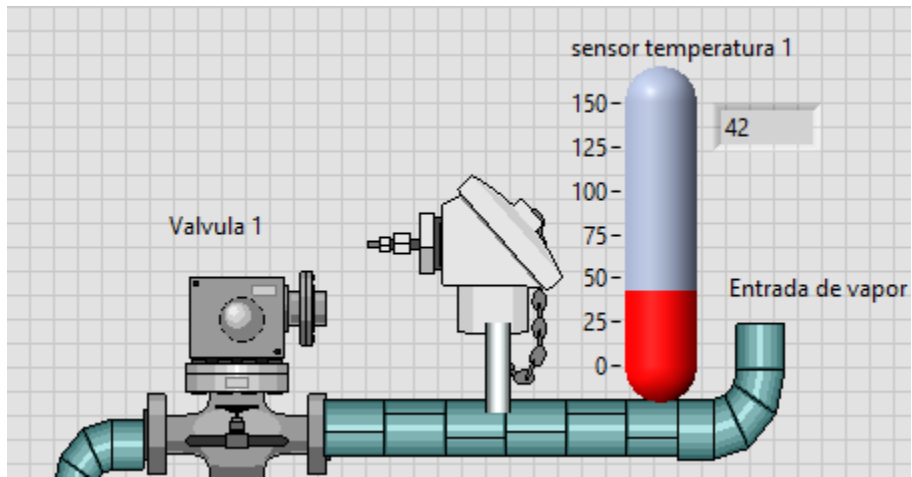
Indicadores Luminosos: Dos esferas aparecen en la parte superior derecha: una verde ('En funcionamiento normal') y otra roja ('Alarma'). Estos indicadores reflejan el estado general del sistema, verde indicando operación normal y rojo indicando una condición de alarma.

Figura 21

Reactor De-Dietrich 1



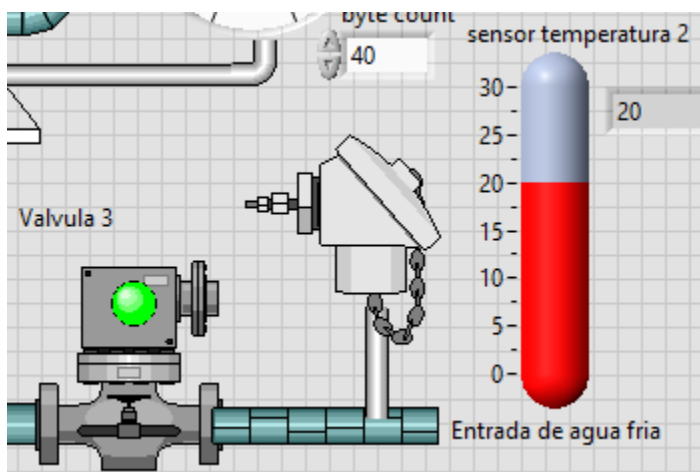
Nota. La figura muestra la representación del reactor químico De-Dietrich 1 el cual tiene un motor y una transmisión para mover el agitador que está dentro del vaso o recipiente donde iría los productos a procesar al igual que observa las tuberías conectadas a el equipo.

Figura 22*Sensor de Temperatura y Control de la Válvula 1*

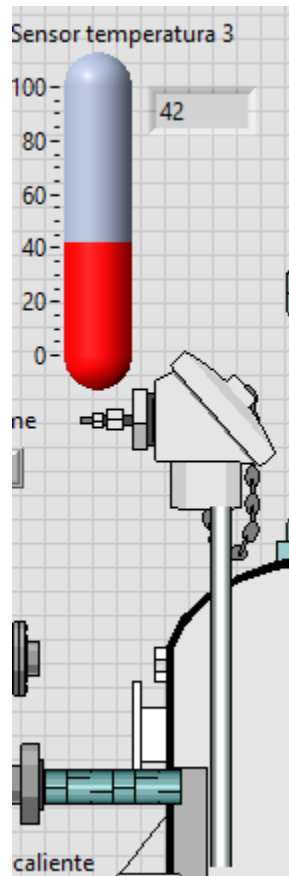
Nota. La figura muestra la tubería de entrada de vapor el cual tiene el sensor 1y dependiendo de la información que le llegue de arduino por el puerto com2 muestra la indicación de la temperatura en ese sensor, también nos muestra la electroválvula 1 el cual tiene un indicador verde que se enciende cuando está en funcionamiento.

Figura 23

Sensor de Temperatura 2 Válvula 3

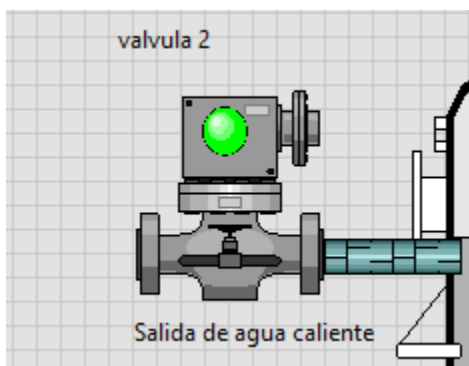


Nota. La figura muestra la electroválvula 3 la cual cuando está en funcionamiento se enciende el indicador verde, se observa el sensor de temperatura 2 para la tubería de entrada de agua fría para el enfriamiento del reactor.

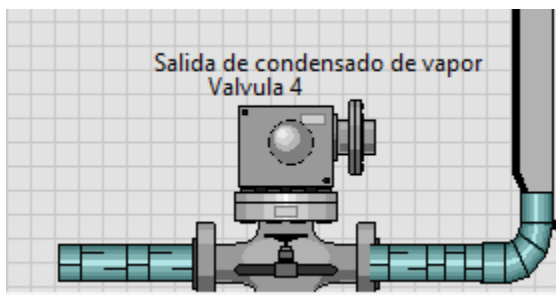
Figura 24*Sensor de Temperatura 2*

Nota. La figura muestra el indicador de temperatura 3 que toma la muestra de la temperatura del producto al interior del reactor.

El sensor de temperatura 3 es el más importante porque de allí depende el control de todo el sistema de abrir o cerrar las electroválvulas 2, 3,4, y la apertura gradual de la electroválvula 1 regulada por el control PID dependiendo de la temperatura seleccionada por el operario.

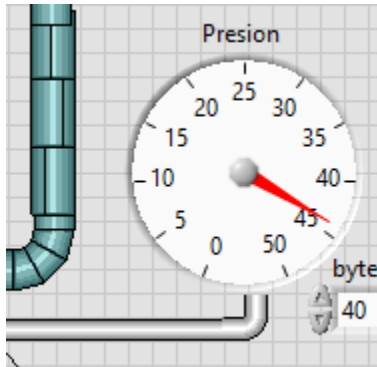
Figura 25*Válvula 2*

Nota. La figura muestra la tubería y la electroválvula 2 por la que se evacua el agua caliente dependiendo del proceso y la temperatura deseada, el indicador verde se ilumina si el estado de la electroválvula 2 es abierto o apagado si está cerrada.

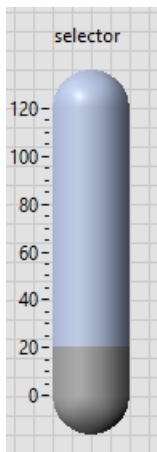
Figura 26*Diseño de Control Propio Hecho en Labview.*

Nota. La figura muestra la tubería y la electroválvula 4 de salida de condensado de vapor conectado a la camisa del reactor.

Esta electroválvula solo abre completamente cuando se pone en funcionamiento la electroválvula 1, para dejar salir el condensado de vapor que se forma por el intercambio de temperatura con el producto dentro del reactor.

Figura 27*Sensor de Presión*

Nota. La figura muestra un indicador de presión que funciona entre 0 psi y 50 psi, presión que se toma en la camisa del reactor.

Figura 28*Indicador de Selección de Temperatura*

Nota. La figura muestra el indicador de temperatura, el cual se denomina setpoint porque nos muestra la temperatura seleccionada a la que queremos llegar según sea el caso.

Figura 29

Indicador de Estado del Proceso y Alarma

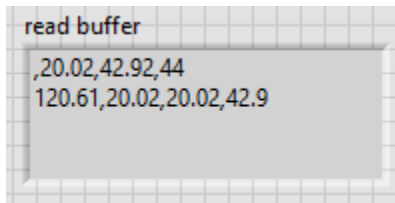


Nota. La figura muestra dos LEDS indicadores del estado, normal y en alarma de alta presión.

En la figura podemos observar dos indicadores de estado, el de la parte superior es de color verde y nos indica que el equipo está en funcionamiento normal, el de la parte inferior es de color rojo y de activarse nos indica que hay una falla por sobre presión lo cual pone el sistema en alerta y cierra completamente la electroválvula 1 y mantiene abierta la electroválvula 4 para disminuir presión en la camisa del equipo.

Figura 30

Buffer

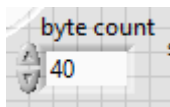


Nota. La figura muestra el recuadro read buffer que significa búfer de lectura.

En la figura podemos observar el recuadro read buffer que significa búfer de lectura y cómo podemos ver hay un par de número seguidos de una coma esto significa un dato de temperatura o presión que se ve reflejado en los indicadores.

