

Universidad Nacional del Este.
Facultad Politécnica.



Sistema experto para la gestión de fallas en refrigeración industrial crítica.

Teofilo Vergara Acosta.

Año 2025.

**Universidad Nacional del Este.
Facultad Politécnica.**

**Carrera: Análisis de sistema.
Cátedra: Trabajo final de grado.**

Sistema experto para la gestión de fallas en refrigeración industrial critica.

Por: Teofilo Vergara Acosta.

Profesor Orientador: Ing. Jorge Luis Arrúa Ginés..

Trabajo final de grado presentado a la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este como parte de los requisitos para optar al título de Licenciado en análisis de sistema.

Ciudad del Este, Alto Paraná. Paraguay.

Marzo 2025

FICHA CATALOGRÁFICA
BIBLIOTECA DE LA FACULTAD POLITÉCNICA
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ESTE

Vergara Acosta, Teofilo

Sistema experto para la gestión de fallas en refrigeración industrial critica

Teofilo Vergara Acosta

Ciudad del Este, Alto Paraná. Año: 2025.

Páginas: 47.

Orientador: Ing. Jorge Luis Arrúa Ginés.

Área de estudio: Inteligencia artificial.

Carrera: Análisis de sistema

Titulación: Licenciado en Análisis de sistema

Trabajo Final de Grado. Universidad Nacional del Este,
Facultad Politécnica.

Descriptores: 1. Sistema experto, 2. Monitoreo industrial,

3. Reglas de inferencia, 4. Optimizacion operativa.

Expert System for Critical Industrial Refrigeration Fault Management

Descriptors: 1. Expert System, 2. Industrial Monitoring,

3. Inference Rules, 4. Operational Optimization.

Índice general

Yo, <nombre del Profesor Orientador>, documento de identidad No. <No. de documento de identidad del Profesor Orientador>, Profesor Orientador del TFG titulado “<título del TFG>”, del Alumno <nombre del Alumno>, documento de identidad No. <No. de documento de identidad del Alumno>, de la carrera <nombre de la carrera> de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este; certifico que el mencionado Trabajo Final de Grado ha sido realizado por dicho Alumno, de lo cual doy fe y en mi opinión reúne las condiciones para su presentación y defensa ante la Mesa Examinadora designada por la institución.

<fecha>

<nombre del Profesor Orientador>

Nosotros, los miembros de la Mesa Examinadora del Trabajo Final de Grado titulado “<título del TFG>”, de la carrera <nombre de la carrera> de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este, hacemos constar que el citado trabajo ha sido evaluado en fondo y forma por esta Mesa, la que por _____ ha resuelto asignar la calificación _____

Ciudad del Este, ____ de _____ de 2014

Profesor _____
Presidente de la Mesa Examinadora

Profesor _____

Miembro de la Mesa Examinadora

Profesor _____

Miembro de la Mesa Examinadora

Escribir aquí la dedicatoria.
Su extensión no debería exceder de una página.

<Escribir aquí los agradecimientos.>
<Su extensión no debería exceder de una página.>

<Escribir aquí el epígrafe (frase u oración favorita).>
<Su extensión no debería exceder de una página.>

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema experto basado en reglas para el monitoreo y control de máquinas críticas en entornos industriales. En particular, se enfoca en la supervisión de equipos utilizados en la producción de materiales plásticos, donde la precisión y la eficiencia operativa son esenciales para garantizar la calidad del producto final y minimizar costos asociados a fallos operativos. El principal objetivo del proyecto es diseñar e implementar un sistema experto que permita detectar anomalías en tiempo real mediante la aplicación de reglas específicas adaptadas a las condiciones operativas del sistema. A partir del análisis de variables clave, como el estado de la bomba de agua, el compresor, el caudal y las temperaturas de operación, el sistema genera alertas precisas cuando se identifican patrones anómalos, facilitando la toma de decisiones preventivas. Para el desarrollo del sistema, se empleó una base de datos que almacena reglas previamente definidas, permitiendo una evaluación dinámica de los estados de las máquinas. Se utilizaron metodologías de inferencia basadas en lógica de producción, lo que garantiza la flexibilidad del sistema ante diferentes escenarios operativos. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema experto mejora significativamente la detección temprana de fallos, reduciendo tiempos de inactividad y costos de mantenimiento. Como conclusión, la implementación de este sistema experto permite a las empresas industriales optimizar la gestión de sus recursos, mejorar la confiabilidad de sus equipos y adoptar un enfoque proactivo en el mantenimiento preventivo. Su integración con sistemas de monitoreo existentes refuerza la capacidad de respuesta ante posibles fallos, contribuyendo a una mayor productividad y reducción de riesgos operativos.

Descriptores: 1. Sistema experto, 2. Monitoreo industrial, 3. Reglas de inferencia, 4. Optimización operativa

Abstract

Concise presentation of the grade research work, pointing out its most relevant items. At most, it must be one page long. The first paragraph should state the subject being addressed. It must include main objectives, methods, most remarkable results, as well as the most important conclusions. No cites or references should be included here.

At the end of the abstract should be written the key words (words or phrases that allow the work to be classified and located).

Key words: 1. <keyword1>, 2. <keyword2>, 3. <keyword3>.

Índice general

Índice de figuras

Índice de Tablas

Capítulo 1

Introducción

La presente investigación es sobre el monitoreo de los equipos de refrigeración de agua en la producción de plásticos con un sistema experto basado en reglas, estos equipos son cruciales para mantener el ritmo de producción mientras se asegura la integridad y calidad del plástico fabricado.

No obstante, la operación de estas máquinas críticas no está exenta de desafíos, siendo la detección y prevención de fallas uno de los obstáculos más significativos.

La falta de un monitoreo eficaz puede resultar en tiempos de inactividad no planificados, pérdidas económicas sustanciales y, en el peor de los casos, comprometer la seguridad de la planta y su personal.

La característica principal que deben tener estos equipos de refrigeración que trabajan con plásticos es el monitoreo en tiempo real ya que de eso dependerá la eficiencia y la fiabilidad de los procesos productivos, que no solo son deseables, sino esenciales para mantener la competitividad y asegurar la sostenibilidad operativa.

Sin embargo, para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas, una de ellas es la variación de la temperatura del agua que afecta considerablemente el producto final ya que los procesos dependen de un enfriamiento rápido y controlado.

Considerando este antecedente, el presente trabajo propone la implementación de un sistema experto basado en reglas para el monitoreo de las máquinas críticas. A través de un enfoque que combina la inteligencia artificial con software de código abierto, se desarrolló una solución que permitió el monitoreo en tiempo real y a distancia, ofreciendo a los operadores una herramienta poderosa para la gestión proactiva de la maquinaria crítica.

Este estudio no solo tiene el potencial de mejorar significativamente la operación y mantenimiento de los sistemas de refrigeración en la producción de PVC, sino que también se alinea con los principios de sostenibilidad y

eficiencia energética, al buscar optimizar el uso de recursos y minimizar los desperdicios. Mediante la implementación de esta plataforma, se espera no solo contribuir a la literatura existente sobre gestión de mantenimiento en el sector industrial, sino también proporcionar un caso práctico de cómo los sistemas expertos pueden ser aplicadas para superar desafíos operativos complejos.

1.1. Motivación

En el entorno industrial, la máquina enfriadora es fundamental para la producción, ya que el proceso depende directamente del suministro de agua fría. Sin embargo, cuando ocurre un error en la máquina, muchas veces no nos enteramos a tiempo, ya sea por falta de monitoreo constante o por razones operativas. Como consecuencia, la producción se detiene inesperadamente, generando una pérdida de miles de dólares por cada incidente. Ver cómo estas fallas afectan la producción y provocan grandes pérdidas económicas me ha llevado a buscar una solución que permita prevenir estos problemas antes de que ocurran. Esta situación me motiva a desarrollar un sistema experto capaz de:

- Monitorear en tiempo real la máquina enfriadora. Detectar automáticamente errores y fallas críticas. Generar alertas inmediatas para evitar interrupciones y reducir pérdidas.

- Mi objetivo con este sistema es detener esta pérdida económica, mejorar el rendimiento de la fábrica y garantizar la continuidad operativa sin contratiempos. Con una herramienta de monitoreo inteligente, será posible anticiparse a los problemas y evitar que estos impacten negativamente en la producción.

1.2. Definición del problema

En la industria de producción de PVC, la eficiencia y calidad del producto final están directamente relacionadas con la capacidad de los sistemas de enfriamiento industrial de agua para operar sin interrupciones. Sin embargo, la falta de monitoreo efectivo de los sistemas de enfriamiento de agua críticos puede ocasionar paradas de producción, desperdicio de materiales y afectar la competitividad de las empresas. Las soluciones de monitoreo existentes suelen ser costosas, lo que limita su adopción. Ante lo expuesto surge la siguiente pregunta:

Preguntas de investigación:

¿Cómo puede un sistema experto basado en reglas, integrado con un sistema de monitoreo y visualización de datos optimizar la toma de decisiones ante fallas en sistemas de refrigeración industrial de agua crítica?