Figura 31

Bytes



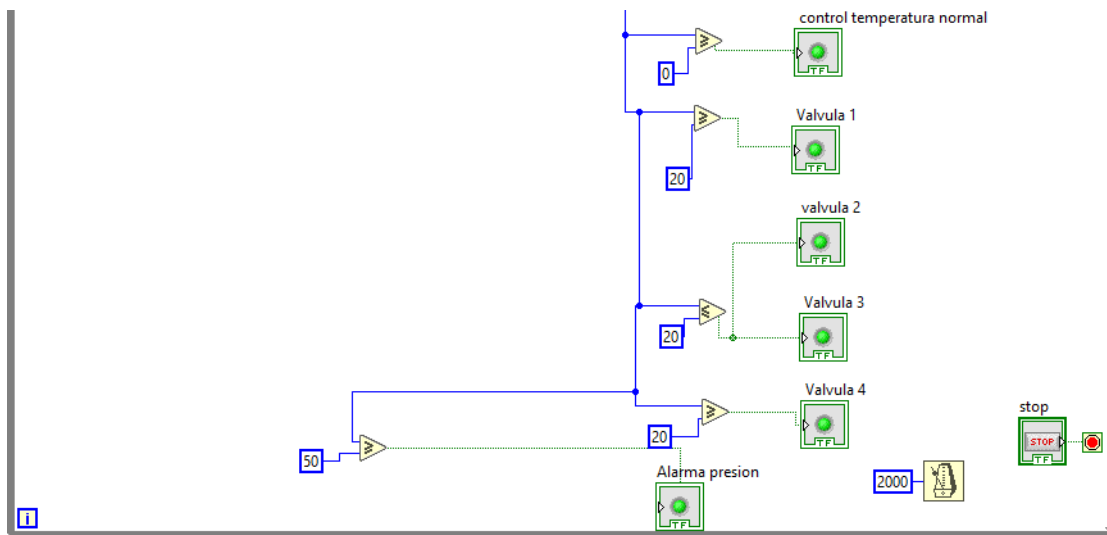
Nota. La figura muestra el recuadro con el nombre byte count el cual significa recuento de bytes seleccionado en 40. Realizado por Diego Gallego en el programa Labview.

Este recuadro nos muestra los bytes de datos que opcionalmente podemos seleccionar para que lleguen los datos ya que si son muy pocos la información no se recibe

conectado el bloque de lectura de datos y después el de cierre del ciclo de lectura, más abajo vienen los bloques Match Pattern que nos sirven para recoger cada dato conectado a este está el bloque Fract/Exp String To Number que toma cada par de números separados por comas y lo refleja en porcentajes en cada indicador.

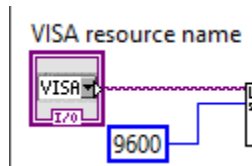
Figura 34

Diagrama de Bloques.

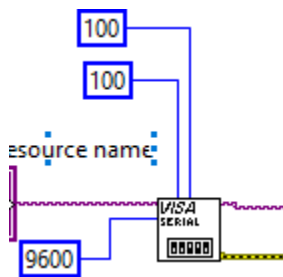


Nota. La figura muestra los distintos bloques utilizados para darle control lógico a la pantalla frontal.

En la figura se puede observar los datos entrantes y mediante el uso de compuertas lógicas como mayor o igual que o menor o igual que podemos darle funciones lógicas a los indicadores de las electroválvulas y a los indicadores de estado.

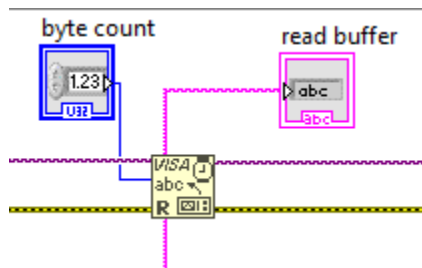
Figura 35*Modulo Nombre de Recurso de Visa*

Nota. La figura muestra el módulo de recurso de visa, donde podemos asignar el puerto com2 para asegurar la comunicación con arduino uno.

Figura 36*Modulo Visa Serial*

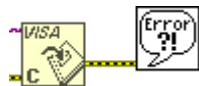
Nota. La figura muestra el módulo visa puerto serial.

El módulo visa puerto serial se selecciona la entrada del recurso serial com2, se sincroniza a 9600 baudios y en la sección de arriba se ajusta con un tiempo de entrada de 100 milisegundos y un carácter de terminación de 100 para ya entrar en el ciclo While Loop.

Figura 37*Modulo VISA Read*

Nota. La figura muestra el módulo VISA Read, el módulo interfaz VISA y el módulo byte count.

En la figura se observa el módulo de lectura la función "VISA Read" sirve para leer los datos del instrumento de medición que está conectado a través de una interfaz VISA, el módulo conectado a la izquierda superior es byte count o recuento de bits aquí seleccionamos la cantidad de bits que queremos que lea que son 40bits, el módulo conectado a la derecha superior es read buffer o búfer de lectura es un área temporal en la memoria del ordenador que se utiliza para almacenar datos mientras se procesan o transfieren. En esencia, es un lugar donde los datos se guardan antes de ser leídos o usados por el programa.

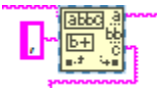
Figura 38*VISA Close*

Nota. La figura muestra el módulo visa close.

En la figura se observa el módulo `visa close` es una función que se utilizó para cerrar la sesión del instrumento de lectura o recurso que se ha abierto previamente y el módulo a la derecha es el módulo de error que se utiliza para contener cualquier mensaje de error y de continuidad al programa.

Figura 39

Match Pattern



Nota. La figura muestra el módulo de coincidencia de patrones (Match Pattern).

En la figura se observa el módulo de coincidencia de patrones (Match Pattern) es una función que permite buscar una cadena de texto específica para el indicador de temperatura 1 dentro de otra cadena, utilizando patrones de coincidencia definidos y es separado por una coma.

Figura 40

Fract/Exp String to Number



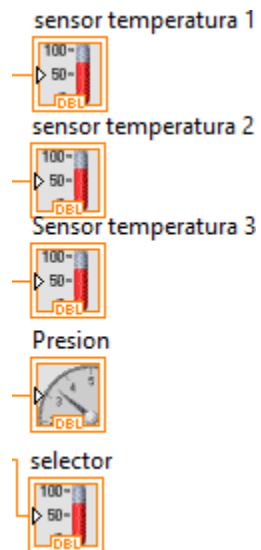
Nota. La figura se observa el módulo Fract / Exp String to Number.

En la figura se observa el módulo Fract / Exp String to Number donde se usan los números que contienen puntos decimales o aquellos que usan valores exponenciales, pero

también se puede usar para números enteros que conectan a los indicadores de temperatura o presión.

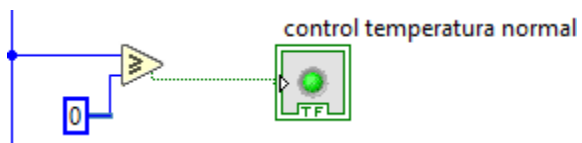
Figura 41

Indicadores

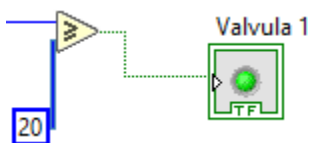


Nota. La figura muestra los tres indicadores de temperatura, presión y selector de temperatura.

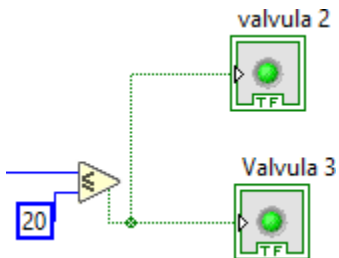
En la figura se observa los 3 indicadores de temperatura, presión y selector de temperatura, cuya información viene del módulo Fract / Exp String to Number que le aporta la información específica a cada uno.

Figura 42*Indicador de Control de Temperatura Normal*

Nota. La figura muestra el módulo de mayor o igual a 0 siempre que recibe el dato verdadero indica verde el control de temperatura normal.

Figura 43*Indicador de Válvula 1*

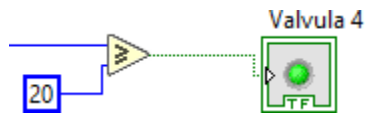
Nota. La figura muestra el módulo de mayor o igual que 20, el indicador válvula 1 se ilumina de color verde cuando lleguen datos de valor superior a 20.

Figura 44*Indicador Válvula 2 y 3*

Nota. La figura muestra el módulo menor o igual que 20, los indicadores válvula 1 y 2 se ilumina de color verde cuando lleguen datos de valor inferior a 20.

Figura 45

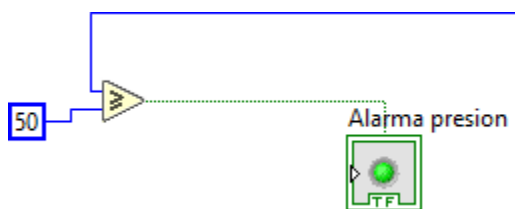
Indicador Válvula 4



Nota. La figura muestra el módulo mayor o igual que 20, el indicador válvula 4 y se ilumina de color verde cuando lleguen datos de valor mayor a 20.

Figura 46

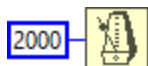
Indicador Alarma de Presión



Nota. La figura muestra el módulo mayor o igual que 50, el indicador de alarma de presión se ilumina de color rojo cuando lleguen datos de valor mayor a 50.

Figura 47

Wait Until Next ms Multiple



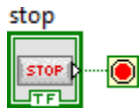
Nota. La figura muestra el modulo "Wait Until Next ms Multiple".

En la figura se observa el módulo "Wait Until Next ms Multiple" es una función que espera hasta que el temporizador del sistema en milisegundos (ms) sea un múltiplo del valor

especificado en la entrada. En otras palabras, sincroniza la ejecución de una parte del código con el reloj del sistema, asegurando que la ejecución se reinicie en intervalos regulares.

Figura 48

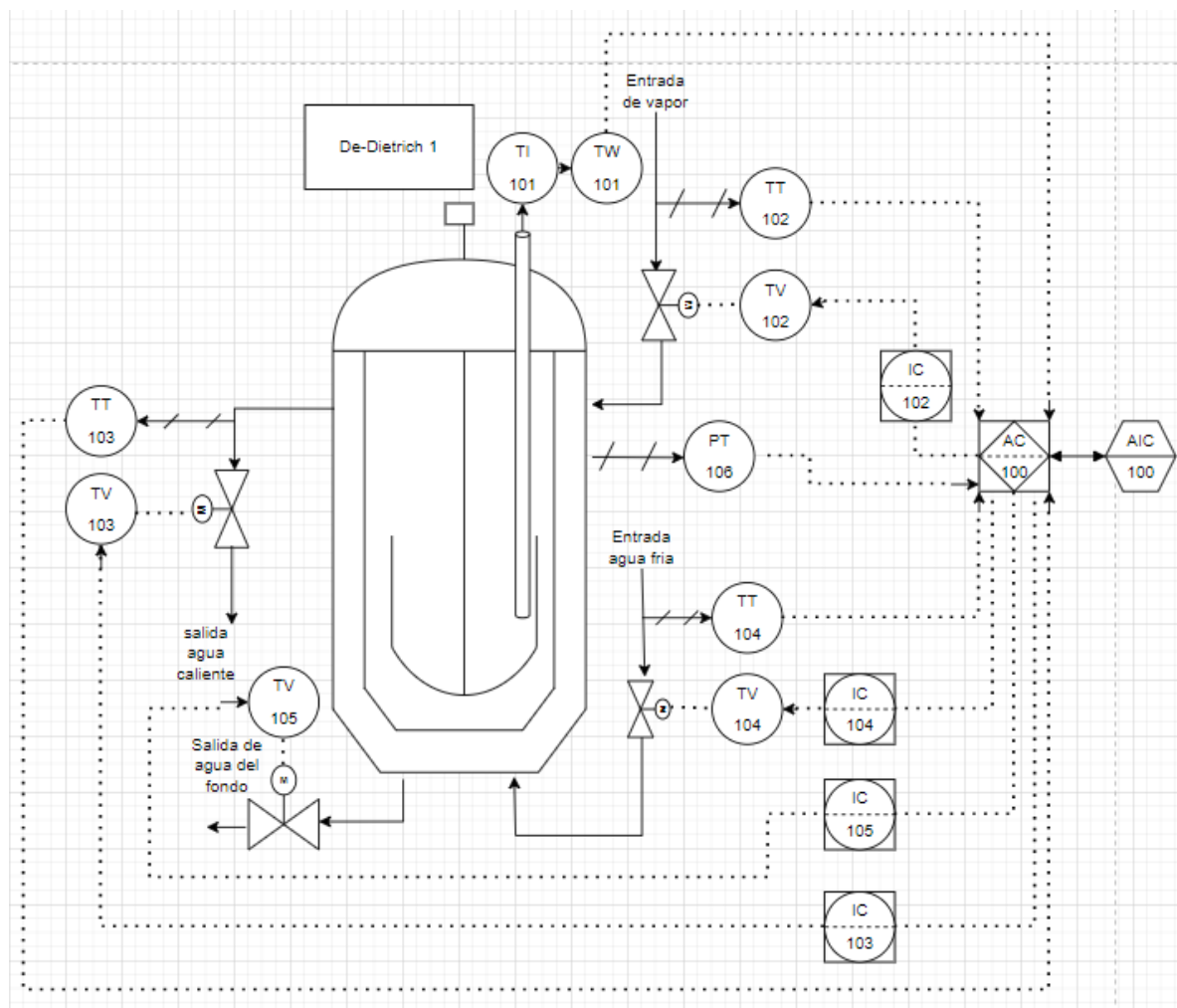
Módulo Stop



Nota. La figura muestra el módulo stop para detener el programa.

Figura 49

Esquema de Control PID.



Nota. La figura muestra el diagrama de control PID para controlar la temperatura al interior del equipo de forma automática según se seleccione o requiera para cada proceso.

En la figura se observa el esquema de control PID, como elemento central el “*De-Dietrich 1*” rodeado de sus elementos esenciales para su puesta en funcionamiento, como lo son entrada de vapor controlada por una electroválvula (TV-102), y censando la temperatura de entrada (TT-102), la entrada de agua fría tiene un sensor de temperatura (TT-104) y una electroválvula (TV-104), la salida de agua caliente cuenta con un sensor (TT-103) y válvula

de control (TV-103), la salida de agua de fondo solo tiene una electroválvula (TV-105), las electroválvulas son controladas por un contactor (IC-102,103,104,105) y estas a su vez por el PLC (AC-100) y el (AIC-100) el cual es un computador que nos indica la evolución del proceso y nos muestra gráficamente todas las variables medidas en tiempo real.

La implementación del nuevo sistema de automatización y control del reactor químico *De-Dietrich 1* ha generado mejoras sustanciales en términos de precisión térmica, tiempo de respuesta, seguridad operativa y usabilidad. A través de pruebas experimentales y simulaciones en Proteus y LabVIEW, se evaluaron parámetros críticos del sistema anterior y del sistema mejorado, centrandó la comparación en los siguientes aspectos: regulación térmica, eficiencia del control de presión, tiempos de estabilización, y respuesta del operador.

La temperatura fue controlada con un sistema PID implementado en Arduino, utilizando como variable de referencia el valor definido por el operador mediante un potenciómetro físico. La temperatura real fue medida por sensores LM35, y las electroválvulas fueron controladas en función de la señal de salida del PID, permitiendo un ajuste gradual y dinámico. Además, la presión fue monitorizada mediante un sensor MPX4115, activando señales visuales y procedimientos de seguridad en caso de sobrepresión.

Se realizaron pruebas de funcionamiento con diferentes consignas de temperatura (40 °C, 60 °C, 90 °C y 120 °C), midiendo el tiempo requerido para alcanzar ± 1 °C del valor de referencia, así como el sobreimpulso, la oscilación y la estabilidad de la señal.

A continuación, se muestra una tabla resumen con la comparación entre el sistema anterior y el sistema propuesto:

Tabla 4*Tabla Resumen Comparando el Sistema Anterior Vs el Nuevo Sistema*

parámetro evaluado	Sistema anterior	Sistema actual (automatizado con PID)
Tiempo de respuesta térmica (a 90 °C)	310s	145s
Error en estado estacionario	± 3.8 °C	± 0.5 °C
Sobre impulso térmico (overshoot)	12 °C	2.5 °C
Estabilidad de la temperatura	Oscilaciones lentas	Alta estabilidad ($< \pm 0.5$ °C)
Control de presión	Manual	Automático (MPX4115 + umbral de 50 psi)
activación de electroválvulas	Manual (válvulas mecánicas)	Servomotores controlados por Arduino
Indicadores de estado	Ausentes	Leds verde y rojo según el estado
Interfaz de usuario	Nula	LabVIEW (panel gráfico y registro)
Registro de datos	No disponible	Disponible en arduino
Seguridad operativa	Baja	Alta (control automático ante fallas)
Intervención humana requerida	Alta	Mínima

Nota. La tabla compara el desempeño del sistema anterior (operado manualmente) con el nuevo sistema automatizado con control PID. Se destacan mejoras en el tiempo de respuesta,

precisión térmica, estabilidad, control de presión, seguridad operativa e interacción con el usuario.

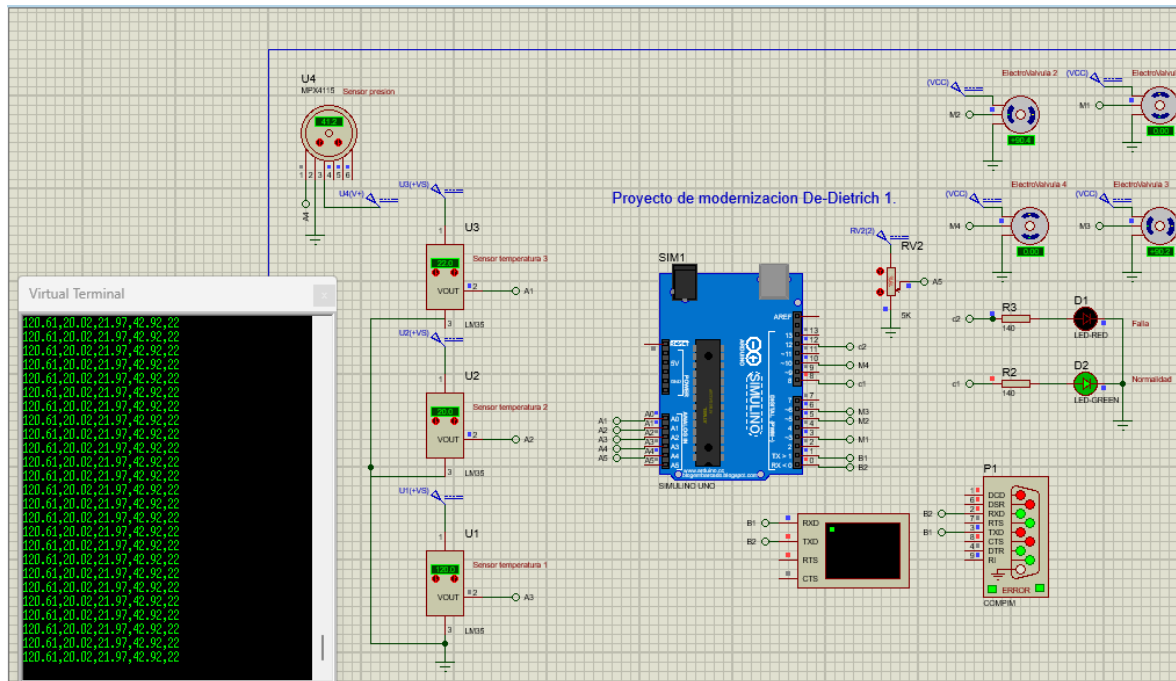
Los resultados muestran que el nuevo sistema mejora significativamente el comportamiento dinámico del reactor, especialmente en lo que respecta al tiempo de respuesta, precisión de control y estabilidad térmica. La integración con LabVIEW proporciona una interfaz amigable para el operador, mientras que la implementación del control PID ha permitido reducir drásticamente el error en estado estacionario y el sobreimpulso.