¿Qué características y funcionalidades específicas debe tener el sistema experto para una detección precisa y oportuna de fallas en sistemas de refrigeración industrial de agua crítica?

¿Cómo se puede integrar efectivamente el sistema experto con el sistema de monitoreo y visualización de datos para garantizar una interfaz de usuario intuitiva y que brinde información relevante al operador?

1.3. Objetivos, hipótesis, justificación y delimitación del alcance del tratado.

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema experto para optimizar la gestión de fallas en refrigeración industrial de agua crítica.

Objetivos específicos.

Objetivo 1.- Desarrollar un módulo de adquisición de datos a partir del dispositivo existente en la fábrica.

Objetivo 2.- Desarrollar un sistema experto basado en reglas para la toma de decisiones.

Objetivo 3.- Desarrollar un módulo de monitoreo, alarma y visualización de datos para el operador.

Objetivo 4.- Evaluar el desempeño y la usabilidad del sistema.

1.3.2. Hipótesis

Un sistema experto basado en reglas, integrado con monitoreo, visualización de datos y alarmas, puede optimizar significativamente la toma de decisiones ante fallas en sistemas de refrigeración industrial de agua crítica [?]. Esto mejorará la confiabilidad y eficiencia del proceso industrial, reduciendo considerablemente el tiempo de respuesta ante fallas [?].

1.3.3. Justificación

La industria moderna enfrenta desafíos constantes en la optimización de procesos y en la mejora de la calidad de los productos, especialmente en sectores como la producción de materiales plásticos, donde la precisión y la

eficiencia operativa son esenciales [?]. En este contexto, el monitoreo y control de los enfriadores industriales, tales como los de refrigeración de agua utilizados en la fabricación de PVC, juegan un papel clave. Sin embargo, la gestión de estas máquinas puede ser compleja, y cualquier error o ineficiencia puede acarrear consecuencias económicas significativas, así como afectar la calidad del producto final. A pesar de la importancia de estas máquinas enfriadoras en el proceso de fabricación, los mecanismos tradicionales de monitoreo pueden no ser suficientes para detectar problemas a tiempo ni para implementar medidas preventivas de manera eficiente [?]. Es por esto que se hace necesario desarrollar un sistema experto basado en reglas que permita la integración de un sistema de monitoreo inteligente. Este sistema experto se diseñará para proporcionar una solución robusta y eficiente en el monitoreo en tiempo real de los sistemas críticos, facilitando la detección temprana de fallos y la optimización de la operación. A través de la aplicación de reglas adaptadas a las condiciones operativas, el sistema experto será capaz de identificar patrones anómalos en el funcionamiento de los sistemas y generar alertas precisas. El beneficio principal de este sistema experto es que permitirá la implementación de acciones correctivas preventivas de manera mucho más rápida, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los costos asociados con los tiempos de inactividad y las reparaciones. Al integrar este sistema dentro de los sistemas de monitoreo existentes, se logrará un enfoque proactivo, reduciendo el riesgo de fallos y mejorando la fiabilidad de los equipos de refrigeración en plantas industriales [?]. En resumen, este trabajo propone desarrollar un sistema experto que no solo permita optimizar el uso de recursos, sino que también brinde a las empresas la capacidad de anticiparse a los problemas antes de que se conviertan en fallos costosos, asegurando así una mayor productividad y una reducción de los riesgos operativos.

1.3.4. Delimitación del Alcance

El estudio se enfocará en los sistemas de refrigeración industrial de agua utilizados en la producción de PVC dentro de una fábrica específica, sin extenderse a otros tipos de maquinaria o procesos industriales. Para la recolección de datos, se empleará un módulo de adquisición ya existente en la planta, sin la instalación de nuevos sensores ni relés de accionamiento. Las pruebas se llevarán a cabo en un entorno productivo, asegurando que los datos obtenidos representen fielmente las condiciones operativas del sistema.

1.4. Descripción de los contenidos por capítulo.

Este trabajo se compone de seis capítulos, en los cuales se desarrolla el diseño, implementación y evaluación de un sistema experto para el monitoreo de máquinas críticas en la industria de producción de PVC. A continuación, se describe el contenido de cada capítulo:

1.4.1. Capítulo 1

En este capítulo se presenta el contexto y la importancia del problema abordado, destacando la necesidad de un sistema experto para mejorar la eficiencia operativa en la industria de producción de PVC. Se plantea el objetivo general, los objetivos específicos y la hipótesis del estudio. Asimismo, se describen el alcance y las limitaciones de la investigación.

1.4.2. Capítulo 2

Aquí se exponen los conceptos clave que sustentan el desarrollo del sistema experto, incluyendo teoría sobre sistemas expertos, monitoreo en tiempo real, gestión de alarmas y mantenimiento predictivo. También se revisan antecedentes de estudios similares y tecnologías utilizadas en el monitoreo de sistemas críticos.

1.4.3. Capítulo 3

En este capítulo se llega al proceso de selección de herramientas para el desarrollo web, se consideraron los lenguajes de programación más reconocidos y utilizados en la industria, luego de un análisis se llega a una conclusión sobre las herramientas que serán utilizadas.

1.4.4. Capítulo 4

Se describe el enfoque metodológico adoptado para el desarrollo del sistema, incluyendo la selección de herramientas tecnológicas, la arquitectura del sistema, el proceso de adquisición de datos y el diseño de la interfaz de usuario. Además, se detallan los criterios utilizados para evaluar el desempeño del sistema.

1.4.5. Capítulo 5

Aquí se presentan los resultados obtenidos tras la implementación del sistema en un entorno industrial real. Se analizan métricas clave como el tiempo de detección de fallas, la reducción del tiempo de inactividad y la precisión de las alarmas generadas. Además, se incluyen comparaciones con métodos tradicionales de monitoreo y una evaluación de la percepción de los usuarios sobre la interfaz del sistema.

1.4.6. Capítulo 6

En el último capítulo se destacan los logros alcanzados con relación a los objetivos planteados, así como la solución del problema de investigación. Se valida la hipótesis inicial a partir de los resultados obtenidos y se formulan recomendaciones para futuras mejoras del sistema, incluyendo la incorporación de técnicas de inteligencia artificial y la ampliación del monitoreo a nuevas variables.

Capítulo 2

Conceptos fundamentales, teorías y antecedentes

2.1. Conceptos fundamentales

2.1.1. Toma de decisiones

La toma de decisiones es el proceso de seleccionar una acción entre varias alternativas, siguiendo una serie de etapas clave:

Identificación del problema: Definir claramente la situación que requiere una decisión.

Recopilación de información: Obtener datos relevantes sobre el problema y las posibles soluciones.

Análisis de alternativas: Evaluar ventajas y desventajas de cada alternativa.

Selección de la mejor alternativa: Elegir la opción que mejor cumpla los criterios establecidos.

Implementación y seguimiento: Aplicar la decisión y monitorear su efectividad.

Durante todo el proceso, se deben considerar factores como el impacto económico, el tiempo de implementación, el riesgo de resultados no deseados y los beneficios en relación con los objetivos organizacionales.

2.1.2. Sistema Experto

Definición

Un sistema experto (SE) es un sistema de inteligencia artificial diseñado para emular el conocimiento y la experiencia de un experto humano en un dominio específico [?]. Componentes principales

Base de conocimiento: Almacena hechos, reglas y relaciones sobre el dominio del problema.

Motor de inferencia: Aplica reglas para razonar y llegar a conclusiones.

Interfaz de usuario: Permite la interacción entre el usuario y el sistema experto.

Clasificación de los SE

Basados en reglas o enfoque simbólico

Utilizan reglas explícitas escritas por expertos.

No aprenden automáticamente, sino que dependen de la base de conocimientos creada manualmente. Ejemplo: Sistemas de diagnóstico médico que aplican reglas "Si X, entonces Y" [?].

Basados en casos o machine learning (aprendizaje basado en casos)

Guardan experiencias pasadas y las comparan con nuevos problemas para hacer predicciones o recomendaciones. Se relacionan con enfoques de aprendizaje supervisado o técnicas como k-Nearest Neighbors (k-NN).

Ejemplo: Un sistema que recomienda soluciones basándose en casos previos de fallos en una máquina. Basados en modelos: Enfoque estadístico y también Machine Learning en algunos casos utilizan modelos matemáticos o estadísticos para tomar decisiones.

Pueden incluir técnicas de aprendizaje automático como redes neuronales o regresión logística.

Ejemplo: Un sistema que predice fallos en un equipo usando modelos probabilísticos o redes neuronales.

Características de los SE

Especialización en un dominio específico.

Uso de reglas predefinidas para la toma de decisiones.

Capacidad de explicar el razonamiento detrás de sus conclusiones.

Posibilidad de aprendizaje y adaptación a nuevas experiencias [?].