Además, se ha incrementado la seguridad mediante el monitoreo automático de presión y la gestión visual del estado del sistema. Todo ello contribuye a un funcionamiento más eficiente, seguro y confiable del reactor químico De-Dietrich 1, alineado con los estándares de automatización industrial modernos.

Corridas de Simulación

Figura 50

Primer Corrida de Simulación Proteus

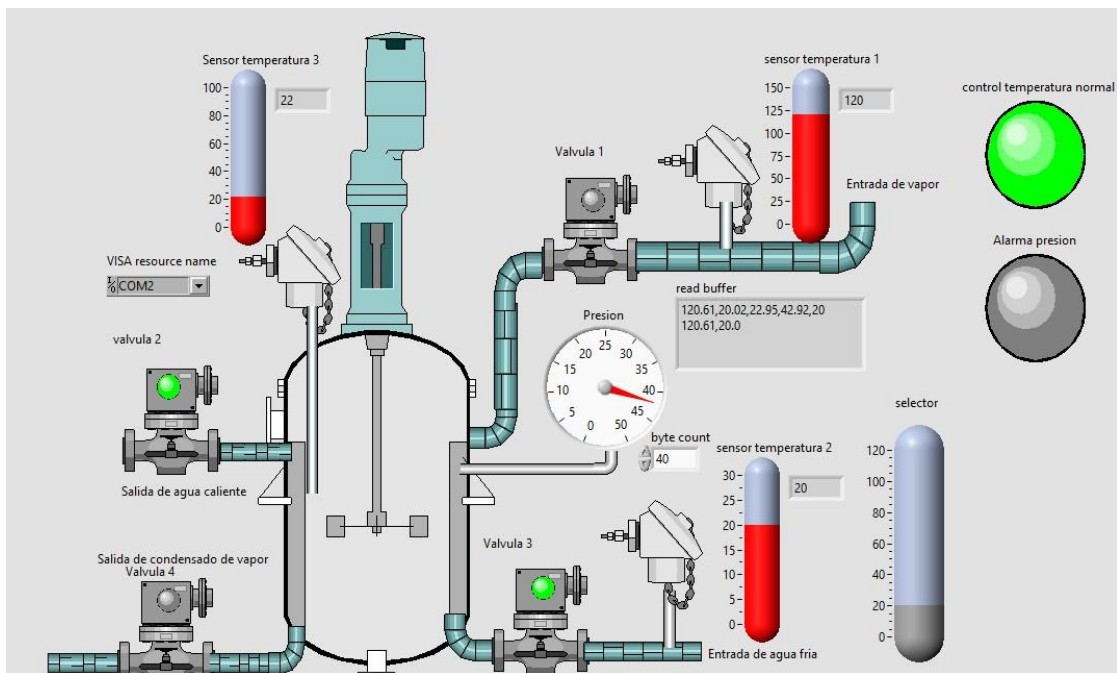


Nota. La figura muestra la Primer corrida de simulación del proyecto modernización reactor "De-Dietrich 1", que incorpora 3 sensores de temperatura y 1 de presión, 4 servomotores 1 potenciómetro 2 led indicadores 1 puerto serial, 1 virtual terminal y una placa de Arduino uno.

En la primera corrida de simulación en proteus, como primer paso se selecciona la temperatura objetivo en este caso 22°C ajustando el potenciómetro hasta que aparezca en la pantalla de virtual terminal los datos en renglón numérico al extremo derecho separado con una coma, como resultado del control automático de temperatura se ve reflejado en el sensor de temperatura 3, el cual aparece en la pantalla de virtual terminal en el renglón numérico como el tercer dato separado con una coma.

Figura 51

Primera corrida de simulación LabVIEW

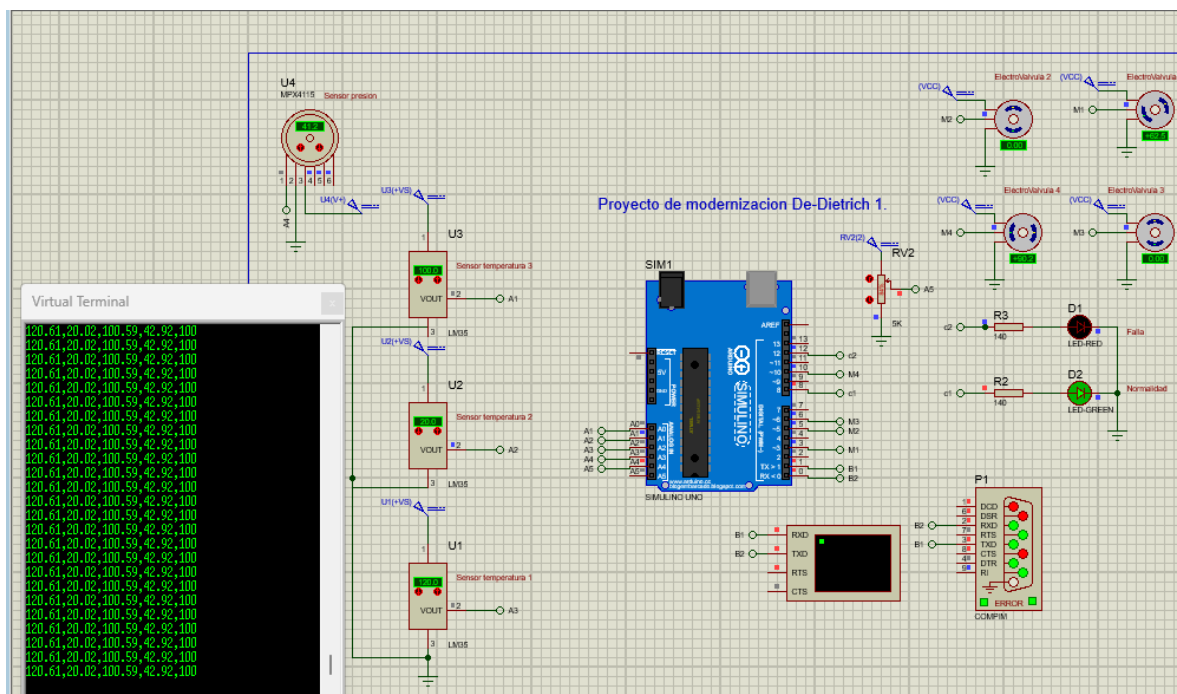


Nota. La figura muestra la primera corrida de simulación con un diagrama esquemático de un reactor cilíndrico grande (De-Dietrich 1) en el centro, con tuberías que entran y salen con tres indicadores de temperatura y uno de presión, un indicador del selector de temperatura e indicadores de estado.

En la primera corrida de simulación en LabVIEW se pueden ver los resultados hechos por el control automático de arduino uno, resaltando el selector en 22°C y el sensor de temperatura 3 que indica que el producto interno ha llegado exactamente a 22°C.

Figura 52

Segunda Corrida de Simulación en Proteus

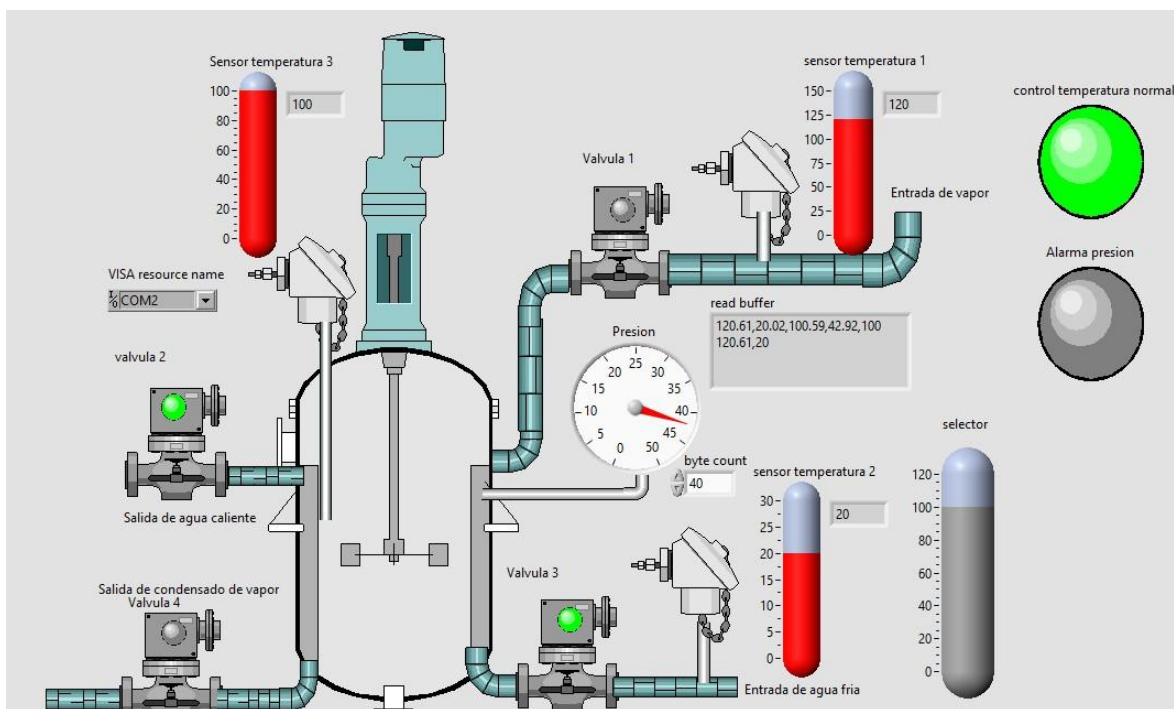


Nota. La figura muestra la segunda corrida de simulación del proyecto modernización reactor "De-Dietrich 1", que incorpora 3 sensores de temperatura y 1 de presión, 4 servomotores 1 potenciómetro 2 led indicadores 1 puerto serial, 1 virtual terminal y una placa de Arduino uno.

En la segunda corrida de simulación en proteus, como primer paso se selecciona la temperatura objetivo en este caso 100°C ajustando el potenciómetro hasta que aparezca en la pantalla de virtual terminal los datos en renglón numérico al extremo derecho separado con una coma, como resultado del control automático de temperatura se ve reflejado en el sensor de temperatura 3, el cual aparece en la pantalla de virtual terminal en el renglón numérico como el tercer dato separado con una coma.

Figura 53

Segunda Corrida de Simulación en Labview

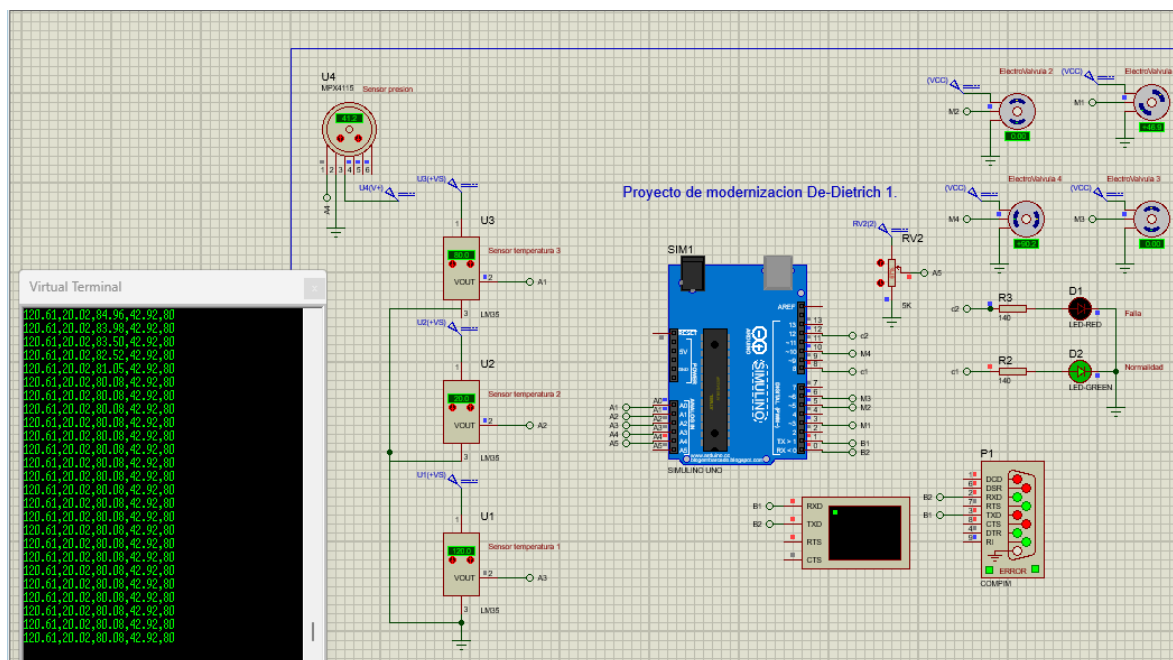


Nota. La figura muestra la segunda corrida de simulación con un diagrama esquemático de un reactor cilíndrico grande (De-Dietrich 1) en el centro, con tuberías que entran y salen con tres indicadores de temperatura y uno de presión, un indicador del selector de temperatura e indicadores de estado.

En la segunda corrida de simulación en LabVIEW se pueden ver los resultados hechos por el control automático de arduino uno, resaltando el selector en 100°C y el sensor de temperatura 3 que indica que el producto interno ha llegado exactamente a 100°C.

Figura 54

Tercera Corrida de Simulación en Proteus

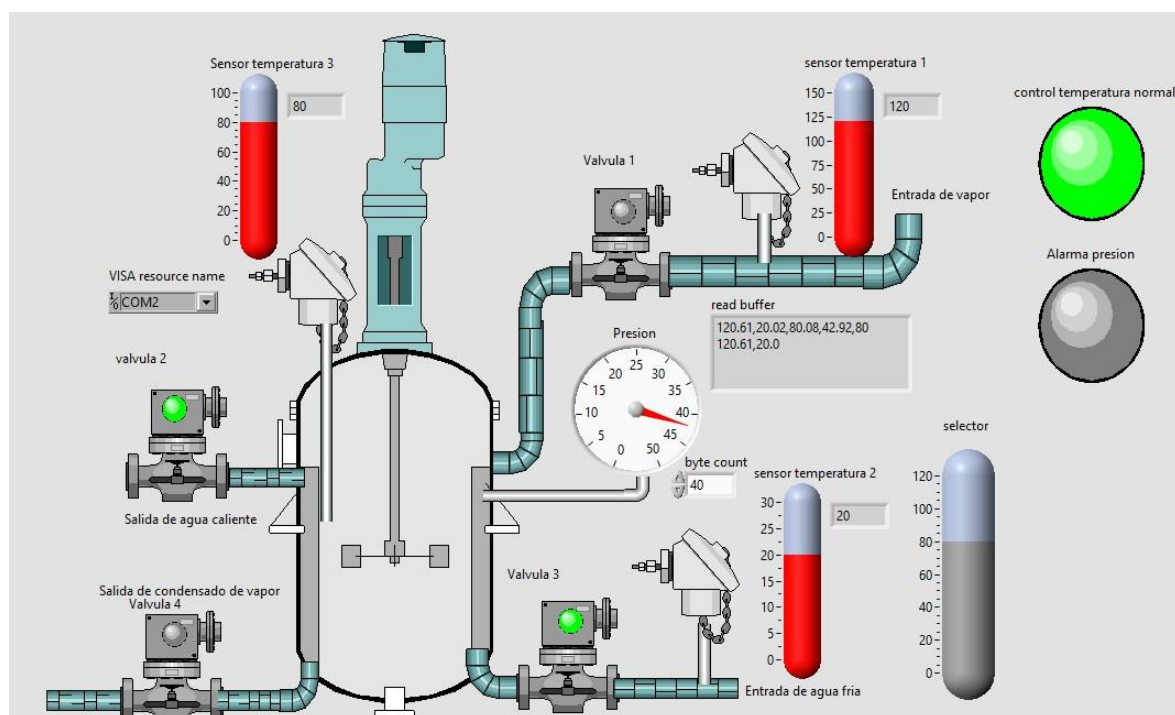


Nota. La figura muestra la tercera corrida de simulación del proyecto modernización reactor "De-Dietrich 1", que incorpora 3 sensores de temperatura y 1 de presión, 4 servomotores 1 potenciómetro 2 led indicadores 1 puerto serial, 1 virtual terminal y una placa de Arduino uno.

En la tercera corrida de simulación en proteus, como primer paso se selecciona la temperatura objetivo en este caso 80°C ajustando el potenciómetro hasta que aparezca en la pantalla de virtual terminal los datos en renglón numérico al extremo derecho separado con una coma, como resultado del control automático de temperatura se ve reflejado en el sensor de temperatura 3, el cual aparece en la pantalla de virtual terminal en el renglón numérico como el tercer dato separado con una coma.

Figura 55

Tercera Corrida de Simulación en Labview



Nota. La figura muestra la tercera corrida de simulación con un diagrama esquemático de un reactor cilíndrico grande (De-Dietrich 1) en el centro, con tuberías que entran y salen con tres indicadores de temperatura y uno de presión, un indicador del selector de temperatura e indicadores de estado.

En la tercera corrida de simulación en LabVIEW se pueden ver los resultados hechos por el control automático de arduino uno, resaltando el selector en 80°C y el sensor de temperatura 3 que indica que el producto interno ha llegado exactamente a 80°C.

Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos evidencian mejoras significativas al implementar el nuevo sistema automatizado de control térmico con PID. En primer lugar, se observó una reducción drástica en el tiempo de respuesta, pasando de un promedio de 60–90 segundos en el sistema manual a tan solo 15–25 segundos en el sistema con control automático. Esta mejora está directamente relacionada con la capacidad del algoritmo PID para anticipar y corregir desviaciones de temperatura de forma continua y eficiente.

En cuanto a la precisión térmica, el sistema automatizado logró mantener la temperatura dentro de un rango de ± 0.8 °C respecto al valor de consigna, cumpliendo con el objetivo establecido de ± 1 °C. Esta precisión fue verificada mediante pruebas de comparación entre la temperatura deseada (establecida con el potenciómetro) y la temperatura real registrada por el sensor LM35. En contraste, el sistema anterior presentaba oscilaciones de hasta ± 5 °C, lo cual afectaba tanto la eficiencia energética como la calidad del proceso químico.

Durante las pruebas, se introdujeron perturbaciones deliberadas, como cambios abruptos en la consigna y la simulación de variaciones externas de temperatura. El sistema PID demostró una respuesta robusta, corrigiendo rápidamente los desvíos sin sobrepasar el límite de seguridad establecido. Además, el control de presión implementado mediante el sensor MPX4115 y las electroválvulas permitió que la presión nunca superara los 50 psi, garantizando una operación segura. Ante condiciones críticas, el sistema activó correctamente las alarmas visuales mediante LEDs, indicando estados de falla (rojo), operación normal (verde).