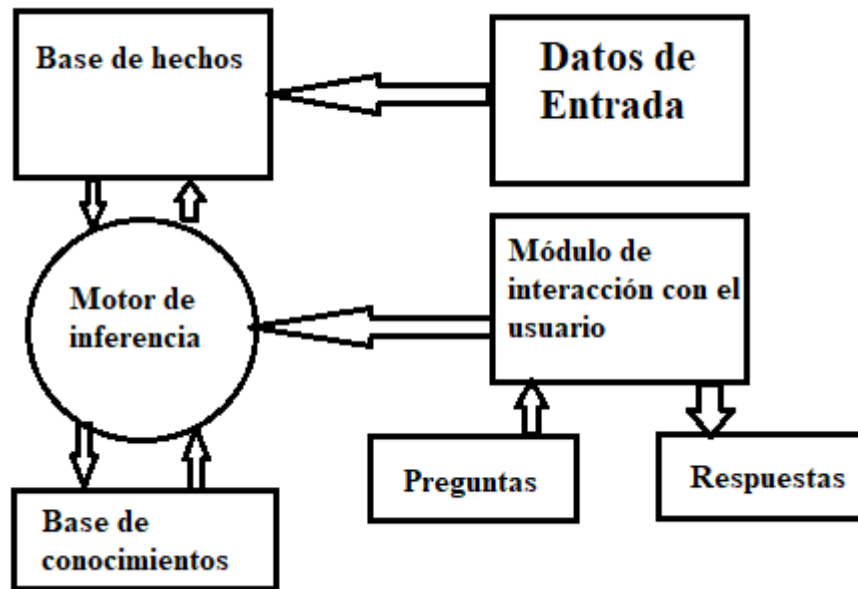


Figura 2.1: Arquitectura del sistema experto.

2.1.3. Monitoreo de Sistemas

Definición El monitoreo de sistemas consiste en recopilar y analizar datos de un sistema para detectar anomalías y posibles fallas, con el objetivo de optimizar su funcionamiento y prevenir problemas antes de que ocurran.

Técnicas de Monitoreo

Recolección de datos: Mediante sensores o software de monitoreo.

Análisis de datos: Identificación de tendencias y patrones.

Interpretación de datos: Comprensión del significado de las variaciones en los datos.

Generación de alertas: Notificación de anomalías a través de alertas visuales o sonoras.

Un componente clave en este proceso es el módulo de adquisición de datos, que recoge y procesa información proveniente de diversos dispositivos dentro de un sistema.

2.1.4. Fábrica de PVC

Policloruro de Vinilo (PVC) El PVC es un polímero termoplástico utilizado en diversas aplicaciones industriales por su durabilidad y versatilidad. Su procesamiento industrial requiere un control preciso de temperatura para garantizar la calidad del producto final. [?]

Métodos de Fabricación

Extrusión: El PVC fundido pasa a través de una matriz para formar productos largos y uniformes.

Moldeo por inyección: El PVC fundido se inyecta en un molde para fabricar objetos detallados.

Calandrado: El PVC se lamina en delgadas hojas al pasar por una serie de rodillos.

Moldeo por soplado: Similar al moldeo por inyección, pero con un paso adicional para formar objetos huecos.

En todos estos procesos, el refrigerante principal es el agua.

2.1.5. Criterios y Condiciones para los Sistemas de Refrigeración Industrial.

El enfriamiento del PVC es una fase crítica en la producción industrial, ya que afecta:

Calidad del producto: Un enfriamiento adecuado evita defectos y tensiones internas.

Eficiencia del proceso: Un sistema de refrigeración eficiente reduce costos operativos y tiempos de producción, es un parámetros clave en la refrigeración del PVC.

Control de temperatura: Evitar fluctuaciones bruscas que puedan afectar la calidad.

Velocidad de enfriamiento: Debe ser gradual para evitar deformaciones.

Distribución uniforme del flujo de agua: Para prevenir puntos calientes o fríos en el material.

2.1.6. Fallas Comunes en Sistemas de Refrigeración Industrial

Los sistemas de refrigeración industrial pueden presentar diversas fallas que afectan su rendimiento [?].

Compresor sobrecargado: Puede deberse a un dimensionamiento incorrecto,

falta de lubricación o fallas eléctricas.

Pérdida de refrigerante: Ocasionada por fugas en juntas, válvulas o tuberías defectuosas.

Problemas de circulación de agua: Puede ocurrir por bloqueos en tuberías o fallas en la bomba de circulación.

Condensador sucio u obstruido: La acumulación de suciedad reduce la eficiencia del intercambio de calor.

Problemas en el evaporador: Puede bloquearse por acumulación de suciedad o escarcha en las bobinas.

Fallas en el sistema de control: Sensores defectuosos o controladores dañados pueden generar lecturas incorrectas.

Problemas de presión: Fluctuaciones anormales pueden deberse a fugas de refrigerante o insuficiente flujo de agua.

Corrosión y erosión: Factores como la calidad del agua y la velocidad del flujo pueden deteriorar los componentes.

Un adecuado monitoreo y mantenimiento preventivo son esenciales para minimizar estas fallas y garantizar la operatividad del sistema.

2.2. Antecedentes

2.2.1. Antecedente 1

Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos [?].

Título: Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos.

Autores: Navarrete Enderica, Víctor Alejandro

Año: 28-feb-2020

Problemática:

Los equipos de refrigeración en la industria farmacéutica presentan limitaciones en su funcionamiento, lo que compromete la calidad y conservación de los productos farmacéuticos. La falta de monitoreo adecuado puede generar fallas en los equipos, incrementando rápidamente la temperatura interna de los cuartos de almacenamiento y afectando negativamente la calidad de los medicamentos.

Objetivo General

Desarrollar un sistema de control automatizado y supervisión remota para equipos de refrigeración industrial, permitiendo evaluar los estados y procesos de manera eficiente mediante la utilización de equipos de bajo costo. Este sistema tiene como objetivo optimizar el control de temperatura en cuartos refrigerados y asegurar la calidad de los productos farmacéuticos.

Metodología

Se utiliza una metodología de tipo correlacional con un enfoque cuantitativo. Se realiza una evaluación mediante simulaciones y pruebas con equipos reales en un entorno de trabajo real. El sistema propuesto es evaluado en términos de su desempeño en situaciones de fallo para comprobar su efectividad en la mejora del control de temperatura.

Herramientas (¿Qué instrumentos utilizó?)

Software de simulación para evaluar los procesos de control. Equipos de control y supervisión de bajo costo (PLC, válvulas de expansión electrónicas, etc.). Técnicas de automatización y supervisión remota. Resultados más importantes

Se obtiene un sistema supervisorio y de control que mejora la eficiencia y optimización del control de temperatura en cuartos refrigerados. El sistema demuestra su funcionalidad mediante simulaciones y pruebas con equipos reales. Se garantiza la mejora en el control de los equipos de refrigeración industrial y en la conservación de medicamentos.

Similitud y diferencia con el TFG

Similitudes: Ambos trabajos se centran en la implementación de sistemas de monitoreo y control automatizado para equipos industriales críticos (refrigeración).

Se hace uso de la inteligencia artificial o software de control para optimizar los procesos de monitoreo en tiempo real.

Ambos se enfocan en la mejora de la eficiencia y la fiabilidad de los sistemas, así como en la prevención de fallas que puedan comprometer la seguridad o calidad de los productos.

Diferencias: El trabajo propuesto se enfoca en la industria farmacéutica y el control de la conservación de medicamentos, mientras que mi TFG está más orientado hacia la producción de plásticos.

Mi trabajo utiliza un sistema experto basado en reglas para la detección de fallas en las máquinas críticas, mientras que el trabajo de Navarrete se enfoca en un sistema automatizado de control y supervisión utilizando PLC y equipos de control de bajo costo.

Fuente: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil Navarrete Enderica, Víctor Alejandro 28-feb-2020

2.2.2. Antecedente 2

Automatización de sistema de refrigeración de un edificio (chiller 270 tons) con sistema de alarma vía GSM y encendido automático en caso de elevación de temperatura en centro de cómputo [?].

Título: Automatización del sistema de refrigeración con control de temperatura y sistema de alarma GSM en un edificio de oficinas

Autor: Oscar Leonardo Reyes Lema

Año: 2016

Problemática:

Los sistemas de refrigeración en un edificio de oficinas presentan problemas de eficiencia y consumo energético, lo que puede generar fallas en el funcionamiento del centro de cómputo. Además, la falta de monitoreo adecuado y respuesta rápida ante fallas provoca ineficiencia operativa y posibles daños en los equipos.

Objetivo General:

Diseñar y automatizar un sistema de refrigeración que permita mantener el control de la temperatura en un edificio de oficinas, asegurando su correcto funcionamiento y reduciendo el consumo energético. Metodología:

Se implementó un sistema basado en PLC Siemens y microcontroladores PIC para monitorear y controlar la temperatura. Además, se incluyó un sistema de alarma GSM para notificar fallas a los supervisores mediante mensajes de texto. Se realizaron pruebas de validación para comprobar la eficacia del sistema.

Herramientas:

PLC Siemens Microcontroladores PIC Sensores de temperatura Sistema de alarma GSM Software de control y monitoreo Resultados más importantes: Se logró reducir el consumo energético del sistema de refrigeración del 55 al 30 por ciento.

El sistema de alarma GSM permitió una respuesta más rápida ante fallas.