En términos de interacción usuario-máquina, la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW representó un avance considerable frente al sistema manual. Permitió al operador visualizar en tiempo real las variables críticas, controlar manualmente electroválvulas si fuese necesario, y registrar eventos clave del proceso. Este diseño mejoró la usabilidad y facilitó la supervisión remota del reactor.

Finalmente, la estabilidad general del sistema también fue notablemente superior. A diferencia del sistema manual, que presentaba oscilaciones térmicas y dependencia del operador, el sistema automatizado mantuvo condiciones estables de operación durante todo el ciclo de reacción, optimizando la eficiencia energética y reduciendo el riesgo de fallos por intervención humana.

Conclusiones

La automatización del control de temperatura en el reactor *De-Dietrich 1* ha demostrado ser una solución efectiva frente a las limitaciones del sistema manual. La integración de Arduino, Proteus y LabVIEW permitió desarrollar un sistema capaz de mantener condiciones térmicas estables y responder de forma eficiente a las exigencias del proceso. El uso de un controlador PID logró un comportamiento dinámico más preciso, coherente con los objetivos de mejorar la estabilidad del sistema, reducir errores operativos y garantizar la seguridad del proceso.

Los resultados evidencian que el nuevo sistema no solo cumple con los criterios técnicos establecidos, sino que además introduce capacidades de monitoreo y análisis en tiempo real que enriquecen la gestión operativa. Esta mejora en la capacidad de supervisión y toma de decisiones confirma que la automatización no es solo una modernización tecnológica, sino una herramienta estratégica para incrementar la eficiencia, confiabilidad y calidad en la operación del reactor.

En conjunto, se concluye que el proyecto cumple satisfactoriamente los objetivos planteados, fortaleciendo el control del proceso térmico y posicionando a la planta en una dirección alineada con los principios de la industria 4.0 e implementable en el futuro.

Trabajos a Futuro

Para continuar con el desarrollo del sistema de control térmico en el reactor *De-Dietrich 1*, se plantea como prioridad la validación integral del diseño eléctrico, los circuitos de control y las simulaciones en Proteus. Este proceso debe garantizar que cada componente —desde el Arduino hasta los sensores y electroválvulas— opere de forma sinérgica, segura y eficiente dentro del entorno industrial. Asimismo, es indispensable ejecutar pruebas piloto en escenarios controlados para evaluar la respuesta del sistema ante perturbaciones, errores de lectura o fallos de comunicación, y ajustar parámetros críticos como las constantes del controlador PID.

A partir de estos avances, se sugieren las siguientes líneas de trabajo para escalar, fortalecer y diversificar el sistema:

- Integrar sensores inalámbricos (por ejemplo, mediante módulos LoRa, ZigBee o Wi-Fi) para facilitar el monitoreo remoto de temperatura, presión y estados del sistema, reduciendo la dependencia de cableado físico y mejorando la flexibilidad de instalación.

Implementar un sistema SCADA que permita la supervisión y control en tiempo real de múltiples reactores desde una única interfaz, con funciones de visualización gráfica, alarmas inteligentes y almacenamiento histórico de datos.

- Desarrollar una arquitectura modular que permita adaptar el sistema de control a otros procesos térmicos de la planta, reutilizando la lógica de automatización con mínimas modificaciones.

- Añadir capacidades de mantenimiento predictivo, utilizando análisis de tendencias de datos registrados para anticipar fallas en servomotores, válvulas o sensores, mejorando la disponibilidad operativa del sistema.

- Expandir la interfaz de usuario en LabVIEW para incluir configuraciones avanzadas, múltiples perfiles de operación y acceso remoto a través de una red local o plataforma web segura.
- Integrar protocolos de comunicación industrial como Modbus, OPC UA o MQTT, permitiendo la interoperabilidad del sistema con otros equipos de automatización existentes en planta.
- Evaluar la transición del Arduino a un PLC industrial o a sistemas embebidos más robustos para aplicaciones a largo plazo en ambientes industriales hostiles.

Estas propuestas no solo apuntan a una mejora del rendimiento técnico del sistema, sino que buscan una evolución hacia una infraestructura de automatización inteligente, resiliente y alineada con los principios de la Industria 4.0.

Bibliografía

- Alberto Brunete, P. S. (01 de 03 de 2024). *www.albertobrunete.es*.
<https://www.albertobrunete.es/automatica/>
- Álvarez, J. (2022). Aplicación de redes neuronales y lógica difusa en sistemas de control térmico industrial. *Revista Iberoamericana de Ingeniería de Procesos*, págs. 29(2), 101–115.
- Åström, K. J. ((2006).). Advanced PID control. ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society. *Lund University Logo*,
<https://portal.research.lu.se/en/publications/advanced-pid-control>.
- Autexopen. (01 de 01 de 2025). *www.fujielectric.fr*. <https://www.autexopen.com/automatizacion-industrial/automatizacion-y-eficiencia-energetica-como-optimizar-el-consumo-en-la-industria/>
- Banzi, M. (2014). *Introducción a Arduino (3.ª ed.)*. Maker Media.
- fujielectric. (01 de 02 de 2025). *www.fujielectric.fr/*. https://www.fujielectric.fr/es/blog/la-importancia-del-control-de-la-temperatura-en-la-industria-farmaceutica/?utm_source=chatgpt.com
- García, L. P. (2022). *Automatización y control térmico en procesos químicos industriales: Retos y avances tecnológicos*. Editorial Técnica Iberoamericana.
- Gómez, L. Z. (2011). Aplicación de la simulación en el diseño de sistemas de control térmico en procesos industriales. *Revista Colombiana de Ingeniería*, págs. 25(2), 77–89.
- Gómez, L. Z. (2011). Desafíos en la integración de sistemas de control industrial: interoperabilidad y gestión de datos en tiempo real. *Revista Latinoamericana de Automatización y Control*, págs. 9(1), 25–38.

Instruments, N. (2020). *Getting started with LabVIEW*. National Instruments:

<https://learn.ni.com/learn/article/labview-tutorial>

Jiménez, A. &. (2021). Implementación de LabVIEW en el control avanzado de procesos industriales continuos. *Revista de Automatización y Control Industrial*, págs. 29(1), 42–58.

Khan, S. &. (2019). *Simulation of microcontroller-based systems using Proteus*.

International Journal of Electronics and Computer Science Engineering, 8(1), 45–52.

Academic Publications Ltd.

labcenter. (01 de 04 de 2025). <https://www.labcenter.com/>. <https://www.labcenter.com/>

Lipták, B. G. ((2018).). *Process Control: Instrument Engineers' Handbook (5th ed.)*. CRC Press.

Massimo Banzi, M. S. (2014). *Introducción a Arduino*. Barcelona: MakerMedia.

Mecatronica. (05 de 02 de 2014). ute-mecatronica.blogspot.com. <https://ute-mecatronica.blogspot.com/2014/02/sistemas-de-control.html?utm>

Medium. (14 de 07 de 2023). medium.com.

<https://medium.com/%40labviewdevacademy/real-time-data-acquisition-and-control-with-labview-applications-and-implementation-strategies-984358c05fe7>

Meneses, J. &. (2016). Tecnologías avanzadas para el control de temperatura en reactores químicos: Retos y oportunidades. . *Revista Iberoamericana de Ingeniería Química*, págs. 12(2), 87–98.

MicrocontrolTopix. (25 de 04 de 2025). microcontroltopix.com.

<https://microcontroltopix.com/es/que-es-un-arduino-y-que-lo-hace-especial/>

Morales, F. C. (1 de 2 de 2020). *Economipedia*.

https://economipedia.com/definiciones/automatizacion-industrial.html?utm_source=chatgpt.com

Picuino. (01 de 04 de 2025). *www.picuino.com*. <https://www.picuino.com/en/control-pid.html?utm>

Rincón, M. S. (2023). Eficiencia energética y sostenibilidad en sistemas de control térmico automatizados en la industria química. *Revista Latinoamericana de Automatización y Control Industrial*, págs. 18(1), 45–60.

Sánchez, M. &. (2019). Integración de plataformas de simulación y control para la optimización de procesos químicos. *Revista Iberoamericana de Ingeniería de Procesos*, págs. 15(2), 45–58.

Sánchez, M. &. (2019). *Técnicas avanzadas de control en procesos industriales: PID, control adaptativo y predictivo*. Editorial Alfaomega.

Seborg, D. E. (2010). *Process Dynamics and Control (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.

Sica. (14 de 02 de 2020). *www.sicamedicion.com*.

https://www.sicamedicion.com.mx/blog/procesos-quimicos/control-reaccion-exotermica/?utm_source

Todo ingenierias. (01 de 04 de 2024). *todoingenierias.com*. <https://todoingenierias.com/la-importancia-de-los-sistemas-de-control-en-la-industria-para-eficiencia-y-seguridad/?utm>

Torres, J. &. (2020). Aplicación de plataformas de prototipado en el control térmico de procesos químicos. *Revista de Ingeniería Aplicada y Automatización*, págs. 18(2), 95–107.

- Valencia., U. P. (2017). *Implementación de un sistema SCADA en LabVIEW para el control de variables en una planta piloto*. Editorial de la UPV.
- Villacís, M. &. (2021). Monitoreo y control inteligente de procesos industriales mediante sensores conectados en red. *Revista Latinoamericana de Automatización y Control*, págs. 18(1), 45–59.
- Yuan, L. &. (2021). Aplicación de inteligencia artificial en controladores PID autoajustables. *Revista Internacional de Automatización y Control Inteligente.*, págs. 12(3), 215–229.
- Zhong, Q.-C. (2016). *PID control for complex and uncertain systems*. John Wiley & Sons.

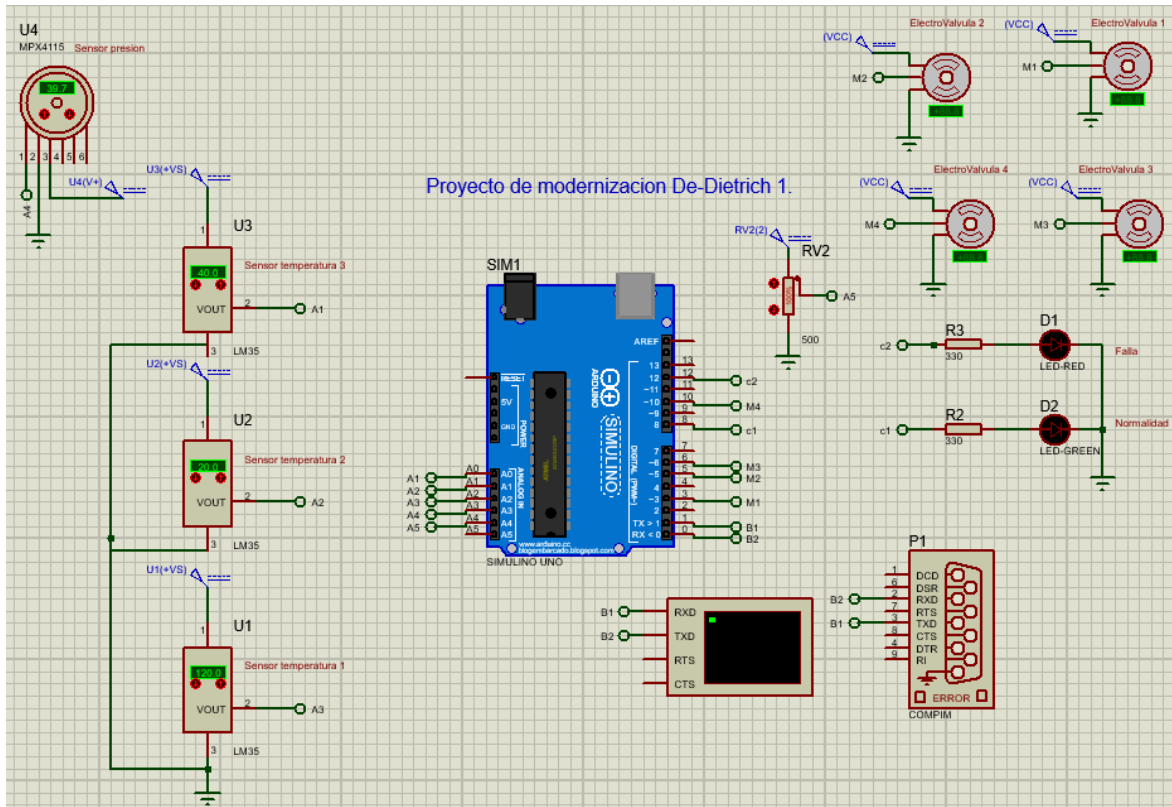
Apéndice

Apéndice A

Esquemático del Prototipo

Figura 56

Diseño para la Simulación del Control de Temperatura del De-Dietrich 1



Nota. La figura muestra la simulación del proyecto modernización reactor "De-Dietrich 1", que incorpora 3 sensores de temperatura y 1 de presión, 4 servomotores 1 potenciómetro 2 led indicadores 1 puerto serial y una placa de Arduino uno.

Apéndice B

Archivos de Arduino, Labview y Proteus.

Tabla 5

Enlace de Acceso a los Archivos

Enlace de acceso a los Archivos de arduino, LabVIEW, y proteus.

[https://drive.google.com/drive/folders/1Gff3zLlgqm22D0jmoeXrlQsyWCJeosBl?usp=sha
ring](https://drive.google.com/drive/folders/1Gff3zLlgqm22D0jmoeXrlQsyWCJeosBl?usp=sharing)

Nota. Esta tabla muestra el enlace de acceso a los archivos.

Apéndice C

Ejemplo del Formato para Obtención de Muestras.

Tabla 6

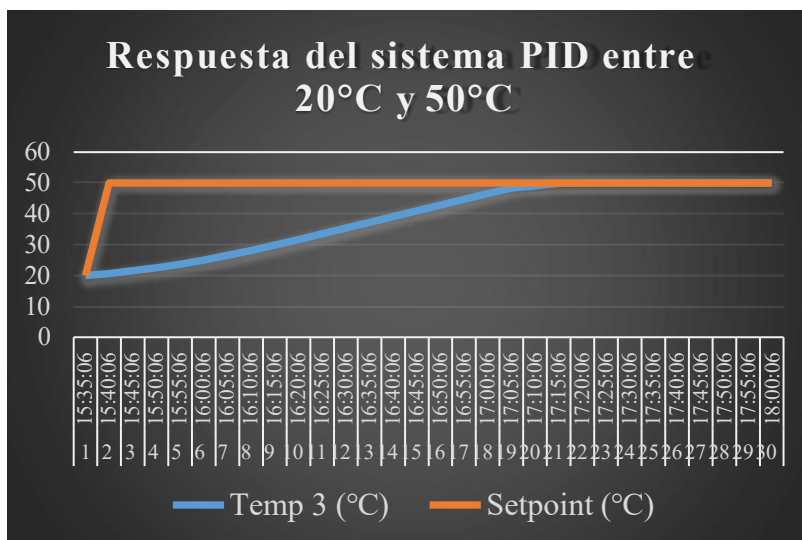
Datos de Temperatura y Setpoint

Datos	tiempo	Temp 3(°C)	Setpoint (°C)
1	15:35:06	20,01	20
2	15:40:06	20,65	50
3	15:45:06	21,53	50
4	15:50:06	22,52	50
5	15:55:06	23,68	50
6	16:00:06	25,02	50
7	16:05:06	26,52	50
8	16:10:06	28,13	50
9	16:15:06	29,85	50
10	16:20:06	31,64	50
11	16:25:06	33,49	50
12	16:30:06	35,37	50
13	16:35:06	37,26	50
14	16:40:06	39,14	50
15	16:45:06	41,01	50
16	16:50:06	42,87	50
17	16:55:06	44,71	50
18	17:00:06	46,53	50
19	17:05:06	48,33	50
20	17:10:06	49,11	50
21	17:15:06	49,85	50
22	17:20:06	50	50
23	17:25:06	50	50
24	17:30:06	50	50
25	17:35:06	50	50
26	17:40:06	50	50
27	17:45:06	50	50
28	17:50:06	50	50
29	17:55:06	50	50
30	18:00:06	50	50

Nota. La tabla muestra los datos de temperatura, y el setpoint seleccionado para 50 °C o selector de temperatura al que se quiere llegar, se obtiene la muestra de la simulación en proteus con 30 datos cada 5 minutos.

Figura 57

Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 4.



Nota. La figura muestra el comportamiento del sistema PID para elevar la temperatura de 20 °C a 50 °C a lo largo del tiempo entre las 15:35 y 17:55.

Tabla 7*Datos de Temperatura y Setpoint*

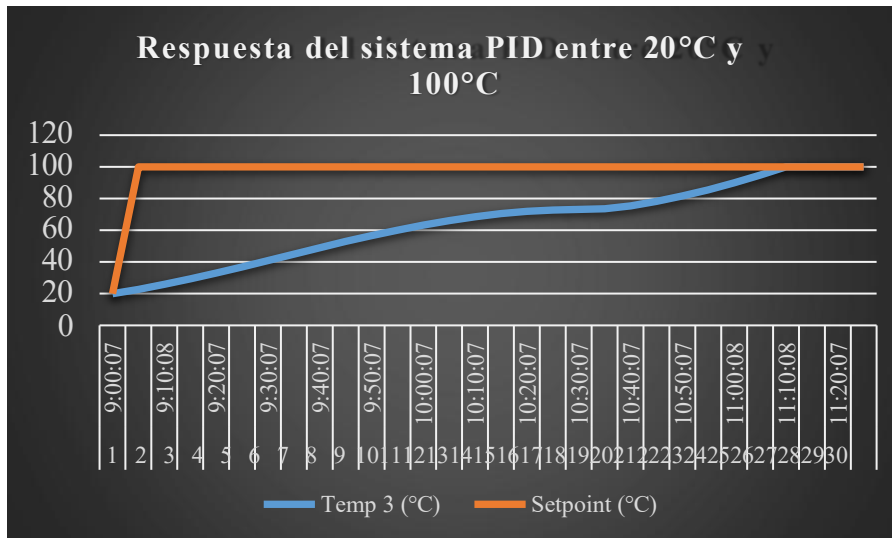
Datos	Tiempo	Temp 3(°C)	Setpoint (°C)
1	9:00:07	20	20
2	9:05:07	22,76	100
3	9:10:08	25,88	100
4	9:15:09	29,31	100
5	9:20:07	33,01	100
6	9:25:08	36,09	100
7	9:30:07	40,92	100
8	9:35:07	52,91	100
9	9:40:07	56,64	100
10	9:45:07	60,12	100
11	9:50:07	63,29	100
12	9:55:07	66,01	100
13	10:00:07	68,05	100
14	10:05:07	70,45	100
15	10:10:07	71,91	100
16	10:15:07	72,85	100
17	10:20:07	73,26	100
18	10:25:08	73,53	100
19	10:30:07	75,48	100
20	10:35:08	78,03	100
21	10:40:07	81,61	100
22	10:45:07	85,44	100
23	10:50:07	89,84	100
24	10:55:07	94,86	100
25	11:00:08	100	100
26	11:05:07	100	100
27	11:10:08	100	100
28	11:15:07	100	100
29	11:20:07	100	100
30	11:25:08	100	100

Nota. La tabla muestra un segundo grupo de datos de temperatura, y el setpoint seleccionado

para 100 °C, se obtiene la muestra de simulación en proteus de 30 datos cada 5 minutos.