Se optimizó el control de temperatura, asegurando condiciones adecuadas para el centro de cómputo.

Similitud y diferencia con el TFG

Similitudes:

Ambos proyectos buscan mejorar la eficiencia de sistemas de refrigeración a través de la automatización y monitoreo en tiempo real.

Prevención de fallas: Tanto el sistema del edificio como el de la producción de plásticos se enfocan en detectar y anticipar posibles fallos para evitar pérdidas económicas y tiempos de inactividad.

Uso de sensores y sistemas de control: Ambos estudios emplean sensores de temperatura para la regulación de los equipos.

Optimización operativa: Los dos proyectos buscan automatizar procesos para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia energética.

Diferencias:

Ámbito de aplicación: El trabajo de automatización se enfoca en un edificio de oficinas y centro de cómputo, mientras que mi investigación se centra en la producción de plásticos.

Tecnología utilizada: En el otro trabajo se usan PLC Siemens y microcontroladores PIC, mientras que en mi investigación se utilizan un sistema experto basado en reglas con inteligencia artificial y software open source.

Enfoque en la calidad del producto: Tu TFG está orientado a evitar variaciones de temperatura que afectan la calidad del plástico, mientras que el otro estudio se enfoca en garantizar condiciones óptimas en un centro de cómputo.

Mecanismo de alerta: El sistema del otro trabajo utiliza alarma GSM para notificaciones a los supervisores, mientras que en mi sistema se implementa un sistema experto que gestiona las alarmas y toma decisiones en tiempo real.

2.2.3. Antecedente 3

Sistema de detección y diagnóstico de fallas de un proceso térmico mediante inteligencia artificial [?] .

Título:

Sistema de Detección y Diagnóstico de Fallas de un Proceso Térmico mediante Inteligencia Artificial.

Autores:

Rincón Aristizábal, L. F., & Vargas Chavarro, D. A. (2018).

Problemática:

El trabajo aborda la problemática relacionada con la detección y diagnóstico de fallas en un proceso térmico utilizado en sistemas industriales. Se centra en la dificultad de mantener la eficiencia de los procesos industriales debido a fallas imprevistas, lo cual puede causar pérdidas económicas y riesgos operativos. La solución se orienta a la detección temprana de estos fallos para mejorar la seguridad y eficiencia del proceso.

Objetivo General:

Desarrollar un sistema para la detección y diagnóstico de fallas en un proceso térmico utilizando Inteligencia Artificial, mediante el uso de Redes Neuronales Artificiales (RNA) para procesar datos provenientes de los sensores y emitir alertas sobre posibles fallas.

Metodología:

Se utilizó un enfoque basado en Inteligencia Artificial, más específicamente, una Red Neuronal Artificial (RNA). Los datos de sensores de temperatura y caudal se recopilaron mediante una tarjeta de adquisición de datos y fueron procesados utilizando herramientas como LabView y MatLab. Luego, se diseñó una interfaz gráfica de usuario (GUI) para mostrar el diagnóstico de fallas.

Herramientas (¿Qué instrumentos utilizó?):

LabView: Para la adquisición y exportación de los datos a Excel.

MatLab: Para el diseño de la interfaz gráfica y la implementación de la Red Neuronal Artificial (RNA).

Tarjeta de adquisición de datos EDIBON: Para obtener señales de los sensores de temperatura y caudal del proceso térmico.

Resultados más importantes:

Se obtuvo una interfaz gráfica de usuario (GUI) que proporciona al operador de la planta un diagnóstico claro sobre la ubicación de las fallas dentro del sistema térmico.

El sistema es capaz de comparar los datos actuales de los sensores con un modelo de operación normal y detectar fallas en dispositivos como el tanque de proceso, enfriador o intercambiador.

El sistema permite la detección de fallas como desconexión de sensores, problemas con la tarjeta de adquisición de datos o daños eléctricos en la fuente.

Similitudes:

Uso de Inteligencia Artificial para diagnóstico de fallas:

Ambos trabajos utilizan tecnologías de Inteligencia Artificial para diagnosticar fallas en sistemas industriales. En mi caso, se emplea un sistema experto basado en reglas, mientras que el trabajo de referencia usa Redes Neuronales Artificiales.

Monitoreo en tiempo real:

Los dos proyectos incluyen monitoreo en tiempo real de los equipos críticos. En mi caso, se monitorean los sistemas de refrigeración de agua en la producción de plásticos, y en el caso del trabajo de referencia, se monitorea un proceso térmico industrial.

Optimización del mantenimiento y prevención de fallas:

Ambos trabajos tienen como objetivo mejorar la eficiencia operativa y prevenir fallas imprevistas en los sistemas. La detección temprana de fallas es clave para reducir tiempos de inactividad no planificados y evitar pérdidas económicas.

Aplicación en la industria:

Ambos trabajos abordan el uso de estas tecnologías en un contexto industrial para mejorar la seguridad y eficiencia de los procesos de producción.

Diferencias:

Tecnología de Inteligencia Artificial utilizada:

El trabajo de referencia emplea Redes Neuronales Artificiales (RNA), mientras que, en mi investigación, el sistema experto se basa en reglas predefinidas para el diagnóstico de fallas.

Tipo de procesos monitoreados:

Mi trabajo se centra en el monitoreo de equipos de refrigeración de agua en la producción de plásticos, mientras que el trabajo de referencia está relacionado con el monitoreo de procesos térmicos en sistemas industriales.

Herramientas utilizadas:

El trabajo de referencia utiliza LabView y MatLab para la recopilación de datos y diseño de la interfaz gráfica, mientras que en mi investigación se utiliza software open source.

Enfoque de diagnóstico:

Mientras que el trabajo de referencia se enfoca en la detección de fallas dentro de un proceso térmico específico, mi investigación aborda el monitoreo de equipos de refrigeración, un sistema con distintos parámetros críticos como temperatura, caudal, bomba de agua, etc.

Fuente:

Rincón Aristizábal, L. F., Vargas Chavarro, D. A. (2018). Sistema de Detección y Diagnóstico de Fallas de un Proceso Térmico mediante Inteligencia Artificial. Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Programa de Ingeniería Mecánica, Bogotá.

Capítulo 3

Herramientas tecnologicas

3.1. Herramientas tecnologicas

En el proceso de selección de herramientas para el desarrollo web, se consideraron los lenguajes de programación más reconocidos y utilizados en la industria.

Entre ellos se destacan:

Python: Conocido por su sintaxis sencilla y legibilidad, Python facilita el desarrollo rápido y eficiente de aplicaciones web. Su versatilidad y amplia gama de bibliotecas lo convierten en una opción atractiva para proyectos que requieren procesamiento de datos, inteligencia artificial o aprendizaje automático [?].

Java: Reconocido por su robustez y escalabilidad, Java es ampliamente utilizado en aplicaciones empresariales de gran envergadura. Su capacidad para manejar múltiples hilos de ejecución y su fuerte tipado lo hacen ideal para proyectos que demandan alto rendimiento y seguridad [?].

PHP: Diseñado específicamente para el desarrollo web, PHP es una opción popular para la creación de sitios dinámicos. Su integración sencilla con bases de datos y su amplia comunidad de desarrolladores proporcionan numerosos recursos y frameworks que agilizan el proceso de desarrollo. [?]

3.1.1. Proceso para elegir

Para elegir la herramienta más adecuada para el desarrollo de mi sistema experto, comencé por considerar tres lenguajes de programación ampliamente utilizados: Python, PHP y Java. Mi enfoque inicial fue estudiar las características y ventajas de cada uno, lo que me permitió obtener una comprensión más clara de sus capacidades.

Primero, investigué en foros especializados para leer las reseñas y opiniones de otros desarrolladores sobre cada lenguaje. Esto me permitió conocer las experiencias de usuarios que ya habían trabajado con estas tecnologías y obtener información práctica sobre sus beneficios y limitaciones.

A continuación, utilicé Google Trends [?] para analizar la popularidad de cada lenguaje en el tiempo y observar cuáles eran más buscados y utilizados en el contexto actual. Este análisis me ayudó a comprender las tendencias del mercado y cómo se posicionaban los lenguajes en el ámbito profesional. Después, consulté el índice TIOBE [?], un sitio de referencia que mide la popularidad de los lenguajes de programación, para evaluar el posicionamiento global de Python, PHP y Java. Esto me brindó una visión más amplia sobre cuál de estos lenguajes era más robusto y preferido por la comunidad de desarrolladores.

Con toda esta información recopilada, organicé los datos en una tabla comparativa que incluía aspectos clave como la facilidad de aprendizaje, la velocidad de desarrollo, la disponibilidad de recursos y documentación, y la compatibilidad con el tipo de sistema que quería desarrollar. Finalmente, teniendo en cuenta tanto mis capacidades como novato como la fecha de entrega del trabajo, asigné puntuaciones a cada herramienta y, con base en los resultados, decidí optar por Python, debido a su curva de aprendizaje amigable y su extensa comunidad de apoyo.

3.1.2. Descripción de las herramientas

¿Qué es Python?

En términos técnicos, Python es un lenguaje de programación de alto nivel, orientado a objetos, con una semántica dinámica integrada, principalmente para el desarrollo web y de aplicaciones informáticas.

¿Qué es java?

Java es una plataforma informática de lenguaje de programación creada por Sun Microsystems en 1995. Ha evolucionado desde sus humildes comienzos hasta impulsar una gran parte del mundo digital actual, ya que es una plataforma fiable en la que se crean muchos servicios y aplicaciones.

¿Qué es php?

Php es un lenguaje de código abierto muy popular especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTM

3.1.3. Grafico de las herramientas mas buscadas en google

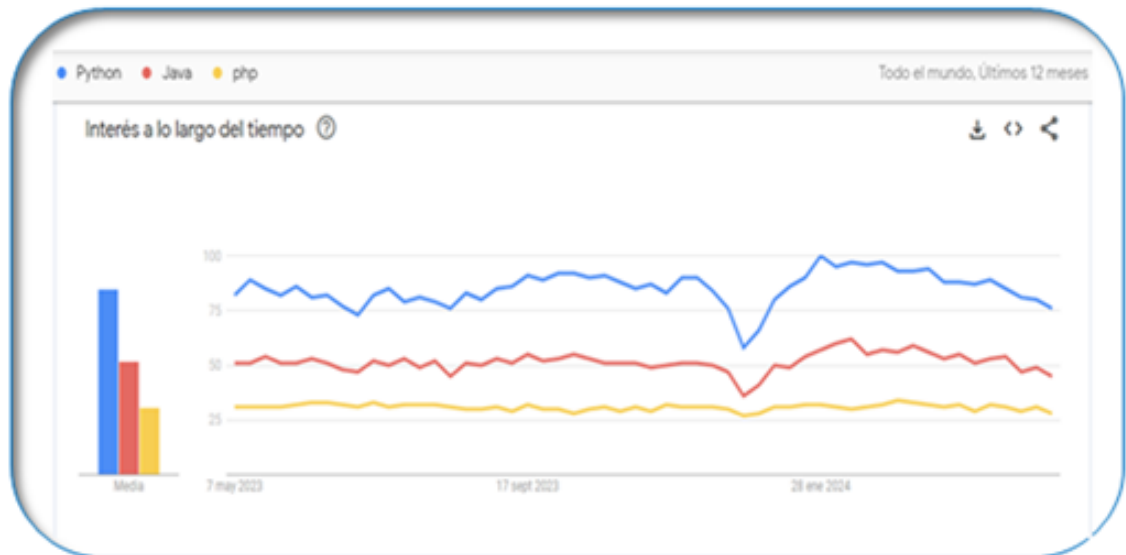


Figura 3.1: Google trends.

En esta tabla, la organización Tiobe nos presenta los lenguajes de programación más buscados en varias plataformas de búsqueda [16].

3.1.4. Top 10 de las herramientas mas buscadas en el mundo










		About us Knowledge News Coding Standards TIOBE Index				
		Products ▾		Quality Models ▾		Markets ▾ Schedule
Mar 2025	Mar 2024	Change	Programming Language		Ratings	Change
1	1			Python	23.85%	+8.22%
2	3	▲		C++	11.08%	+0.37%
3	4	▲		Java	10.36%	+1.41%
4	2	▼		C	9.53%	-1.64%
5	5			C#	4.87%	-2.67%
6	6			JavaScript	3.46%	+0.08%
7	8	▲		Go	2.78%	+1.22%
8	7	▼		SQL	2.57%	+0.65%

Figura 3.2: Organizacion tiobe.

3.1.5. Gráfico de los tres primeros lenguajes en el mundo.

Claramente Python está llevando el primer lugar en el último año.

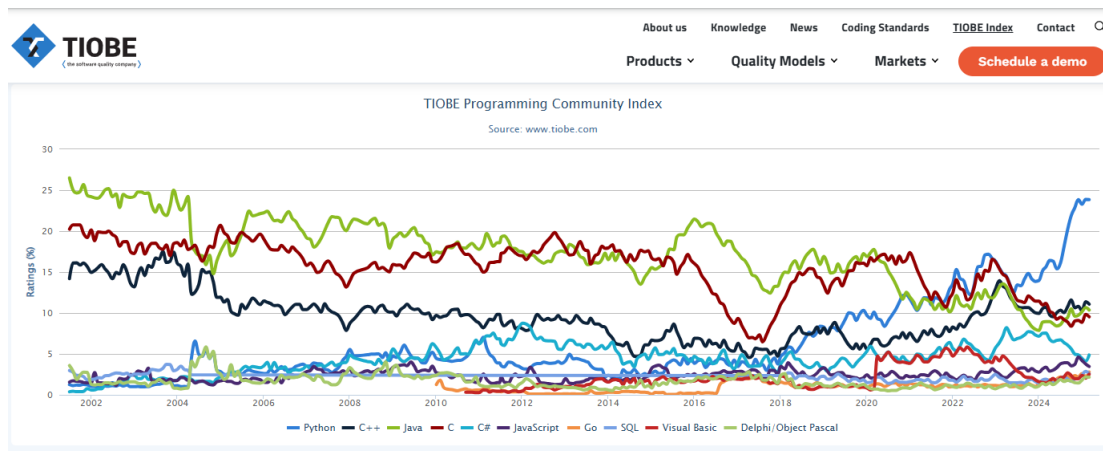


Figura 3.3: Organizacion tiobe.

3.1.6. Características de las herramientas.

Las características de Python son los siguientes:

Python es un lenguaje interpretado, lo que significa que ejecuta directamente el código línea por línea, si existen errores en el código del programa, su ejecución se detiene, así, los programadores pueden encontrar errores en el código con rapidez. Es un lenguaje fácil de utilizar porque utiliza palabras similares a las del inglés, a diferencia de otros lenguajes de programación, Python no utiliza llaves, en su lugar utiliza sangría. Es un lenguaje tipado dinámicamente, los programadores no tienen que anunciar tipos de variables cuando escriben código porque Python los determina en el tiempo de ejecución. Debido a esto, es posible escribir programas de Python con mayor rapidez. Es un lenguaje de alto nivel, Python es más cercano a los idiomas humanos que otros lenguajes de programación. Por lo tanto, los programadores no deben preocuparse de sus funcionalidades subyacentes, como la arquitectura y la administración de la memoria. Es un lenguaje orientado a los objetos, Python considera todo como un objeto, pero también admite otros tipos de programación, como la programación estructurada y la funcional [?].

Las características de Java son las siguientes:

Es un lenguaje estable, al ser un lenguaje de programación sumamente estable, Java es elegido por las grandes empresas de todo el mundo que desean una tecnología confiable para sus proyectos. Debido a su confiabilidad y cre-

dibilidad, las compañías líderes lo incorporan para garantizar que la experiencia de los clientes sea la esperada. Como lenguaje altamente escalable, Java ofrece capacidades de gestión de tráfico sin rival en ningún otro lenguaje. Esta escalabilidad lo ha convertido en una tecnología fiable para el desarrollo empresarial. Brinda un conjunto de funcionalidades que permite desarrollar aplicaciones web dinámicas e interactivas. Cuenta con funciones de seguridad integradas que les facilitan a las empresas la protección adecuada de sus datos. Podemos destacar, entre otras características, la autenticación avanzada, los controles de acceso, la encriptación y las inyecciones de SQL. Asimismo, Java tiene funciones para integrar políticas de seguridad, firmas digitales y cifrados. En Java, existen cientos de bibliotecas que admiten el desarrollo de aplicaciones empresariales. Estas bibliotecas permiten agregar características y funcionalidades de varios tipos, entre las que se incluyen: Google Guava, iText, Protocol Buffers y XStream. Asimismo, hay un amplio conjunto de APIs y herramientas de desarrollo que le facilitan a los desarrolladores añadir funciones que, de otra forma, no serían posibles. Java funciona muy bien con el ecosistema de Android para crear aplicaciones móviles. Por eso, cada vez son más las empresas que eligen este lenguaje de programación para el desarrollo de aplicaciones Android nativas. Es la facilidad con la que un software puede ejecutarse sobre diferentes plataformas informáticas, dependiendo lo menos posible de su entorno de ejecución y sin implementar las particularidades de una máquina o sistema concreto. Esto lo logra compilando a código que se ejecuta en una «máquina virtual» de Java. Por ello, puede ejecutarse tanto en entornos Windows como Linux [?].

Características de php:

Es un código abierto y gratuito. Es un lenguaje orientado a objetos, lo que hace el procesamiento de datos mucho más rápido. Permite la separación de códigos, es decir, es posible manipular datos mientras que otros se encuentran estáticos y también es un código limpio y estable. Cuenta con una comunidad amplia y activa donde es posible compartir conocimientos y encontrar información. Permite el desarrollo de páginas web complejas y dinámicas. Existe una amplia oferta laboral, pues hoy en día son cada vez más las compañías que buscan el desarrollo de sitios web particulares. Es un lenguaje que puede ejecutarse en cualquier servidor o sistema operativo siempre y cuando el equipo tenga la capacidad de ejecutar el código sin dificultades por lo tanto es un lenguaje versátil que permite un gran manejo de procesamiento de datos [?]