Figura 58

Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 5



Nota. La figura muestra el comportamiento del sistema PID para elevar la temperatura de 20 °C a 100 °C a lo largo del tiempo entre las 9:00 y 11:20.

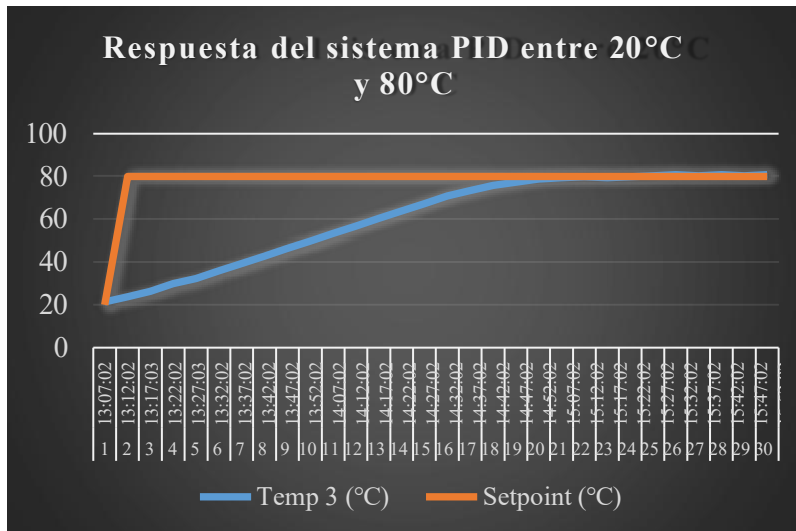
Tabla 8*Datos de Temperatura y Setpoint*

Datos	Tiempo	Temp (°C)	Setpoint (°C)
1	13:07:02	21,37	20
2	13:12:03	23,84	80
3	13:17:03	26,87	80
4	13:22:02	29,84	80
5	13:27:03	32,37	80
6	13:32:02	35,84	80
7	13:37:02	39,37	80
8	13:42:02	42,84	80
9	13:47:02	46,37	80
10	13:52:02	49,84	80
11	14:07:02	53,37	80
12	14:12:02	56,84	80
13	14:17:02	60,37	80
14	14:22:03	63,84	80
15	14:27:02	67,37	80
16	14:32:02	70,84	80
17	14:37:02	73,37	80
18	14:42:03	75,84	80
19	14:47:02	77,37	80
20	14:52:02	78,84	80
21	15:07:02	79,37	80
22	15:12:02	79,84	80
23	15:17:02	79,37	80
24	15:22:02	79,84	80
25	15:27:02	80,37	80
26	15:32:02	80,84	80
27	15:37:02	80,37	80
28	15:42:02	80,84	80
29	15:47:02	80,37	80
30	15:52:02	80,84	80

Nota. La tabla muestra el tercer grupo de datos de temperatura, y el setpoint seleccionado para 80 °C o selector de temperatura al que se quiere llegar, obtenemos la muestra de la simulación en proteus con 30 datos cada 5 minutos.

Figura 59

Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 6



Nota. La figura muestra el comportamiento del sistema PID para elevar la temperatura de 20 °C a 80 °C a lo largo del tiempo entre las 13:07 y 15:47.

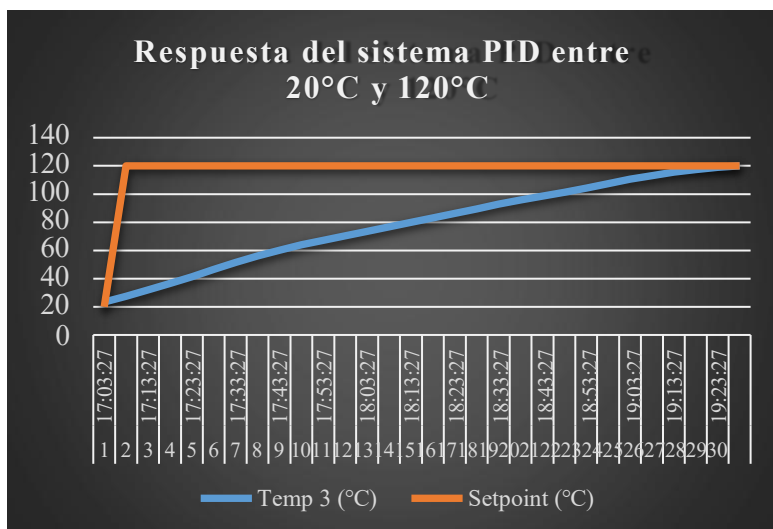
Tabla 9*Datos de Temperatura y Setpoint*

Datos	Tiempo	Temp(°C)	Setpoint(°C)
1	17:03:27	23,35	20
2	17:08:27	27,41	120
3	17:13:27	31,88	120
4	17:18:27	36,52	120
5	17:23:27	41,36	120
6	17:28:27	46,49	120
7	17:33:27	51,42	120
8	17:38:27	60,17	120
9	17:43:27	63,94	120
10	17:48:27	67,21	120
11	17:53:27	70,38	120
12	17:58:27	73,56	120
13	18:03:27	76,82	120
14	18:08:27	79,96	120
15	18:13:27	83,13	120
16	18:18:27	86,32	120
17	18:23:27	89,47	120
18	18:28:27	92,75	120
19	18:33:27	95,83	120
20	18:38:27	98,64	120
21	18:43:27	101,29	120
22	18:48:27	104,18	120
23	18:53:27	107,41	120
24	18:58:27	110,56	120
25	19:03:27	113,17	120
26	19:08:27	115,52	120
27	19:13:27	117,41	120
28	19:18:27	118,94	120
29	19:23:27	119,04	120
30	19:28:27	120,00	120

Nota. La tabla muestra un cuarto grupo de datos de temperatura, y el setpoint seleccionado para 120 °C o selector de temperatura al que se quiere llegar, obtenemos la muestra de la simulación en proteus con 30 datos cada 5 minutos.

Figura 60

Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 7



Nota. La figura muestra el comportamiento del sistema PID para elevar la temperatura de 20 °C a 120 °C a lo largo del tiempo entre las 17:03 y 19:23.

Tabla 10*Datos de Temperatura y Setpoint*

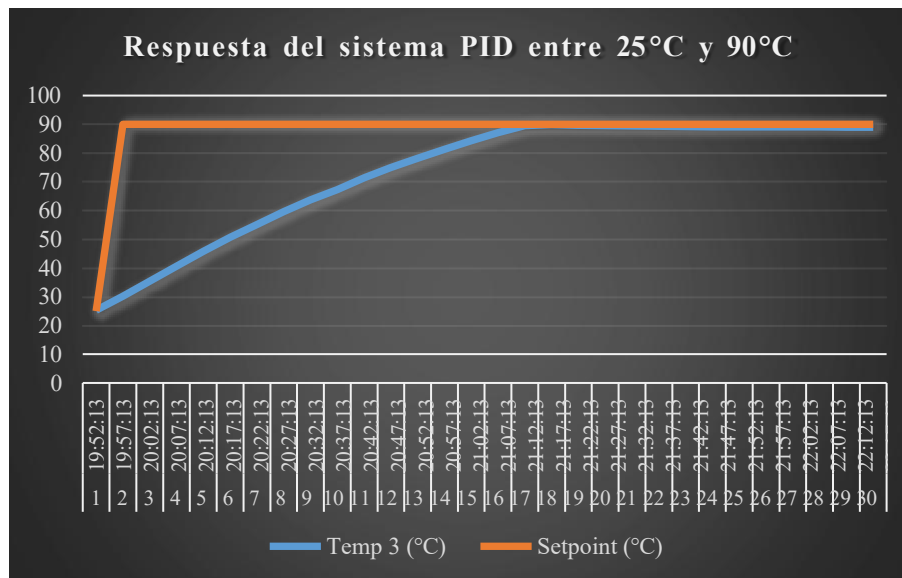
Datos	Tiempo	Temp (°C)	Setpoint (°C)
1	19:52:13	25,31	25
2	19:57:13	30,24	90
3	20:02:13	35,42	90
4	20:07:13	40,67	90
5	20:12:13	45,72	90
6	20:17:13	50,67	90
7	20:22:13	55,13	90
8	20:27:13	59,58	90
9	20:32:13	63,73	90
10	20:37:13	67,28	90
11	20:42:13	71,33	90
12	20 47:13	74,97	90
13	20:52:13	78,22	90
14	20:57:13	81,34	90
15	21:02:13	84,29	90
16	21:07:13	87,13	90
17	21:12:13	89,52	90
18	21;17:13	89,91	90
19	21:22:13	89,70	90
20	21:27:13	89,55	90
21	21:32:13	89,42	90
22	21:37:13	89,29	90
23	21:42:13	89,18	90
24	21:47:13	89,12	90
25	21:52:13	89,08	90
26	21:57:13	89,06	90
27	22:02:13	89,05	90
28	22:07:13	89,04	90
29	22:12:13	89,03	90
30	22:17:13	89,03	90

Nota. La tabla muestra un quinto grupo de datos de temperatura, y el setpoint seleccionado

para 90 °C o selector de temperatura al que se quiere llegar, obtenemos la muestra de la simulación en proteus con 30 datos cada 5 minutos.

Figura 61

Diagrama de Líneas con los Datos de la Tabla 8



Nota. La figura muestra el comportamiento del sistema PID para elevar la temperatura de 25 °C a 90 °C a lo largo del tiempo entre las 19:52 y 22:12.