3.1.7. Criterios de evaluación

Multiplataforma: Se refiere a la capacidad de un lenguaje de programación o software para ejecutarse en múltiples sistemas operativos (Windows, macOS, Linux, etc.) sin necesidad de modificaciones significativas.

Software libre: Hace referencia a software que se distribuye con una licencia que permite a los usuarios usarlo, modificarlo y distribuirlo libremente.

Software basado en red: Esto se refiere a aplicaciones o lenguajes de programación diseñados para funcionar o ser ejecutados en un entorno de red, como aplicaciones web o servicios en la nube.

Integración de datos: Se refiere a la capacidad del lenguaje o software para conectarse, interactuar y trabajar con diferentes fuentes de datos, como bases de datos SQL, NoSQL, servicios web, etc.

Tiempo de implementación: Se refiere al tiempo que se tarda en desarrollar y poner en producción una aplicación o sistema utilizando un lenguaje de programación o software. Esto puede variar según la complejidad del proyecto, la experiencia del desarrollador y las herramientas disponibles.

Curva de aprendizaje: Hace referencia a la facilidad con la que los nuevos usuarios pueden aprender a utilizar un lenguaje de programación o software.

Tablas de comparación

Tablas de comparación			
Criterios de evaluación	Python	Java	Php
Multiplataforma	3	3	3
Software libre	3	3	3
Software basado en red	3	2	2
Integración de datos	2	3	2
Tiempo de implementación	3	2	1
Curva de aprendizaje	3	2	3
Total	17	15	14

Niveles de rendimientos			
0 = Necesita mejorar	1 = Bueno	2 = Muy bueno	3 = Excelente

Figura 3.4: Tabla de comparacion.

3.1.8. Tecnología seleccionada

Tras analizar diversas opciones, encontramos múltiples herramientas capaces de llevar a cabo el desarrollo de la aplicación requerida. Sin embargo, la elección se basó en criterios clave como la compatibilidad multiplataforma, el corto tiempo de implementación y una curva de aprendizaje más accesible en comparación con otros lenguajes de programación evaluados.

En función de estos criterios, la tecnología seleccionada para el desarrollo es Python, debido a su versatilidad, facilidad de uso y amplia comunidad de soporte.

Otras tecnologías.

Además del lenguaje de programación, el sistema utilizará PostgreSQL como motor de base de datos. PostgreSQL es un sistema gestor de bases de datos relacional, libre y de código abierto, reconocido por su robustez y escalabilidad. Para la administración y gestión de la base de datos, se empleará pgAdmin, una herramienta gráfica que facilita la configuración, monitoreo y mantenimiento del sistema [?].

Capítulo 4

Metodos

4.1. Introducción

Este capítulo describe el enfoque metodológico utilizado para desarrollar el Sistema Experto Basado en Reglas para el Monitoreo de Máquinas Críticas. Se detallan los métodos empleados en la recopilación de información, la formulación de reglas y la implementación del sistema.

4.2. Enfoque

En este estudio, se adoptó un enfoque cuantitativo basado en reglas para estructurar el conocimiento experto de la fábrica dentro del sistema.

Investigación Cuantitativa.

Se recopiló y analizó información técnica sobre el estado de las máquinas críticas, considerando parámetros medibles como temperaturas, caudal, y el estado de los compresores y bombas de agua. Esta información permitió definir umbrales de normalidad y anormalidad que fueron incorporados en el sistema experto.

4.3. Diseño de la Investigación

Dentro del enfoque cuantitativo, existen dos grandes clasificaciones de diseño de investigación: experimental y no experimental. Para este estudio, se ha adoptado un diseño no experimental, ya que no se manipulan variables de manera controlada, sino que se observan y analizan los estados de las

máquinas en su entorno real de operación.

Diseño No Experimental

En este tipo de diseño, los datos se recopilan sin intervenir en los procesos naturales del sistema. Dentro de esta categoría, la investigación sigue un diseño longitudinal, pues se basa en la recolección continua de datos sobre el estado de las máquinas a lo largo del tiempo.

4.4. Justificación del Diseño

El Sistema Experto Basado en Reglas fue desarrollado para analizar información en tiempo real y detectar fallas en las máquinas críticas de la fábrica. Dado que las condiciones operativas varían constantemente, un diseño longitudinal permite evaluar tendencias, detectar anomalías y generar alarmas basadas en patrones históricos.

Este enfoque metodológico garantiza que el sistema pueda identificar problemas recurrentes, mejorar la toma de decisiones y mejorar las estrategias de mantenimiento sin necesidad de intervenir artificialmente en los procesos industriales.

4.5. Fase de Diseño del Sistema Experto

La fase de diseño fue clave para definir la estructura y los componentes fundamentales del sistema experto de monitoreo. Se llevaron a cabo distintas etapas para garantizar que el sistema fuera modular, eficiente y fácilmente escalable.

Diseño de la Arquitectura del Sistema Experto.

Se estableció la estructura general del sistema, identificando sus principales módulos y la forma en que interactúan entre sí. La arquitectura definida incluyó los siguientes componentes:

4.6. Arquitectura del Sistema.

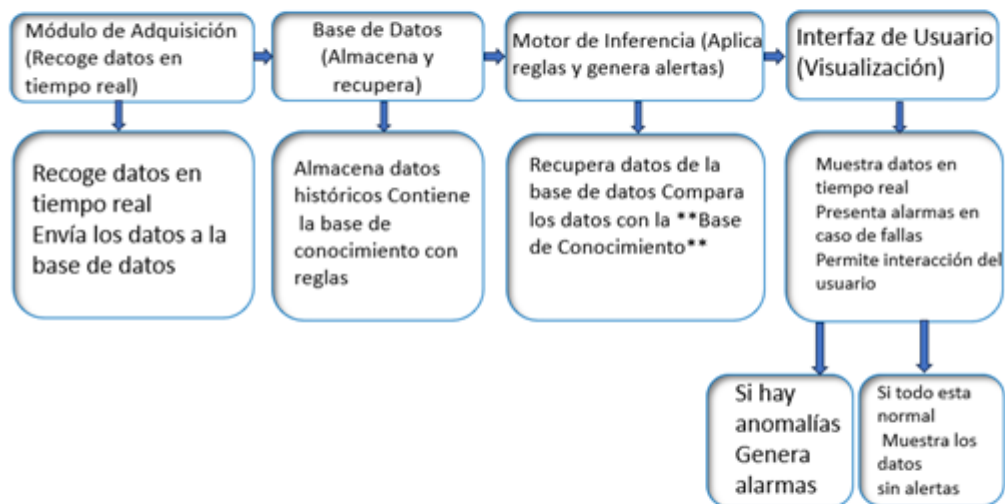


Figura 4.1: Arquitectura del sistema.

Módulo de adquisición de datos:

Encargado de recibir información en tiempo real desde los sensores instalados en la fábrica.

Base de conocimiento basada en reglas:

Contiene las reglas que permiten interpretar los datos y determinar el estado del sistema.

Motor de inferencia:

Responsable de analizar los datos de entrada y aplicar las reglas para generar conclusiones y alertas.

Interfaz de usuario:

Diseñada para permitir la visualización de datos en tiempo real y la interacción con el usuario.

Base de datos:

Almacena los datos históricos del sistema y las reglas, asegurando un acceso eficiente.

Se definieron las interrelaciones entre estos módulos y el flujo de información que permite su correcto funcionamiento.

Diseño de Módulos Funcionales.

Para garantizar un desarrollo eficiente y mantenible, el sistema se desglosó en módulos funcionales bien definidos:

Módulo de adquisición de datos: Responsable de la captura de datos de los sensores y su transmisión al sistema experto.

```
# URL del dispositivo
url = "http://192.168.100.10/channels.php"
# URL para enviar los datos
ingreso_datos_url = "http://localhost:5000/ingreso_datos"

def fetch_and_store_data():
    while True:
        try:
            with app.app_context():
                result = db.session.execute(text('SELECT intervalo_lectura FROM intervalo LIMIT 1')).fetchone()
                intervalo_lectura = result[0] if result else 60
                logging.info(f"Intervalo de lectura actual: {intervalo_lectura} segundos")

                # Imprimir el intervalo en la consola
                print(f"Intervalo de lectura: {intervalo_lectura} segundos")

            response = requests.get(url, timeout=10)
            if response.status_code == 200:
                logging.info("Conexión exitosa al Fieldlogger")
                soup = BeautifulSoup(response.content, 'html.parser')
                table = soup.find('table')

                if table:
                    data = {}
                    for row in table.find_all('tr')[1:]:
```

Figura 4.2: Momdulo de adquisicion de datos.

Módulo de procesamiento de datos: Normaliza y organiza la información para su análisis.

Módulo de inferencia: Implementa la lógica de decisión basada en reglas.

Módulo de inferencia.

```
#-----
def evaluar_reglas(estado_sistema):
    alarmas = {}

    # Obtener todas las reglas activas
    reglas = Regla.query.all()

    # Evaluar cada regla con el estado del sistema
    for regla in reglas:
        # Obtener el valor del atributo del estado del sistema basado en nombre_regla
        estado_item = getattr(estado_sistema, regla.nombre_regla)
        # Evaluar la condición reemplazando 'estado' con el valor real del atributo
        if eval(regla.condicion.replace('estado', f'"{estado_item}"' if isinstance(estado_item, str) else str(estado_item))):
            accion_parts = regla.accion.split(' ')
            tipo_alarma = accion_parts[0]
            mensaje_alarma = accion_parts[1].strip('"')
            alarmas[tipo_alarma] = mensaje_alarma

    # Si no se activaron alarmas, todas las alarmas serán 'normal'
    if not alarmas:
        alarmas = {
            'alarma_bomba_agua': 'Accionado',
            'alarma_bomba_agua2': 'Accionado',
            'alarma_compresor': 'Accionado',
            'alarma_nivel': 'Normal',
            'alarma_temperatura1': 'Normal',
            'alarma_temperatura2': 'Normal'
        }

    return alarmas
```

Figura 4.3: Motor de inferencia.

Módulo de visualización: Gestiona la interfaz web y la presentación de datos.

Cada módulo se diseñó con interfaces bien definidas para facilitar su integración y escalabilidad.



Figura 4.4: Base de conocimiento.

Diseño de la Base de Conocimiento

La base de conocimiento fue estructurada para facilitar su acceso y mantenimiento. Para ello, se determinaron los siguientes aspectos:



Figura 4.5: Base de conocimiento.

4.6.1. Representación del conocimiento:

Se optó por un sistema basado en reglas, donde cada regla define un conjunto de condiciones y la acción a tomar en caso de que dichas condiciones se cumplan.

Estructura de la base de conocimiento: Las reglas se organizaron por categorías, agrupando aquellas relacionadas con parámetros específicos del sistema (bomba de agua, compresor, caudal, temperatura, etc.).

Flexibilidad y escalabilidad: Se diseñó un esquema que permite agregar o modificar reglas sin afectar el funcionamiento general del sistema.

Diseño del Motor de Inferencia. El motor de inferencia es el encargado de procesar los datos adquiridos y aplicar las reglas de la base de conocimiento para tomar decisiones.

Selección del algoritmo de inferencia: Se utilizó un sistema basado en reglas condicionales para evaluar el estado del sistema en función de los datos obtenidos.

Optimización del rendimiento: Se definió una estrategia para minimizar el tiempo de respuesta y garantizar el análisis en tiempo real. Integración con

el módulo de adquisición de datos: Se estableció un mecanismo de comunicación eficiente para recibir datos en tiempo real y ejecutar las reglas de inferencia.

Diseño de la Interfaz de Usuario

Se crearon prototipos de la interfaz web para asegurar una visualización clara y efectiva de la información generada por el sistema.

Visualización de datos en tiempo real: Se diseñaron gráficos dinámicos y paneles informativos para mostrar las mediciones del sistema.

Gestión de alertas: Se implementó una sección donde el usuario puede ver las alertas generadas por el sistema y su causa.

Experiencia de usuario: Se priorizó un diseño intuitivo y accesible, con una paleta de colores con fondo grafito y detalles en naranja oscuro.

Funcionamiento del Sistema Experto.

El sistema experto está diseñado para facilitar la gestión y monitoreo de los procesos industriales relacionados con los sistemas de refrigeración de agua en la producción de PVC. El sistema está estructurado en base a un esquema de usuarios con diferentes roles, lo que permite una administración eficiente de las funcionalidades según el perfil de cada usuario.

Inicio de Sesión (Login) y Roles de Usuario.

Al ingresar al sistema, el usuario debe autenticar sus credenciales a través del login. El sistema permite acceder a diferentes secciones dependiendo del rol asignado al usuario. Los roles definidos incluyen:

Administrador.

Los usuarios con privilegios de Administrador pueden acceder a una sección especial que les permite agregar, editar o eliminar usuarios. Además, pueden asignar o modificar roles a los usuarios, asegurando que las funciones y permisos estén correctamente distribuidos en la organización. Esta funcionalidad garantiza que solo los usuarios adecuados tengan acceso a áreas sensibles del sistema.

Administrador experto.

Los Administradores expertos tienen la capacidad de modificar las reglas del sistema experto a través de una interfaz dedicada. Estas reglas están relacionadas con el monitoreo de los sistemas críticos de refrigeración. Por ejemplo, un administrador de reglas puede modificar umbrales de temperatura o establecer condiciones de alarma. Esta flexibilidad asegura que el sistema se

adapte a diferentes condiciones operativas.

Operador:

Accede principalmente a las funcionalidades de consulta y visualización, pero con permisos limitados.

Cada usuario se verá redirigido a una página principal donde podrá ver las opciones disponibles basadas en su rol. El sistema garantiza que cada usuario solo tenga acceso a las funciones que le corresponden según su perfil.

Visualización de Temperaturas.

Una de las funcionalidades clave del sistema es la visualización gráfica de las temperaturas de los sistemas de refrigeración. En una página dedicada, se muestra una gráfica en tiempo real con los datos de temperatura recogidos desde el sistema. Los usuarios pueden observar el comportamiento de las temperaturas y detectar posibles desviaciones en el funcionamiento de la maquinaria. Esta página es crucial para los técnicos, ya que les permite identificar rápidamente cualquier irregularidad que pueda afectar el rendimiento del sistema de refrigeración.

Cuadro Sinóptico.

Otra página importante es el cuadro sinóptico, que proporciona una vista global del estado de todos los sistemas de refrigeración. Esta página se actualiza dinámicamente a partir de los datos almacenados en la base de datos. Los usuarios pueden consultar en tiempo real el estado de cada equipo, incluidas las alarmas activas y las condiciones operativas de los sistemas de refrigeración. Esto permite un monitoreo constante y oportuno, facilitando la detección de fallos y la implementación de acciones correctivas inmediatas.



Figura 4.6: Cuadro sinóptico.

4.6.2. Partes principales del código fuente

```
@app.route('/login', methods=['GET', 'POST'])
def login():
    if request.method == 'POST':
        email = request.form.get('email')
        password = request.form.get('password')

        if not email or not password:
            flash('Por favor, ingrese correo y contraseña', 'danger')
            return render_template('login.html')

        user = Usuario.query.filter_by(email=email).first()

        if user and bcrypt.check_password_hash(user.password, password):
            login_user(user)
            flash('Inicio de sesión exitoso', 'success') # Mensaje de éxito

            # Redirigir según el rol del usuario
            if user.role == 'Administrador Experto': # Si es Administrador Experto
                return redirect(url_for('dashboard')) # Cambia por la ruta real para Administrador Experto
            elif user.role == 'Administrador': # Si es Administrador
                return redirect(url_for('admin_dashboard'))
            elif user.role == 'Operador': # Si es Operador
                return redirect(url_for('dashboard')) # Redirige al dashboard para Operadores
            else:
                flash('Rol de usuario no reconocido', 'danger')
        else:
            flash('Verificar correo y password', 'danger')
    else:
        # Limpiar mensajes flash si no se intenta iniciar sesión
        session.pop('_flashes', None)

    return render_template('login.html')
```

Figura 4.7: Código de login.

```
@app.route('/modificar_reglas', methods=['GET', 'POST'])
@login_required
@role_required('Administrador Experto')
def modificar_reglas():
    regla = None
    if request.method == 'POST':
        if 'search' in request.form:
            # Buscar la regla por ID
            regla_id = request.form['id']
            regla = Regla.query.get(regla_id)
            if not regla:
                flash('No se encontró la regla con ese ID', 'danger')
        elif 'update' in request.form:
            # Actualizar la regla
            regla_id = request.form['id']
            nombre_regla = request.form['nombre_regla']
            condicion = request.form['condicion']
            accion = request.form['accion']

            regla = Regla.query.get(regla_id)
            if regla:
                regla.nombre_regla = nombre_regla
                regla.condicion = condicion
                regla.accion = accion
                db.session.commit()
                flash('Regla actualizada exitosamente', 'success')
            else:
                flash('No se encontró la regla con ese ID', 'danger')

        return redirect(url_for('modificar_reglas'))

    reglas = Regla.query.all()
    return render_template('modificar_reglas.html', reglas=reglas, regla=regla)
```

Figura 4.8: Código para modificar reglas.

```
@app.route('/agregar_regla', methods=['POST'])
def agregar_regla():
    nombre_regla = request.form['nombre_regla']
    condicion = request.form['condicion']
    accion = request.form['accion']

    nueva_regla = Regla(nombre_regla=nombre_regla, condicion=condicion, accion=accion)
    db.session.add(nueva_regla)
    db.session.commit()
    flash('Regla agregada exitosamente', 'success')

    return redirect(url_for('modificar_reglas'))

@app.route('/eliminar_regla/<int:id>', methods=['POST'])
def eliminar_regla(id):
    regla = Regla.query.get(id)

    if regla:
        db.session.delete(regla)
        db.session.commit()
        flash('Regla eliminada exitosamente', 'success')
    else:
        flash('No se encontró la regla con ese ID', 'danger')

    return redirect(url_for('modificar_reglas'))
```

Figura 4.9: Agregar o modificar reglas.

```
def evaluar_reglas(estado_sistema):
    alarmas = {}

    # Obtener todas las reglas activas
    reglas = Regla.query.all()

    # Evaluar cada regla con el estado del sistema
    for regla in reglas:
        # Obtener el valor del atributo del estado del sistema basado en nombre_regla
        estado_item = getattr(estado_sistema, regla.nombre_regla)
        # Evaluar la condición reemplazando 'estado' con el valor real del atributo
        if eval(regla.condicion.replace('estado', f'"{estado_item}"' if isinstance(estado_item, str) else str(estado_item))):
            accion_parts = regla.accion.split(' ')
            tipo_alarma = accion_parts[0]
            mensaje_alarma = accion_parts[1].strip('\"')
            alarmas[tipo_alarma] = mensaje_alarma

    # Si no se activaron alarmas, todas las alarmas serán 'normal'
    if not alarmas:
        alarmas = {
            'alarma_bomba_agua': 'Accionado',
            'alarma_bomba_agua2': 'Accionado',
            'alarma_compresor': 'Accionado',
            'alarma_nivel': 'Normal',
            'alarma_temperatura1': 'Normal',
            'alarma_temperatura2': 'Normal'
        }

    return alarmas
```

Figura 4.10: Evaluar reglas.

Capítulo 5

Resultados

5.1. Introducción.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la implementación del sistema experto diseñado para el monitoreo de máquinas industriales en la industria del PVC. Se detallan las mejoras en la eficiencia operativa, la reducción de tiempos de inactividad y la optimización de los procesos productivos.

5.1.1. Descripción del Sistema Implementado

El sistema experto desarrollado integra un módulo para la adquisición de datos de la maquina enfriadora y utiliza algoritmos de inteligencia artificial para supervisar en tiempo real el estado de las máquinas

5.1.2. Evaluación de la Eficiencia Operativa

Tras la implementación del sistema, se observó una mejora significativa en la eficiencia operativa. Los tiempos de inactividad se redujeron en un 20

5.1.3. Análisis de Costos

La implementación de un sistema experto basado en reglas ha permitido a la empresa reducir los costos asociados a reparaciones imprevistas y a la optimización de los recursos humanos en el mantenimiento. Además, al ser el software libre, la empresa ha evitado costos adicionales de licencias, lo que ha contribuido a una mayor rentabilidad.

5.1.4. Satisfacción del Personal

Se realizaron encuestas al personal operativo y de mantenimiento, obteniendo una calificación promedio de 4.5 sobre 5 en cuanto a la facilidad de uso y la utilidad del sistema. El 90

5.1.5. Comparación con Métodos Anteriores

Antes del sistema: promedio de 2 fallas al mes, con paradas completas y pérdidas significativas. Después del sistema: 0 fallas con paradas completas

5.1.6. Cálculo del Impacto en Producción

Si antes las fallas llevaban a 2 paradas al mes y cada parada causaba, 3 horas de inactividad, la pérdida era: $2 \text{ paradas} \times 3 \text{ horas} = 6 \text{ horas}$ de producción perdidas por mes. Después del sistema, las paradas son 0, pero suponiendo que en 4 ocasiones al mes la máquina se ralentiza por 30 minutos para ajustes: $4 \text{ veces} \times 0.5 \text{ horas} = 2 \text{ horas}$ de producción ralentizada por mes. Resultado: Se pasa de 6 horas de producción perdida a solo 2 horas de producción con menor rendimiento, lo que representa una mejora, 66.7 por ciento en la disminución del tiempo perdido.

5.1.7. Limitaciones y Áreas de Mejora

Aunque los resultados son positivos, se identificaron áreas de mejora, como la necesidad de calibrar periódicamente los sensores para mantener la precisión de las mediciones y la integración del sistema con otros softwares de gestión empresarial para una visión más holística de la operación.

Resultados

Anexo A.

Los apéndices y anexos resultan útiles para describir con mayor profundidad ciertos materiales, sin distraer la lectura del texto principal del reporte o evitar que rompan con el formato de éste. Algunos ejemplos serían el cuestionario utilizado, un código de programa computacional, análisis estadísticos adicionales, la demostración matemática de un teorema complicado, fotografías testimoniales, etc.

Referencias bibliograficas

- [1] J. L. Jaramillo Vicuña. P. P. Ángel Geovanny, *Implementación de un sistema de monitoreo y control inalámbrico para el funcionamiento del cuarto de enfriamiento de la planta de cárnicos de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Escuela superior politecnica de chimborazo, 2018. [en línea]. Disponible: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10495>
- [2] G. Oliveros y W. Símpalo Lopez. G. Cobián De La Cruz, G. I. Gutierrez Pesantes, *Monitoreo y mejora del sistema de tratamiento de efluentes industriales para el cumplimiento de los límites máximos permisibles en la empresa de conservas de pescado*. Universidad Cesar Vallejo, 2015. [en línea]. Disponible: <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ingnosis/article/view/1614>
- [3] Luis Guerrero-Marín. Dorian Mora-Sánchez, *Industria 4.0: el reto en la ruta hacia las organizaciones digitales*. Universidad UTE (Quito, Ecuador), 2018. [en línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8281237>
- [4] Jonathan Salvador López López, Jesús Enrique Ramírez Morales, Francisco Javier Cervantes Vallejo, Karla Camarillo Gómez, José Francisco Louvier Hernández, y Carolina Hernández Navarro, “Reducción del tiempo de ciclo en un molde de inyección de plásticos implementando sistemas de enfriamiento con sección transversal circular y rectangular,” *Pistas Educativas*, 2019, consulta: 21 marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/1663>
- [5] Shuai Zheng ; Xiong DuJun Zhang ; Yaoyi Yu, *Monitoreo del sistema de enfriamiento mediante parámetros térmicos*. IEEE Xplore, 2019. [en línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8844653>

- [6] Martín Agüero Leonardo Javier Ibañez, “Sistemas expertos: Fundamentos, metodologías y aplicaciones,” *Ciencia y tecnología*, 2013, consulta: 23 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/cyt/article/view/122>
- [7] Nicolás de Abajo Martínez Raúl Pino Díez, Alberto Gómez Gómez, *Introducción a la inteligencia artificial: sistemas expertos, redes neuronales artificiales y computación evolutiva*. Universidad de Oviedo, servicio de publicaciones, 2001. [en línea]. Disponible: <https://books.google.com.py/books?id=RKqLMCw3IUkC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [8] Francisco Liesa Luis Bilurbina, *Materiales no Metalicos Resistentes a la Corrosion*. Marcombo S.A., 1990. [en línea]. Disponible: <https://books.google.co.ve/books?id=DzVLB11fofUC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- [9] Luis Rene; Arteaga-Linzan Ángel Rafael y Rodrigues-Ramos Pedro A. Zamora-Medina, Janeth Roxana; Briones-Rezabale, “Determinación de la disponibilidad de un sistema de refrigeración industrial para la industria atunera.” *SciELO*, 2025, consulta: 23 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442022000200001&script=sci.abstract&tlng=es>
- [10] Victor Alejandro. Navarrete Enderica, *Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2020. [en línea]. Disponible: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14715>
- [11] Oscar Leonardo. Sara Judith Ríos, Reyes Lema, *Automatización de sistema de refrigeración de un edificio (chiller 270 tons) con sistema de alarma via gsm y encendido automático en caso de elevación de temperatura en centro de computo*. Espol, 2019. [en línea]. Disponible: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/46969>
- [12] Rincón Aristizabal Luis Felipe. Vargas Chavarro, David Alejandro, *Sistema de detección y diagnóstico de fallas de un proceso térmico mediante inteligencia artificial*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018. [en línea]. Disponible: <https://repository.udistrital.edu.co/items/3e94a81b-88fd-42ef-9615-e0adb7d4b3d6>

- [13] Corporativo, “Php vs python: Una comparación detallada entre los dos lenguajes,” *Kisnta*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://kinsta.com/es/blog/php-vs-python/>
- [14] Blog, “Python vs java,” *Openwebinars*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://openwebinars.net/blog/python-vs-java-cual-es-mejor-para-tu-proyecto/>
- [15] Documentacion php, “Que es php?” *php*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://www.php.net/manual/es/intro-what-is.php>
- [16] Corpotarivo, “google trends,” *google*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://trends.google.es/trends/>
- [17] Corporativo, “Organizacion tiobe,” *tiobe*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>
- [18] Blog tecnologico, “Características principales de python,” *EPITECH*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://www.epitech-it.es/caracteristicas-de-python/>
- [19] —, “Características de java,” *rockcontent*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://rockcontent.com/es/blog/que-es-java/>
- [20] —, “Características de php,” *Deusto Formacion*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://www.deustoformacion.com/blog/programacion-tic/7-caracteristicas-lenguaje-php-que-lo-convierten-uno-mas-potentes>
- [21] postgresql, “Documentacion,” *PostgreSQL*, 2025, consulta 26 de marzo 2025. [en línea]. Disponible: <https://www.postgresql.org/docs/>